

Paweł KAWECKI¹
Wojciech KAWECKI²
Jan ŁAGUNA³

WYKORZYSTANIE WŁAŚCIWOŚCI POŁĄCZEŃ PŁYT WARSTWOWYCH NA WKRĘTY W OBLICZENIACH WSPÓŁPRACY POSZYCIA Z ELEMENTAMI KONSTRUKCJI

Przedstawiono właściwości połączeń płyt warstwowych na wkręty samowierzące, w oparciu o wyniki badań i prace wykonane na Politechnice w Karlsruhe. Celem referatu jest pokazanie wykorzystania właściwości połączeń w praktyce inżynierskiej. Płyty warstwowe są powszechnie stosowane jako elementy obudowy dachów i ścian. Mają one dużą sztywność w swojej płaszczyźnie, która może być wykorzystywana przy zabezpieczaniu przed utratą stateczności elementów konstrukcji wsporczych – płatwi dachowych, rygli i słupów ścian. Pokrycia z płyt warstwowych mogą być również traktowane jako przepony tarczowe w szkieletach konstrukcyjnych, szczególnie w budynkach małych lub tymczasowych. W połączeniach płyt są stosowane wkręty wiercone przez całą grubość płyty do konstrukcji wsporczej. Połączenia wkrętami są najsłabszymi i najmniej sztywnymi punktami tych konstrukcji. W obliczeniach przepon wykorzystuje się nośność połączeń na docisk i ich sztywność w odniesieniu do wewnętrznej oraz zewnętrznej ścianki płyty. Sposób obliczeń opiera się na regułach dotyczących stabilizacji elementów konstrukcji wsporczych przez przepony z płyt warstwowych, podanych w Normach Europejskich i Wytycznych ECCS. Przepony z płyt warstwowych i ich połączenia powinny mieć zapewnioną trwałość na cały okres eksploatacji obiektu. Autorzy polecają wykorzystywanie przepon z płyt warstwowych jako stężeń bocznych elementów zginanych lub ściskanych, a także jako ścinanych przepon tarczowych w konstrukcjach. Zastosowanie przepony z płyt warstwowych do stabilizacji płatwi z dwuteowników walcowanych objaśniono na przykładzie.

Słowa kluczowe: połączenia na wkręty, płyty warstwowe, współpraca poszycia, stabilizacja elementów

¹ Autor do korespondencji: Paweł Kawecki, Biuro Inżynierskie Mostostal sp.j. ul. Piękna 28/34 lok.13, 00-547 Warszawa, tel.: 22-628-80-84 pawel.kawecki@bimostostal.pl,

² Wojciech Kawecki, Biuro Inżynierskie Mostostal sp.j. ul. Piękna 28/34 lok.13, 00-547 Warszawa, tel.: 22-628-80-84 wojciech.kawecki@bimostostal.pl,

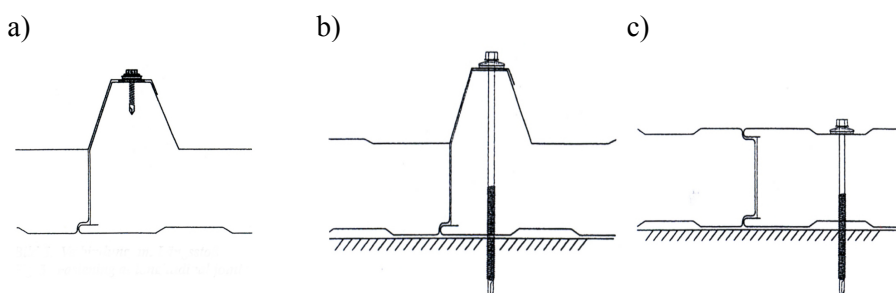
³ Jan Łaguna, Biuro Inżynierskie Mostostal sp.j. ul. Piękna 28/34 lok.13, 00-547 Warszawa, tel.: 22-628-80-84, jan.laguna@bimostostal.pl

1. Wstęp

W dotychczasowej praktyce inżynierskiej płyty warstwowe nie były traktowane jako elementy współpracujące ze szkieletem konstrukcji przy przenoszeniu obciążeń poziomych i nie były również uznawane za skuteczne do stabilizacji przed utratą stateczności elementów konstrukcji wsporczych. Wprowadzenie wkrętów do łączenia wzajemnego płyt i łączenia płyt z elementami podpierającymi oraz wykonane badania skłaniają do zmiany tego stanowiska. Konstruowanie małych obiektów z wykorzystaniem sztywności przestrzennej obudowy z płyt warstwowych oraz stabilizacja przed zwirzeniem elementów wsporczych obudowy dachów i ścian za pomocą tych płyt są obecnie możliwe. Uzasadnienie stanowią przepisy, wyniki badań i publikacje cytowane w niniejszym referacie.

