

TABLICOWE OKREŚLANIE NOŚNOŚCI ŚRUB NA DOCISK

mgr inż. Sławomir Słowiński
mgr inż. Kamil Kubiak

W artykule przedstawiono tablicową metodę określania nośności na docisk połączeń śrubowych. Podane przykłady obliczeniowe są praktyczną wskazówką w projektowaniu złączy zakładkowych.

Połączenia śrubowe stanowią podstawowy sposób łączenia elementów składowych konstrukcji stalowych. Takie rozwiązanie jest korzystne z uwagi na pewność połączenia i łatwość ich wykonania. Stosowane są przede wszystkim do łączenia elementów podczas montażu na budowie.

Projektowanie połączeń śrubowych Złącza doczołowe

Od projektanta połączeń śrubowych zależy dobór takich parametrów, jak klasa śrub, ich ilość czy grubość użytych blach. Obliczenia powinny być wykonane na podstawie procedur zawartych w normie EN-1993-1-8. W celu usprawnienia projektowania w przypadku typowych złączy doczołowych można skorzystać z tablic DSTV autorstwa niemieckich naukowców i projektantów [2]. Znajdziemy w nich już gotowe i przeliczone rozwiązania.

Złącza zakładkowe

Odmierna i mniej komfortowa sytuacja ma miejsce w przypadku połączeń zakładkowych, czyli takich, w których kierunek głównej składowej obciążenia złącza jest prostopadły do osi łączników. Norma wyróżnia trzy kategorie tego typu połączeń (A,B,C) i narzuca odpowiednie warunki nośności dla każdej z nich. Spełnienie nośności na ścinanie i nośności na docisk jest wymagane w każdym przypadku. Pomocne w projektowaniu mogą być tablice prof. A. Biegusa [1] z określoną nośnością śrub na ścinanie części gwintowanej i niegwintowanej. Dotąd brakowało podobnego wsparcia w przypadku sprawdzania warunku na docisk. Obliczenia nie są skomplikowane, jednak stosunkowo czasochłonne. Doleżyliśmy wszelkich starań, żeby i ten proces ułatwić oraz przyspieszyć. Stworzyliśmy metodę tablicowego określania nośności na docisk, która w sposób zasadniczy skracza czas potrzebny na zaprojektowanie połączenia zakładkowego spełniającego normowy warunek nośności na docisk.

Normowy warunek nośności na docisk

Normowy [5] warunek nośności na docisk złącza zakładkowego sprawdzamy według wzoru:

$$F_{b, Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_\Sigma}{\gamma_{M2}} \quad (1)$$

gdzie:

f_u – wytrzymałość na rozciąganie stali łączonego elementu,
 d – średnica trzpienia śruby,
 t_Σ – sumaryczna grubość ścianki podlegającej dociskowi w złączu o tym samym kierunku przekazywania obciążenia,
 $\gamma_{M2} = 1,25$ – częściowy współczynnik nośności.

Obliczenia nie są skomplikowane, ale nośność na docisk należy sprawdzić dla śrub skrajnych, pośrednich dla kierunku prostopadłego i równoległego do wektora obciążenia, określając współczynniki:

$$\alpha_{bs} = \alpha_{ds} = \min \begin{cases} \frac{e_1}{3d_0} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$\alpha_{bp} = \alpha_{dp} = \min \begin{cases} \frac{p_1}{3d_0} - 0,25 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1 \end{cases} \quad (3)$$

$$k_{1s} = \min \begin{cases} 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7^* \\ 2,5 \end{cases} \quad (4)$$

$$k_{1p} = \min \begin{cases} 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{cases} \quad (5)$$

gdzie:

indeks s – skrajne położenie śruby;

indeks p – pośrednie położenie śruby;

d_0 – średnica otworu na śrubę;

e_1 – odległość czołowa osi otworu łącznika od najbliższego brzegu części, mierzona w kierunku obciążenia;

e_2 – odległość boczna osi otworu łącznika od najbliższego brzegu części, mierzona prostopadłe do kierunku obciążenia;

p_1 – osiowy rozstaw łączników w szeregu równoległym do kierunku obciążenia;

p_2 – rozstaw sąsiednich szeregów łączników, mierzony prostopadłe do kierunku obciążenia;

* tablicowe określanie nośności na docisk jest możliwe, gdy $2e_2 \leq p_2$ w przeciwnym wypadku tablice nie mają zastosowania.



