ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2007
Seria: BUDOWNICTWO z. 112 Nr kol. 1763

Edyta PIĘCIORAK*
Politechnika Krakowska

OKREŚLANIE NOŚNOŚCI BLACH FAŁDOWYCH JAKO ELEMENTÓW POKRYCIA W LEKKIEJ OBUDOWIE

Streszczenie. Przedmiotem pracy jest weryfikacja tabelarycznych nośności wybranych blach fałdowych na podstawie przepisów normy PN-B-03207:2002, z której wynika, że w przypadku interakcji zginania i siły skupionej graniczne wartości nośności blach, uzyskane tabelarycznie, mogą być zawyżone. Również wartości obciążeń granicznych dla stanu użytkowania, podawane przez niektórych producentów są zbyt optymistyczne. Należałoby podjąć dalsze prace badawcze dla ustalenia rzeczywistej nośności blach fałdowych.

DETERMINATION OF CARRYING – CAPACITY OF SHEETS FOR ROOF COVERING

Summary. The aim of the paper to verify the capacities of chosen corrugated sheets given by their producers on the basis of the design rules contained in the Polish standard [5].

It has turned out that in the case of an interaction between a bending moment and a concentrated force the limit values of capacities obtained from the producer's tables may be overestimated. Some values of limit loads for the limit state of serviceability given by certain producers seem to be too optimistic as well. It is justified to undertake further investigation in order to evaluate real capacity of corrugated sheets.

1. Wstęp

Początek szerokiego zastosowania blach fałdowych w konstrukcjach o lekkiej obudowie datuje się na lata 60. ubiegłego wieku. Obecnie, działający na polskim rynku, producenci i wykonawcy lekkiej obudowy utworzyli, wzorem niemieckiego IFBS (Industrieverband zur Förderung des Baueus mit Stahlblech e.V.), Stowarzyszenie Wykonawców Dachów Płaskich i Fasad DAFA, z siedzibą w Opolu. Jednym z celów tej organizacji jest zebranie dotychczasowych doświadczeń wynikających z wykonawstwa i eksploatacji elementów

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Marek Piekarczyk.

lekkiej obudowy i stworzenie dla nich wspólnych standardów projektowania. Jednym z podstawowych problemów w tym zakresie pozostaje określenie nośności blach fałdowych jako zasadniczych powierzchniowych części przekryć poziomych i pionowych.

Obecnie polski projektant dokonując doboru blachy pokrycia korzysta na ogół z tabel opracowanych przez poszczególnych producentów blach, np.: [1, 2, 3, 4], które mają charakter pomocniczy. W przedmiotowym zakresie istnieje polska norma ustanowiona PN-B-03207 z grudnia 2002 [5] z późniejszą zmianą PN-B-03207/Az1, z października 2004 [6], a także inne normy, np.: niemiecka DIN 18807 [7] i europejska Eurocode 3 Part 1.3 [8], oraz literatura, wśród której szczególne znaczenie ma monografia [9]. Brakuje, jak dotąd, zatwierdzonej polskiej normy PN-EN. Taki stan rzeczy sprawia, że projektant musi dołożyć szczególnej staranności, aby dobrane przez niego pokrycie w każdym przypadku spełniało wymogi określone w art.5. Ustawy Prawo Budowlane [10], najlepiej na podstawie normy [5], stosowanej z dwiema podstawowymi normami odniesienia, tj. [11] i [12].

2. Asortyment blach fałdowych

Przykładowy asortyment blach fałdowych jako elementów pokrycia, dostępny obecnie w Polsce, zestawiono w tabeli 1.

3. Zasady kształtowania pokrycia z blach fałdowych i oceny ich nośności

3.1. Dachy płatwiowe i bezpłatwiowe

Blachy fałdowe z reguły układane są na płatwiach, które z kolei mocuje się do rygli ram lub pasów górnych wiązarów (rys. 1a). Rozstaw płatwi jest wtedy na ogół stały i wynosi od 1,5 m do 3,0 m, co sprawia, że blacha obliczana jest jako konstrukcja ciągła wieloprzęsłowa. Wykorzystuje się wtedy blachy o mniejszej wysokości fałdy, np.: 45, 50, 55, 60 mm.