2. Charakterystyka połączeń płyt warstwowych na wkręty

W obudowie dachów i ścian z płyt warstwowych występują połączenia wzdłużne między płytami rys.1a i połączenia poprzeczne z podpierającymi elementami konstrukcji. Zewnętrzne i wewnętrzne ścianki metalowe płyt są łączone wkrętami z elementami podpierającymi konstrukcji, rys. 1b i 1c.



Rys.1. Połączenia płyt warstwowych wkrętami a) połączenie wzdłużne między płytami, b) połączenie z płatiwą wiercone przez grzbiet fałdy, c) połączenie z płatiwą wiercone przez płytę

Fig. 1. Screw fastenings of sandwich panels a) panels longitudinal fastening, b) panel-purlin fasting drilled through the flange, c) panel-purlin fasting drilled through the panel.

W obu przypadkach do połączeń są używane wkręty samowierzące z uszczelkami, które przenoszą obciążenia stałe i zmienne oraz siły wynikające z pracy tarzowej. Połączenia płyt z elementami konstrukcji III klasy konstrukcyjnej są sprawdzane na obciążenie odrywające ssaniem wiatru. W konstrukcjach II klasy w celu stabilizacji elementów przed utratą stateczności można wykorzystywać nośność połączeń płyt z elementami i połączeń między płytami do przenoszenia sił stycznych od imperfekcji

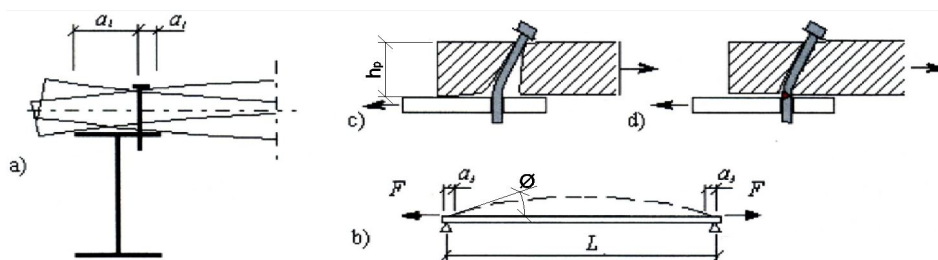
elementów, patrz [3] i [5]. Oddziaływania styczne w poszyciu z płyt warstwowych są przenoszone przez ścinanie połączeń zewnętrznej okładziny między płytami i połączeń wewnętrznej okładziny z elementami konstrukcji wsporczej. Oddziaływania normalne do powierzchni poszycia przenoszą wkręty pracujące na rozciąganie, wyrwanie z podłoża, wgniecenie łba w płytę i przeciągnięcie łba przez okładzinę zewnętrzną. Na skrajnych podporach płyt występują oprócz tego oddziaływania lokalne. Charakterystyczną formą zniszczenia połączeń płyt z podłożem jest wtedy pochylenie i zginanie trzpienia łącznika wywołane przez obrót płyty na podporze lub zmiany temperatury pomiędzy blachami okładzinowymi płyt. Trzeba brać przy tym pod uwagę, że obrót na podporach skrajnych wynikający z ugięcia jest ograniczony dopuszczalną wartością ugięcia płyt. Kąt obrotu płyty na podporze przy założeniu, że obciążenie jest ciągłe i rozłożone równomiernie, a ugięcie graniczne wynosi $w=l/200$, może osiągnąć wartość:

$$\phi = \frac{16w}{5l} = \frac{16}{5 \cdot 200} = 0,016 \quad (1)$$

Pochylenie trzpienia wkrętu z powodu ugięcia płyty w stanie użytkowalności jest więc wartością małą w porównaniu z największym dopuszczalnym pochyleniem (w mm) wkrętu ze stali węglowej wyznaczanym według [8] z wzoru:

$$u_{\max} = \frac{0,3h_p}{t_{\text{sup}}} \geq 0,07h_p \quad (2)$$

gdzie: h_p – grubość płyty warstwowej



Rys. 2. Schematy odkształceń i oddziaływań w połączeniu płyty warstwowej na skrajnej podporze według [9] a) efekt dźwigni wynikający z utwierdzenia; b) siły błonowe wynikające z ugięcia płyty; c) owalizacja otworu w blasze wewnętrznej; d) zniszczenie trzpienia łącznika przy zginaniu i ścinaniu.