Ważność współczynnika f_{ub}/f_u przy określaniu α_b występuje tylko w przypadku śrub klasy 4.6 oraz 4.8 stosowanych jednocześnie ze stalą S355 lub wyższą (szare tło) wg tab. 1.:

Tablica 1. Stosunek f_{ub}/f_u

				S235	S275	S355	stal
				235	275	355	f_y
		f_{ub} / f_u		360	390	490	f_u
4.6	240	400	1,11	1,03	0,82		
4.8	320	400	1,11	1,03	0,82		
5.6	300	500	1,39	1,28	1,02		
5.8	400	500	1,39	1,28	1,02		
6.8	480	600	1,67	1,54	1,22		
8.8	640	800	2,22	2,05	1,63		
10.9	900	1000	2,78	2,56	2,04		
klasa śrub	f_{yb}	f_{ub}					

Praktycznie w budownictwie zestawienie śrub klasy 4.6 lub 4.8 ze stalą S355 nie występuje, zatem współczynniki α_{bs} oraz α_{bp} określone są przez:

$$\alpha_{bs} = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}, 1 \right\} \quad (6)$$

$$\alpha_{bp} = \min \left\{ \frac{p_1}{3d_0} - 0,25, 1 \right\} \quad (7)$$

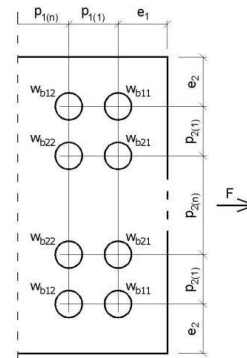
Wartość f_u oraz grubość blachy t są stałe dla wszystkich śrub w połączeniu, zatem nośności na docisk można zapisać:

$$F_{b,Rd} = w_b f_u t \quad (8)$$

gdzie:

$$w_b = \frac{k_1 \alpha_b d}{\gamma_{M2}} \quad (9)$$

Współczynnik w_b uzależniony jest od położenia śrub w połączeniu wg rys. 1.:



Rys. 1. Oznaczenie położenia śrub

gdzie:

w_{b11} – położenie skrajne równoległe, skrajne prostopadłe do wektora obciążenia;

w_{b12} – pośrednie równoległe, skrajne prostopadłe;

w_{b21} – skrajne równoległe, pośrednie prostopadłe;

w_{b22} – pośrednie równoległe, pośrednie prostopadłe.

Zmiennymi wartościami we współczynniku w_b są: średnica śruby d oraz odległości od krawędzi e lub sąsiedniej śruby p , które ukryte są pod wyrazami k_1 , α_b . Określając współczynnik w_b dla średnicy śruby, możliwe jest tablicowe przedstawienie w_b dla zmiennych wartości p_1 , p_2 , e_1 , e_2 wg tablic 2–9.

Przyjęto d_0 jako maksymalny otwór zgodny z normą [3].

W przypadku złącza zakładkowego na jeden szereg śrub należy zastosować podkładkę od strony tba i nakrętki oraz dodatkowo sprawdzić warunek:

$$F_{b,Rd} = 1,5 f_u dt / \gamma_{M2} \quad (10)$$

Wartość f_u oraz grubość blachy t są stałe dla wszystkich śrub w połączeniu, zatem nośności na docisk można zapisać:

$$F_{b,Rd} = w_{b1} f_u t \quad (11)$$

$$w_{b1} = \frac{1,5d}{\gamma_{M2}} \quad (12)$$

Współczynnik w_{b1} podano w tablicach 2–9. Jest on stały dla średnicy niezależnie od odległości śruby od krawędzi.