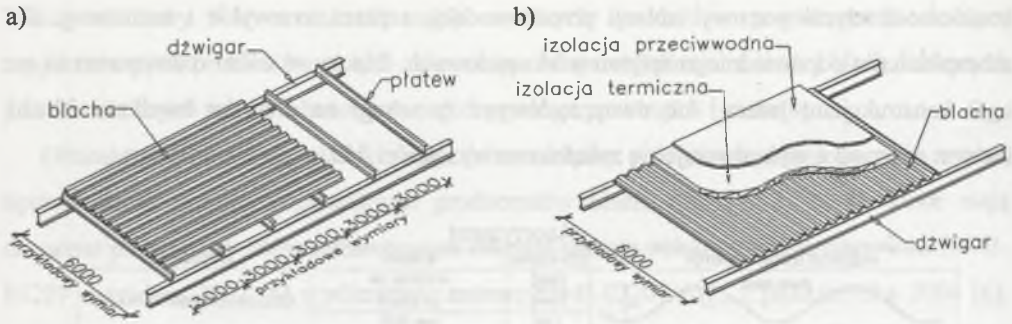
Znane są także rozwiązania dachów bezpłatwiowych, w których arkusze blach układa się bezpośrednio na dźwigarach głównych układów nośnych (rys. 1b), co pociąga za sobą zwiększenie ich rozpiętości, a jednocześnie, przy pewnym wzroście ciężaru blachy, zmniejszenie całkowitego wskaźnika zużycia stali na konstrukcję przekrycia. Poprzeczny układ rowkowania blach, prostopadły do kierunku spadku połaci pociąga tu za sobą

konieczność użycia warstwy izolacji przeciwwodnej, a przez to zwykle i termicznej, dla zabezpieczenia odpowiedniego spływu wód opadowych. Blachy w takim rozwiązaniu są na ogół konstrukcjami jedno-, lub dwuprzęsłowymi (z uwagi na długości handlowe blach) i w tym przypadku wykorzystuje się zwiększone wysokości fałd, sięgające 140 mm.

Tabela 1

Asortyment

PRZEKRÓJE BLACH FAŁDOWYCH	OZNACZENIA	WYMIARY	PRODUCENCI
Blacha falista	t [mm]	od 0,50 do 1,00	ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA
	h [mm]	od 18 do 43	
	L [m]	max 13,00	
Blacha trapezowa	t [mm]	od 0,40 do 1,25	FLORPROFILE; RUUKKI ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA PRUSZYŃSKI; BALEX
	h [mm]	od 6 do 49	
	L [m]	max 25,00	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasa	t [mm]	od 0,63 do 1,25	ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA
	h [mm]	35	
	L [m]	max 12,00	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasa	t [mm]	od 0,50 do 0,70	BALEX RUUKKI
	h [mm]	od 34 do 40	
	L [m]	max 25,00	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasów	t [mm]	od 0,70 do 1,25	ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA
	h [mm]	46	
	L [m]	max 15,00	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasów i środnika	t [mm]	od 0,63 do 1,25	FLORPROFILE
	h [mm]	38	
	L [m]	max 25,00	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasa i środnika	t [mm]	od 0,50 do 1,50	FLORPROFILE; RUUKKI ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA PRUSZYŃSKI; BALEX
	h [mm]	od 44 do 100	
	L [m]	max 25,00	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasa i środnika	t [mm]	od 0,75 do 1,25	ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA
	h [mm]	82	
	L [m]	max 15,00	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasów	t [mm]	od 0,50 do 0,90	RUUKKI
	h [mm]	53	
	L [m]	max 12,50	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasa	t [mm]	od 0,50 do 0,70	BALEX
	h [mm]	45	
	L [m]	max 15,00	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasów i środnika	t [mm]	od 0,65 do 1,50	FLORPROFILE; RUUKKI ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA PRUSZYŃSKI
	h [mm]	od 70,5 do 156	
	L [m]	max 25,00	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasa i środnika	t [mm]	od 0,75 do 1,50	FLORPROFILE ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA RUUKKI
	h [mm]	od 127 do 165	
	L [m]	max 25,00	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasa i środnika	t [mm]	od 0,50 do 1,25	BALEX ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA PRUSZYŃSKI
	h [mm]	od 92 do 135	
	L [m]	max 15,00	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasów i środnika	t [mm]	od 0,75 do 1,25	ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA
	h [mm]	200	
	L [m]	max 18,00	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasa i środnika	t [mm]	od 0,75 do 1,25	ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA
	h [mm]	od 106 do 110	
	L [m]	max 15,00	
Blacha trapezowa z usztywnieniami pośrednimi pasa i środnika	t [mm]	od 0,75 do 1,25	ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA
	h [mm]	od 33 do 40	
	L [m]	max 15,00	
Blacha trapezowa	t [mm]	od 0,50 do 1,00	ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA BALEX
	h [mm]	od 39 do 45	
	L [m]	max 15,00	
Blacha trapezowa	t [mm]	od 0,63 do 1,00	ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA
	h [mm]	35	
	L [m]	max 12,80	
Blacha trapezowa	t [mm]	od 0,63 do 1,00	ARCELOR CONSTRUCTION POLSKA
	h [mm]	29	
	L [m]	max 13,00	
Blacha trapezowa	t [mm]	od 0,50 do 0,85	PRUSZYŃSKI RUUKKI
	h [mm]	od 30 do 35	
	L [m]	max 14,50	