Fig. 2 Actions and deflections on the support of sandwich panel [9], a) prying forces effect from fixing moment, b) membrane forces due deflection of panel, c) deflection of internal sheet hole, d) failure mode fracture of the screw shank.

Schematy odkształceń i oddziaływań na podporze jednoprzęsłowej płyty pokazane na rys.2 mogą posłużyć do opisanego obciążeń i form zniszczenia połączeń płyt występujących na podporach skrajnych. Dodatkowa siła rozciągająca wkręty wywołana efektem dźwigni przy obrocie płyty na podporze może wystąpić, gdy ramię dźwigni a_1 pokazane na rys. 2a jest dostatecznie duże. Siła ta w miarę odkształcania złącza lub w przypadku podatności belki na skręcanie maleje, ale może znacznie wzrosnąć przy skręcaniu belki wymuszonym wpływem zmian temperatury w płytach. Dodatkowa siła ścinająca połączenie rys. 2b, wynikająca z ugięcia płyty może wystąpić na podporach przeszła skrajnego. Siła ta maleje lub zanika w przypadku podatności poziomej belki skrajnej lub owalizacji otworów w blasze wewnętrznej. Proces niszczenia połączenia przy ścinaniu rozpoczyna się od owalizacji otworów w blasze wewnętrznej rys.2c i wystąpienia siły zginającej trzpienia, przekazywanej przez blachę zewnętrzną. Można przyjąć, że siła oddziaływania blachy wewnętrznej ma wartość stałą równą nośności na docisk. Siła przekazywana przez blachę zewnętrzną przyrasta w stanie granicznym do wartości ograniczonej nośnością wkrętu na zginanie rys.2d. Oceniając nośność wkrętu na zginanie trzeba uwzględnić sztywność jego osadzenia w warstwie izolacyjnej płyty. Należy również brać pod uwagę, że pochylenie trzpienia zmniejsza jego nośność na wyrwanie z podłoża i może spowodować nieszczelność wokół łba śruby.

Specyficzną cechą połączeń na wkręty w pokryciach z płyt warstwowych jest wielokrotnie zmienne obciążenie wkrętów zginaniem trzpienia w wyniku zmian temperatury między wewnętrznymi i zewnętrznymi blachami płyt. Widmo obciążenia temperaturą w ciągu 50 lat można opisać wg [3] następującym zakresem zmienności temperatury między blachą wewnętrzną i zewnętrzną w płycie Δt i liczbą cykli zmian N : $\Delta t = 40^\circ\text{C}$ - $N=20000$; $\Delta t = 60^\circ\text{C}$ - $N=2000$; $\Delta t = 70^\circ\text{C}$ - $N=100$. W takich przypadkach należałoby stosować zredukowaną o połowę nośność wkrętów na przeciąganie i wyrwanie. Należy również brać pod uwagę zmienność obciążenia rozciągającego w śrubach przy ssaniu wiatru. Opierając się na zaleceniach [3] można przyjąć liczbę cykli obciążeń standardowych wiatrem $N=50000$ oraz obciążeń ekstremalnych $N=8000$.

3. Obliczanie nośności i sztywności połączeń płyt na wkręty

W połączeniach płyt z elementami konstrukcji występują następujące stany graniczne nośności na ścinanie;

- ścięcie (odklejenie) blachy wewnętrznej od warstwy izolacyjnej
- owalizacja otworu w blasze wewnętrznej,
- pochylenie i zgięcie trzpienia łącznika,
- owalizacja otworu w półce elementu wsporczego,
- ścięcie trzpienia łącznika,

Przy obciążeniach stycznych do płaszczyzny obudowy przyjmuje się wg [7] i [8], że wkręty przenoszą siły poprzeczne przez docisk i ścinanie trzpieni tylko w stykach z wewnętrznymi ściankami płyt. Wzory na nośność i sztywność tych połączeń podano w 3.1 i 3.2.

W przypadku połączeń blach zewnętrznych płyt stanami granicznymi na ścinanie są:

- uplastycznienie blachy przy docisku trzpienia i wyrwanie łącznika, patrz 3.3,
- ścięcie trzpienia łącznika szczególnie w przypadku stosowania nitów jednostronnych.