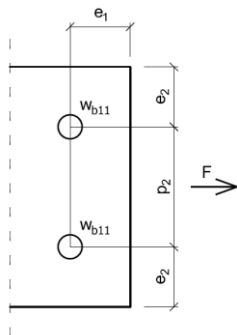
Miejsce od którego warunek (10) jest decydujący, a w_{b1} przyjmuje stałą wartość, zaznaczono czarną pogrubioną linią. Schemat postępowania w takim przypadku zaprezentowano w przykładzie obliczeniowym nr 1.

Przykład obliczeniowy nr 1

Zaprojektować złącze zakładkowe na siłę rozciągającą 70 kN, blachy ze stali S235.

Założenia:

- śruby M12 klasy 8.8,
- nośność śruby na ścięcie w jednej płaszczyźnie dla części niegwintowanej $F_{V,Rd} = 43,39 \text{ kN}$



Rys. 2. Schemat przykładu obliczeniowego nr 1

Odległości przyjęto jako $e_1 = 3 \text{ cm}$; $e_2 = 3 \text{ cm}$; $p_2 = 6 \text{ cm}$.

Warunek $2e_2 \leq p_2$ spełniony.

$$w_{b11} \text{ (dla } e_1 = 3, e_2 = 3) = 1,85$$

Współczynnik w_{b11} wynosi 1,85, lecz ze względu na przyjęcie jednego szeregu należy porównać i ewentualnie obniżyć go do wartości w_{b1} :

$$w_{b11} = 1,85 > w_{b1} = 1,44$$

Dobór grubości blachy:

$$t_{\min} = \frac{F_{b,Ed}}{w_b f_u} = \frac{70}{2,88 \cdot 36,0} = 0,68 \text{ cm}$$

Przyjęto grubość blachy $t=8 \text{ mm}$, dla której należy sprawdzić, czy nośność na docisk poszczególnych śrub nie jest większa od nośności na ścięcie trzpienia:

$$F_{b,Rd} = 41,47 < F_{V,Rd} = 43,39 \text{ kN}$$

zatem sumaryczna nośność na docisk wynosi:

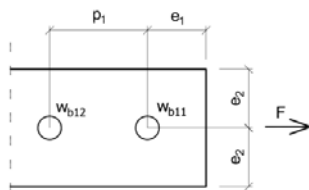
$$F_{b,Rd} = 2 \cdot 41,47 = 82,94 \text{ kN}$$

Przykład obliczeniowy nr 2

Zaprojektować złącze zakładkowe na siłę rozciągającą 70 kN, blachy ze stali S235.

Założenia:

- śruby M12 klasy 8.8,
- występują min. dwa szeregi śrub,
- nośność śruby na ścięcie w jednej płaszczyźnie dla części niegwintowanej $F_{V,Rd} = 43,39 \text{ kN}$



Rys. 3. Schemat przykładu obliczeniowego nr 2

Odległości przyjęto jako: $p_1=5 \text{ cm}$; $e_1=3 \text{ cm}$; $e_2=3 \text{ cm}$

$$w_{b11} \text{ (dla } e_1 = 3, e_2 = 3) = 1,85$$

$$w_{b12} \text{ (dla } p_1 = 5, e_2 = 3) = 2,40$$

sumarycznie:

$$w_b = 1,85 + 2,40 = 4,25$$

Dobór grubości blachy:

$$t_{\min} = \frac{F_{b,Ed}}{w_b f_u} = \frac{70}{4,25 \cdot 36,0} = 0,49 \text{ cm}$$

Przyjęto grubość blachy $t=8 \text{ mm}$, dla której należy sprawdzić, czy nośność na docisk poszczególnych śrub nie jest większa od nośności na ścięcie trzpienia:

$$F_{b12Rd} = 69,12 \text{ kN} > F_{V,Rd} = 43,39 \text{ kN}$$

$$F_{b11Rd} = 53,28 \text{ kN} > F_{V,Rd} = 43,39 \text{ kN}$$

Sumaryczna nośność na docisk wynosi:

$$F_{b,Rd} = 43,39 + 43,39 = 86,78 \text{ kN}$$

Przykład obliczeniowy nr 3

Zaprojektować złącze zakładkowe na siłę rozciągającą 400 kN, blachy ze stali S355.