Rys. 1. Dach: a) płatwiowy, b) bezpłatwiowy
Fig. 1. Roof: a) with purlins, b) without purlins

Nośność blach fałdowych określa się przy upraszczającym założeniu, że równomiernie rozłożone obciążenia (stałe i zmienne) działają prostopadle do powierzchni blach, a same arkusze blach traktuje się jako belki zginane (i ścinane) poprzecznie, jedno- lub wieloprzęsłowe, o przekroju odpowiadającym szerokości równej 1m. W obliczeniach blach fałdowych, wg norm [5, 7, 8], można uwzględnić nadkrytyczną rezerwę nośności cienkich ścianek, celem uzyskania oszczędności materiałowych. Z tego powodu w stanie nadkrytycznym wykorzystuje się znaną koncepcję szerokości współpracujących (efektywnych) [13].

3.2. Metodyka oceny nośności blach fałdowych wg normy PN-B-032007 [5]

Metoda oceny nośności blach profilowanych na zimno, podana w normie [5], została opracowana dla wyrobów o przekrojach poprzecznych, których ścianki spełniają proporcje geometryczne, wg tablicy 2 tej normy. W przypadku innych proporcji w geometrii pasm płytowych (rodzaju ścianek) zachodzi potrzeba doświadczalnego wyznaczenia nośności blach fałdowych. Nośność blach fałdowych przy zginaniu określa się wg (1), przy zginaniu i ścinaniu wg (2), nośność środnika blachy przy działaniu skoncentrowanej siły skupionej wg (3), nośność zaś przekrojów w elementach jednocześnie zginanych jednokierunkowo i poddanych działaniu skoncentrowanej siły skupionej wg (4):

$$M/M_R \leq 1 \quad (1)$$

$$(M/M_R)^2 + (V/V_R)^2 \leq 1 \quad (2)$$

$$P/P_R \leq 1 \quad (3)$$

$$M/M_R + P/P_R \leq 1{,}25, \quad (4)$$

gdzie:
M, M_R – moment zginający od obciążenia zewnętrznego; nośność obliczeniowa przekroju współpracującego przy zginaniu;
V, V_R – siła poprzeczna w przekroju; nośność obliczeniowa przekroju przy ścinaniu;

P, P_R – reakcja na podporze lub działająca siła skupiona; nośność obliczeniowa przekroju środnika pod działaniem siły skupionej

Jednocześnie przyjęte przekroje blachy powinny spełniać warunki stanu granicznego użytkowania; w szczególności ugięcia blach nie mogą przekraczać wartości granicznych, podanych w normie [5], w zależności od warunków konstrukcyjnych.

3.3. Dobór blach wg tablic producentów

Na podstawie tablic, np. zamieszczonych w [1, 2, 3, 4], określa się obciążenia: obliczeniowe, które odpowiadają wyznaczonej autorsko nośności blachy w I stanie granicznym, oraz charakterystyczne, odpowiadające przyjętym ugięciom granicznym w II stanie granicznym. Dobór blach odbywa się przez porównanie działających na nią obciążeń, zestawionych wg obowiązujących norm, o wartościach odpowiednio obliczeniowych w SGN i charakterystycznych w SGU, z wartościami obciążeń określonymi tabelarycznie.