Sztywność połączeń między płytami można obliczać według wzoru podanego w 3.4.

Jako formy zniszczenia, które występują przy rozciąganiu (odrywaniu) połączeń płyt z elementami konstrukcji wsporczej można wymienić:

- wgniecenie łba wkrętu w płytę (przeciągnięcie przez blachę), przy uwzględnieniu sztywności materiału izolacyjnego, patrz 3.5,
- rozerwanie blachy w połączeniu, gdy łączniki usytuowano blisko brzegu płyty
- wyrwanie trzpienia wkrętu z podłoża, patrz 3.6,
- rozerwanie trzpienia wkrętu, patrz 3.7.

Projektując połączenia należy zapewnić ich zdolność do odkształceń, dobierając odpowiednie średnice wkrętów i ich usytuowanie na blasze.

W obliczeniach stosuje się nośności wkrętów określone w Aprobatach Technicznych wkrętów oraz nośności połączeń podane w Aprobatach Technicznych płyt warstwowych.

3.1 Nośność na docisk do wewnętrznej ścianki płyty wg [7]:

$$F_{b,Rd} = 4,2 f_{u,i} \sqrt{t_i^3 d_1} / \gamma_{M2} \text{ dla } t_{sup}/t_i \geq 1,0, \text{ lecz } F_{b,Rd} \leq 1,5 f_{u,min} t_i d_1 / \gamma_{M2} \quad (3)$$

3.2 Sztywność przy ścinaniu połączenia płyty z elementem wsporczym:

Sztywność przy ścinaniu połączenia płyty warstwowej z elementem wsporczym przyjmuje się jako liniowo zmienną w zakresie nośności obliczeniowej połączenia na docisk, jak pokazano na rys. 3. Według [7] można ją wyznaczać z wzoru:

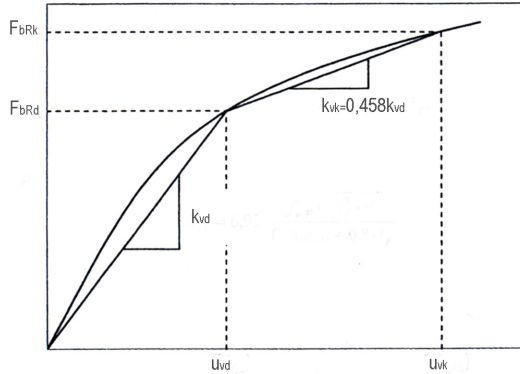
$$k_{vi,d} = 6,93 \frac{f_{u,i} \sqrt{t_i^3 d_1}}{0,26 + 0,8t_i} \quad (\text{wymiarzy w mm}) \quad (4)$$

gdzie: $f_{u,i}$ – wytrzymałość na rozciąganie stali w ściance wewnętrznej

t_i, t_{sup} – grubość ścianki wewnętrznej, grubość podłoża

d_1 – średnica rdzenia wkrętu

$\gamma_{M2} = 1,25$



Rys. 3. Zależność między siłą ścinającą wkręt i przemieszczeniem w styku płyty warstwowej z podłożem wg [7] (k_{vk} – sztywność postaciowa w drugim zakresie sztywności)

Fig. 3. Load-displacement curve for hole elongation of external sheet [7] (k_{vk} – second range shear stiffness).

3.3 Nośność na docisk do zewnętrznej ścianki w połączeniach między płytami wg [7] i [8]:

$$F_{b,Rd} = 3,2 f_{u,e} \sqrt{t_e^3 d_1} / \gamma_{M2} \quad (5)$$

3.4 Sztywność przy ścinaniu połączenia między płytami według [7]:

$$k_{ve,d} = 1,9 t_e d \text{ kN/mm} \quad (6)$$

gdzie: $f_{u,e}$ – wytrzymałość na rozciąganie stali w ściance zewnętrznej

t_e – grubość ścianki zewnętrznej

d_1, d – średnica rdzenia, średnica nominalna wkrętu

3.5 Nośność wkrętu na wgniecenie łba w płytę i przeciągnięcie łba przez blachę wg [7] i [8]:

- gdy płyta jest mocowana bezpośrednio na płaszczyźnie lub za pośrednictwem nasadki na grzbiecie fałdy

$$F_{p,Rd} = \left(2,21 \sqrt{E_c f_c} d_w^2 + 0,65 t_e f_{u,e} d_w \right) / \gamma_{M2} \quad (7)$$