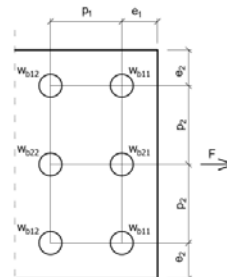
Założenia:

- śruby M16 klasy 8.8,
- występują min. dwa szeregi śrub,
- nośność śruby na ścięcie w jednej płaszczyźnie dla części niegwintowanej

$$F_{V,Rd} = 77,21 \text{ kN}$$

$$n = \frac{400}{77,21} = 5,18 \cong 6$$

Przyjęto parzystą liczbę śrub $n = 6$ (dwa szeregi po trzy śruby), wg schematu:



Rys. 3. Schemat przykładu obliczeniowego nr 3

Odległości przyjęto jako: $p_1=5 \text{ cm}$; $p_2=5,5 \text{ cm}$; $e_1=2,5 \text{ cm}$; $e_2=2,5 \text{ cm}$

Warunek $2e_2 \leq p_2$ spełniony.

$$w_{b12} \text{ (dla } p_1 = 5, e_2 = 2,5) = 1,89$$

$$w_{b11} \text{ (dla } e_1 = 2,5, e_2 = 2,5) = 1,30$$

$$w_{b22} \text{ (dla } p_1 = 5, p_2 = 5,5) = 2,16$$

$$w_{b21} \text{ (dla } e_1 = 2,5, p_2 = 5,5) = 1,48$$

$$w_{b12} \text{ (dla } p_1 = 5, e_2 = 2,5) = 1,89$$

$$w_{b11} \text{ (dla } e_1 = 2,5, e_2 = 2,5) = 1,30$$

sumarycznie:

$$w_b = 2 \cdot (1,30 + 1,89) + 2,16 + 1,48 = 10,02$$

Dobór grubości blachy:

$$t_{\min} = \frac{F_{b,Ed}}{w_b f_u} = \frac{400}{10,02 \cdot 49,0} = 0,815 \text{ cm}$$

Przyjęto grubość blachy $t=10 \text{ mm}$, dla której należy sprawdzić, czy nośność na docisk poszczególnych śrub nie jest większa od nośności na ścięcie trzpienia:

$$F_{b12Rd} = 92,61 \text{ kN} > F_{V,Rd} = 77,21 \text{ kN}$$

$$F_{b11Rd} = 63,70 \text{ kN} < F_{V,Rd} = 77,21 \text{ kN}$$

$$F_{b22Rd} = 105,84 \text{ kN} > F_{V,Rd} = 77,21 \text{ kN}$$

$$F_{b21Rd} = 75,52 \text{ kN} < F_{V,Rd} = 77,21 \text{ kN}$$

$$F_{b12Rd} = 92,61 \text{ kN} > F_{V,Rd} = 77,21 \text{ kN}$$

$$F_{b11Rd} = 63,70 \text{ kN} < F_{V,Rd} = 77,21 \text{ kN}$$

Sumaryczna nośność na docisk wynosi:

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot (63,70 + 77,21) + 77,21 + 72,5 = 431,66 \text{ kN}$$

Bibliografia:

- [1] Biegus A.: Projektowanie konstrukcji stalowych wg Eurokodu 3. Część 4 – połączenia śrubowe. Materiały dydaktyczne. Wrocław 2010.
- [2] Sedlacek G., Weynand K., Klinkhammer R., Hüller V.: Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau, Aachen, Düsseldorf, 2002.
- [3] PN-EN 1090-2+A1:2012 Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 2: wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych.
- [4] PN-EN 1993-1-1:2006/NA:2010 Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [5] PN-EN 1993-1-8:2006 Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-8: Projektowanie węzłów.