Należy tu zauważyć, że poszczególni producenci przyjmują inne podstawy obliczeń, co może powodować, że ten sam przekrój blachy, w różnych tabelach, może mieć inne nośności. Wiąże się to także z innymi częściowymi współczynnikami bezpieczeństwa, przyjmowanymi odmiennie w różnych normach, zarówno po stronie obciążeń, jak i materiału.

4. Weryfikacja tabelarycznych nośności blach fałdowych wg normy [5]

Biorąc pod uwagę zarówno zasady kształtowania pokryć opisane w p. 3.1, jak i sposoby oceny ich nośności, do weryfikacji sporządzonej na podstawie przepisów normy [5], wybrano następujące przykłady rozwiązań statycznych: dla dachów płatwiowych – blachy jedno- i trójprzęsłowe, a dla bezpłatwiowych jedno- i dwuprzęsłowe. Przyjęte blachy fałdowe zostały poddane działaniu obciążenia równomiernie rozłożonego, odczytanego z tablic obciążeń granicznych, opracowanych przez producentów jako minimum z obciążeń wyznaczonych dla SGN i SGU. W tabelach 2 i 3 zestawiono wyniki obliczeń dla SGN, a w tabeli 4 dla SGU blach T60, TR60 i T135, TR136 (firm Florprofile (F) i Pruszyński (P)), sporządzonych wg procedur normy [5] dla przyjętych w punkcie 4 schematów podparcia blach.

Tabela 2

Wyniki obliczeń dla SGN

Symbol blachy	Liczba przęseł	q_d	M(qd)		M_R, [5]		$M / M_R \leq 1$	
			[kNm]		[kNm]			
		[kN/m²]	przęsło	podpora	przęsło	podpora	przęsło	podpora
TR60 (F)	1	4,39	4,94	-	4,33	-	**1,14**	-
T60 (P)	1	3,85	4,33	-	4,42	-	0,98	-
TR60 (F)	3	4,08	2,94	3,67	4,33	4,00	0,68	0,92
T60 (P)	3	3,8	2,74	3,42	4,42	4,19	0,62	0,82
TR136 (F)	1	2,07	9,32	-	9,80	-	0,95	-
T135 (P)	1	2,3	10,35	-	11,22	-	0,92	-
TR136 (F)	2	1,81	4,56	8,15	9,80	8,16	0,47	0,99
T135 (P)	2	1,94	4,89	8,73	11,22	9,41	0,44	0,93

q_d – graniczne obciążenie równomiernie rozłożone, ze względu na nośność (odczytane z tablic); $M(q_d)$ – maksymalny moment zginający od obciążenia q_d

Jak pokazują wyniki zamieszczone w tabeli 2, warunki nośności (1) wybranych blach określone wg [5], poza przypadkiem blachy TR60 (F), nie zostały przekroczone. Należy tutaj nadmienić, że zazwyczaj w przypadku jednoprzęsłowych blach trapezowych warunek SGU dominuje nad warunkiem SGN (nośność ustrojów jednoprzęsłowych nie jest wtedy w pełni wykorzystana).

Dla rozważanych w tabeli 2 przekrojów blach przekroczone zostały (z wyjątkiem blachy T60 (P)) natomiast warunki nośności (4) na podporach pośrednich, co pokazano w tabeli 3.

Na podstawie wyników – tabela 4 – można stwierdzić, że ugięcia blach $f(q_k)$ zostały nieznacznie przekroczone. Należy tutaj zaznaczyć, że dla SGU efektywne charakterystyki geometryczne blach są inne niż w przypadku SGN. Analiza sposobu określania nośności, na podstawie tablic producentów, pozwoliła sformułować wiele praktycznych spostrzeżeń.

W licznych przypadkach niemożliwe jest obliczenie efektywnych charakterystyk geometrycznych blach, z uwagi na brak, w większości katalogów producentów, szczegółowych danych geometrycznych. Zawarte w niektórych katalogach wybrane efektywne charakterystyki są niewystarczające do sprawdzenia SGN i SGU, wg norm [5, 6].

Informacje te są niezbędne w przypadku nietypowych rozwiązań, kiedy np. działające na blachę obciążenia nie są obciążeniami ciągłymi równomiernie rozłożonymi, a długości przęseł między sobą różnią się więcej niż o około 2%. W sytuacjach gdy mamy do czynienia z obciążeniem skupionym (podwieszenia), obciążeniem nierównomiernie rozłożonym (worki śnieżne) bądź różnymi długościami przęseł dane w tablicach obciążeń granicznych są niewystarczające.