- gdy płyta jest mocowana na grzbiecie fałdy bez nasadki wartość wyznaczoną wzorem (7) należy pomnożyć przez współczynnik

$$\eta = 0,55 + 0,45 e^x \quad \text{gdzie } x = - \left(\frac{8 d_w}{\pi b_1} \right)^2 \quad (8)$$

3.6 Nośność wkrętu na wyrwanie z podłoża wg PN-EN 1993-1-3/tab.8.2 [1]:

$$\text{gdy } t_{\text{sup}} / s < 1: \quad F_{o,Rd} = 0,45 d t_{\text{sup}} f_{u,\text{sup}} / \gamma_{M2} \quad (9)$$

$$\text{gdy } t_{\text{sup}} / s \geq 1: \quad F_{o,Rd} = 0,65 d t_{\text{sup}} f_{u,\text{sup}} / \gamma_{M2} \quad (10)$$

przy czym: $0,5 \text{ mm} \leq t \leq 1,5 \text{ mm}$; $t_1 \geq 0,9 \text{ mm}$; $f_u \leq 550 \text{ N/mm}^2$

3.7 Nośność wkrętu na rozciąganie (gdy brak jest danych od producenta):

$$F_{t,Rd} = 0,21 \pi d_1^2 f_{u,e} / \gamma_{M2} \quad (11)$$

gdzie we wzorach (7) do (11):

s – skok gwintu

$f_{u,e}$ – wytrzymałość na rozciąganie stali w ścianie zewnętrznej

t_e – grubość ścianki zewnętrznej

t_{sup} – grubość podłoża

d_1, d_w – średnica rdzenia wkrętu, średnica podkładki

b_1 – szerokość grzbietu fałdy płyty

E_c, f_c – moduł ściśliwości, wytrzymałość na ściskanie materiału izolacyjnego w płycie z uwzględnieniem uszczelki pod podkładką (PU/EPS).

3.8 Ocena właściwości wkrętów

W Aprobatach Technicznych wkrętów samowiercących do płyt warstwowych oprócz nośności na ścinanie i na rozciąganie podawana jest największa wartość odchylenia λ ba zależnie od grubości płyty i grubości podłoża.

Rodzaj wkrętów i sposób wykonywania połączeń jest ustalany przez producentów płyt warstwowych na podstawie wyników badań i podawany w Aprobatach Technicznych i wytycznych montażu danego typu płyt. Sposób wykonywania tych badań opisany w wytycznych ECCS TC7 TWG 7.9 [3] przewiduje ocenę nośności:

- na wyrwanie, rozciąganie i przeciąganie łączników bezpośrednich i ukrytych z uwzględnieniem właściwości warstwy izolacyjnej płyty;
- na docisk (ściananie) w styku trzpienia z wewnętrzną blachą płyty;
- na ścinanie panelu składającego się z kilku płyt warstwowych;
- na zginanie trzpienia wkrętu (także przy obciążeniach wielokrotnych) z uwzględnieniem warstwy izolacyjnej płyty;
- na rozciąganie łączników w złączu z pojedynczą blachą;
- na ścinanie łączników w złączu z pojedynczą blachą.

Odrębnymi badaniami sprawdza się sposób połączenia płyt do konstrukcji na podporach, szczególnie pod względem odległości łączników od brzegu płyt i wpływu obrotu płyt na zginanie i rozciąganie łączników.

4. Stabilizacja elementów wsporczych przez płyty warstwowe łączone wkrętami

Jako ciągle podparcie boczne uznaje się odpowiednio gęste i sztywne podparcie punktowe łączące pas belki z poszyciem z blachy lub z płyt warstwowych. Sztywność postaciowa tarczy potrzebna według EN-1993-1-1/BB2.1 do zabezpieczenia pasa belki przed przesunięciem bocznym powinna spełniać warunek:

$$S_{act} \geq \left(EI_{\omega} \frac{\pi^2}{L^2} + GI_t + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25h^2 \right) \frac{70}{h^2} \quad (12)$$

gdzie: S_{act} - sztywność postaciowa poszycia (na jednostkę długości belki) wyznaczona z wzoru (14)

I_{ω} - moment bezwładności przy skręcaniu skrupowanym (wycinkowy)

I_t - moment bezwładności przy skręcaniu swobodnym (St.Venanta)

I_z - moment bezwładności przekroju względem osi z-z

L- długość belki

h- wysokość belki.