Streszczenie. Tablicowe określanie nośności śrub na docisk.

W opracowaniu przedstawiono tablicową metodę określania nośności śrub na docisk. Opisano przyjęte uproszczenia we współczynnikach kierunkowych. Przedstawiono tablice oraz przykłady obliczeniowe.

Słowa kluczowe: nośność na docisk, zakładkowe połączenia śrubowe, metoda tablicowa

Abstract. Array method for bearing resistance determination.

The paper presents an array method for bearing resistance determi-

nation. Adopted simplifications in directional coefficients have been described. Arrays and calculation examples have been presented.

Keywords: bearing resistance, shear bolted connections, array method

O autorach:

WOLSTAL Projektowanie Sp. z o.o.

Jesteśmy zespołem inżynierów, który wyróżnia synergia doświadczenia, wiedzy oraz sprawdzonego know-how. Specjalizujemy się w tworzeniu dokumentacji konstrukcyjnej, projektowaniu, wykonywaniu szczegółowych analiz wytrzymałościowych MES oraz optymalizacji wszelkich konstrukcji budowlanych.

www.wolstal.com

mgr inż. Sławomir Słowiński, CEO, główny projektant, doktorant na Politechnice Poznańskiej, autor publikacji

mgr inż. Kamil Kubiak, asystent projektanta konstrukcji, wielokrotnie stypendysta Politechniki Poznańskiej, autor przykładów obliczeniowych.

Przykładowe tablice dla M12 i M16, pozostałe na www.buildercorp.pl/nauka i budownictwo

TABLICA 2 Współczynniki w_b dla M12.

w_{b12}		RÓWNOLEGŁY POŚREDNI										w_{b11}		RÓWNOLEGŁY SKRAJNY									
PROSTOPADŁY SKRAJNY		0,48	0,52	0,65	0,78	0,90	1,00	1,00	...	α_d	PROSTOPADŁY SKRAJNY		0,40	0,51	0,64	0,77	0,90	1,00	1,00	...	α_d		
		$2,2*d_0=2,86$	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	...	e_1			$1,2*d_0=1,56$	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	...	e_1		
1,66	$1,2*d_0=1,56$	0,77	0,83	1,03	1,24	1,44	1,59	1,59		F →	1,66	$1,2*d_0=1,56$	0,64	0,82	1,02	1,23	1,43	1,59	1,59		F →		
2,50	2,00	1,16	1,25	1,55	1,86	2,17	2,40	2,40			2,50	2,00	0,96	1,23	1,54	1,85	2,15	2,40	2,40				
2,50	2,50	1,16	1,25	1,55	1,86	2,17	2,40	2,40			2,50	2,50	0,96	1,23	1,54	1,85	2,15	2,40	2,40				
...											
k_1	e_2 WARUNEK $2e_2 \leq p_2$										k_1	e_2 WARUNEK $2e_2 \leq p_2$											

w_{b22}		RÓWNOLEGŁY POŚREDNI										w_{b21}		RÓWNOLEGŁY SKRAJNY									
PROSTOPADŁY POŚREDNI		0,48	0,52	0,65	0,78	0,90	1,00	1,00	...	α_d	PROSTOPADŁY POŚREDNI		0,40	0,51	0,64	0,77	0,90	1,00	1,00	...	α_d		
		$2,2*d_0=2,86$	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	...	e_1			$1,2*d_0=1,56$	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	...	e_1		
1,66	$2,4*d_0=3,12$	0,77	0,83	1,03	1,24	1,44	1,59	1,59		F →	1,66	$2,4*d_0=3,12$	0,64	0,82	1,02	1,23	1,43	1,59	1,59		F →		
2,07	3,50	0,96	1,03	1,29	1,54	1,80	1,99	1,99			2,07	3,50	0,79	1,02	1,27	1,53	1,78	1,99	1,99				
2,50	4,00	1,16	1,25	1,55	1,86	2,17	2,40	2,40			2,50	4,00	0,96	1,23	1,54	1,85	2,15	2,40	2,40				
2,50	4,50	1,16	1,25	1,55	1,86	2,17	2,40	2,40			2,50	4,50	0,96	1,23	1,54	1,85	2,15	2,40	2,40				
...											
k_1	p_2 WARUNEK $2e_2 \leq p_2$										k_1	p_2 WARUNEK $2e_2 \leq p_2$											