Tabela 3

Wyniki obliczeń dla SGN

Symbol blachy	P = R [kN]		P_R gdy c > 1,5h [kN]		$P / P_R \leq 1$		$M / M_R + P / P_R \leq 1,25$
	podpora						
	skrajna	pośrednia	skrajna	pośrednia	skrajna	pośrednia	podpora pośrednia
TR60 (F)	6,59	-	8,08	-	0,38	-	-
T60 (P)	5,78	-	20,14	-	0,29	-	-
TR60 (F)	4,90	13,46	17,96	39,81	0,27	0,34	**1,256**
T60 (P)	4,56	12,54	20,14	45,52	0,23	0,26	1,081
TR136 (F)	6,21	-	12,38	-	0,50	-	-
T135 (P)	6,90	-	13,61	-	0,51	-	-
TR136 (F)	4,07	13,58	12,38	29,83	0,33	0,46	**1,453**
T135 (P)	4,37	14,55	13,61	32,04	0,32	0,45	**1,382**

Tabela 4

Wyniki obliczeń dla SGU

Symbol blachy	L (rozstaw podpór)/150				L (rozstaw podpór)/200				L (rozstaw podpór)/300			
	q_k	f_{gr}	$f(q_k)$	$f(q_k)/fgr$	q_k	f_{gr}	$f(q_k)$	$f(q_k)/fgr$	q_k	f_{gr}	$f(q_k)$	$f(q_k)/fgr$
	[kN/m²]	[mm]	[mm]		[kN/m²]	[mm]	[mm]		[kN/m²]	[mm]	[mm]	
TR136	-	-	-	-	1,03	30	32,3	**1,08**	0,69	20	21,7	**1,08**
T135	1,58	40	40,9	**1,02**	1,19	30	30,8	**1,03**	0,79	20	20,4	**1,02**

q_k – obciążenie charakterystyczne dla SGU odpowiadające granicznym ugięciom; f_{gr} – ugięcie graniczne blachy w zależności od warunków konstrukcyjnych, $f(q_k)$ – ugięcie blachy w zależności od przyłożonego obciążenia q_k

Dobierając blachy z katalogów należy zwrócić uwagę na wymagania w zakresie minimalnej szerokości podparcia blachy na podporze. Wpływają one bowiem na obciążenia graniczne blach (wzory 3, 4). Jeżeli wymagania te nie są spełnione, można zastosować zdwojony przekrój blachy w strefie podporowej, podobnie dla zaspokojenia warunku (4).

LITERATURA

1. Florprofile: Blachy trapezowe, kasety ścienne. Tabele obciążeń dopuszczalnych, IX 2004.
2. Blachotrapez: Tablice obciążeniowe dla blach trapezowych i kaset ściennych, IV 2006.
3. Pruszyński: Tabelaryczne zestawienia charakterystycznych nośności blach trapezowych i kaset ściennych, Warszawa 2006.
4. Ruukki: Profile trapezowe. Tabele obciążeń, charakterystyki, rysunki montażowe.

5. PN-B-03207 – Konstrukcje stalowe. Konstrukcje z kształtowników i blach profilowanych na zimno. Projektowanie i wykonanie. Grudzień 2002.
6. PN-B-03207:2002/Az1 – Konstrukcje stalowe. Konstrukcje z kształtowników i blach profilowanych na zimno. Projektowanie i wykonanie. Październik 2004.
7. DIN 18807 Teil 1, 2, 3: Trapezprofile im Hochbau Stahltrapezprofile, Juni 1987.
8. Eurocode 3 Part 1.3. Design of steel structures. General Rules. Supplementary rules for cold formed thin-gauge members and sheeting CEN, ENV-1993-1-3 February 1996.
9. Bródka J., Garncarek R., Miłaczewski K.: Blachy fałdowe w budownictwie stalowym, Arkady 1999.
10. Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7.07.1994 DzU z 2003 r. Nr 207, poz. 2016.
11. PN-90/B-3200. Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
12. PN-B-06200. Konstrukcje stalowe budowlane. Warunki wykonania i odbioru.
13. Piekarczyk M.: Utilization of the post-buckling reserve of strenght in the design of steel tructures. Monografia 299, Politechnika Krakowska 2004.

Recenzent: Dr hab. inż. Walter Wuwer