TABLICA 3 Współczynniki w_b dla M16.

w_{b12}		RÓWNOLEGŁY POŚREDNI										w_{b11}		RÓWNOLEGŁY SKRAJNY										
PROSTOPADŁY SKRAJNY		0,48	0,58	0,68	0,77	0,86	0,95	1,00	1,00	...	α_d	PROSTOPADŁY SKRAJNY		0,40	0,46	0,56	0,65	0,74	0,83	0,93	1,00	1,00	...	α_d
		$2,2*d_0=3,96$	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	...	e_1			$1,2*d_0=2,16$	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	...	e_1
1,66	$1,2*d_0=2,16$	1,03	1,24	1,44	1,63	1,83	2,03	2,12	2,12		F →	1,66	$1,2*d_0=2,16$	0,85	0,98	1,18	1,38	1,57	1,77	1,97	2,12	2,12		F →
2,19	2,50	1,35	1,63	1,89	2,15	2,41	2,67	2,80	2,80			2,19	2,50	1,12	1,30	1,56	1,82	2,08	2,33	2,59	2,80	2,80		
2,50	3,00	1,55	1,87	2,16	2,46	2,76	3,05	3,20	3,20			2,50	3,00	1,28	1,48	1,78	2,07	2,37	2,67	2,96	3,20	3,20		
2,50	3,50	1,55	1,87	2,16	2,46	2,76	3,05	3,20	3,20			2,50	3,50	1,28	1,48	1,78	2,07	2,37	2,67	2,96	3,20	3,20		
...												
k_1	e_2 WARUNEK $2e_2 \leq p_2$										k_1	e_2 WARUNEK $2e_2 \leq p_2$												

w_{b22}		RÓWNOLEGŁY POŚREDNI										w_{b21}		RÓWNOLEGŁY SKRAJNY										
PROSTOPADŁY POŚREDNI		0,48	0,58	0,68	0,77	0,86	0,95	1,00	1,00	...	α_d	PROSTOPADŁY POŚREDNI		0,40	0,46	0,56	0,65	0,74	0,83	0,93	1,00	1,00	...	α_d
		$2,2*d_0=3,96$	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	...	e_1			$1,2*d_0=2,16$	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	...	e_1
1,66	$2,4*d_0=4,32$	1,03	1,24	1,44	1,63	1,83	2,03	2,12	2,12		F →	1,66	$2,4*d_0=4,32$	0,85	0,98	1,18	1,38	1,57	1,77	1,97	2,12	2,12		F →
1,80	4,50	1,11	1,34	1,56	1,77	1,98	2,20	2,30	2,30			1,80	4,50	0,92	1,07	1,28	1,49	1,71	1,92	2,13	2,30	2,30		
2,19	5,00	1,35	1,63	1,89	2,15	2,41	2,67	2,80	2,80			2,19	5,00	1,12	1,30	1,56	1,82	2,08	2,33	2,59	2,80	2,80		
2,50	5,50	1,55	1,87	2,16	2,46	2,76	3,05	3,20	3,20			2,50	5,50	1,28	1,48	1,78	2,07	2,37	2,67	2,96	3,20	3,20		
2,50	6,00	1,55	1,87	2,16	2,46	2,76	3,05	3,20	3,20			2,50	6,00	1,28	1,48	1,78	2,07	2,37	2,67	2,96	3,20	3,20		
...												
k_1	p_2 WARUNEK $2e_2 \leq p_2$										k_1	p_2 WARUNEK $2e_2 \leq p_2$												