Belkę można uważać według EN-1993-1-1/BB2.2 za skutecznie stężoną przeciwskrętnie jeśli spełniony jest warunek:

$$C_{g,k} > \frac{M_{pl,k}^2}{EI_z} K_g K_{\nu} \quad (13)$$

gdzie: $C_{g,k}$ - sztywność obrotowa (na jednostkę długości belki) związana z poszyciem i jego połączeniami według wzoru (BB4) z EN-1993-1-1 [1] lub wzoru (10.11) z EN-1993-1-3 [2]

$M_{pl,k}$ - wartość charakterystyczna nośności plastycznej przekroju belki przy zginaniu.


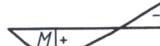
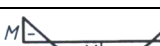
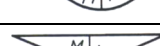

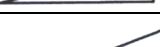
$K_{\nu} = 0,35$ w przypadku analizy sprężystej

$K_{\nu} = 1,0$ w przypadku analizy plastycznej

K_g - współczynnik uwzględniający rozkład momentów i warunki zamocowania, patrz tabl.1

Tablica 1. Współczynniki K_g uwzględniające rozkład momentów i warunki zamocowania pasa w zależności od krzywych wybożenia¹⁾ według DIN-EN 1993-1-1/NA

Table 1 Equivalent uniform moment factors K_g depend of buckling curves, according to DIN-EN 1993-1-1/NA

Poz.	Rozkład momentów	Oś obrotu swobodna			Oś obrotu skrępowana		
		b	c	d	b	c	d
1		6,8	10,0	14,2	0	0	0
2		4,8	7,3	10,9	0,030	0,041	0,067
3		4,2	6,4	9,7	0,032	0,044	0,072
4		2,8	4,4	7,1	0	0	0
5		0,89	1,4	2,6	0,38	0,60	1,1
6	 $\Psi \leq -0,3$	0,47	0,75	1,4	0,23	0,36	0,65

- 1) Krzywa b- dwuteowniki walcowane $h/b \leq 2$;
 Krzywa c- dwuteowniki walcowane $h/b > 2$ oraz spawane $h/b \leq 2$;
 Krzywa d- dwuteowniki spawane $h/b > 2$ oraz inne kształtowniki.

Uzyskanie odpowiedniej sztywności obrotowej elementu przez połączenie z płytami warstwowymi jest trudne do zrealizowania, nie tylko z powodu podatności materiału izolacyjnego płyt, ale przede wszystkim ze względu na trudność zapewnienia odpowiedniego ramienia sił wewnętrznych w styku z półką elementu przy osadzaniu wkrętów przez płyty. Z tego powodu w poszyciu z płyt warstwowych można obecnie zalecać wykorzystywanie tylko sztywności na ścinanie. Poszycie takie może być wykorzystane do stabilizacji elementów przed utratą stateczności lub współpracy tarczowej w szkieletach konstrukcyjnych w następujących przypadkach:

- w elementach zginanych wg poz. 1, 4 i 5 w tabl.2 o przekroju symetrycznym względem osi z , z podpartym bocznie na całej długości pasem ściskany lub pasem rozciągany (w przypadku uwzględniania wpływu zwiczenia względem stabilizowanej osi obrotu).
- w elementach zginanych o przekroju dwuteowym o wysokości do 200mm, patrz [4] lub o przekroju rurowym wg poz. 2, 3 i 6 w tabl.2 z podpartym bocznie pasem ściskany nie na całej długości przęsła.
- w pasach ściskanych kratownic o przekroju dwuteowym o wysokości do 200mm, patrz [4] lub o przekroju rurowym podpartych bocznie na całej długości.

- w szkieletach konstrukcyjnych przenoszących obciążenia styczne przez tarcze poszycia przegród.

Warunkiem niezbędnym do spełnienia przy projektowaniu konstrukcji stabilizowanych płytami warstwowymi jest tak jak w przypadku blach profilowanych zapewnienie odpowiedniej trwałości połączeń i płyt przez cały okres eksploatacji konstrukcji.

5. Sztywność postaciowa panelu z płyt warstwowych

Sztywność postaciową panelu z płyt warstwowych wyznacza się na podstawie podatności jego części składowych. Sztywność panelu potrzebna do stabilizacji elementu wyznaczona z wzoru (14) powinna spełniać warunek (12):

$$S_{act} = \frac{L}{c(n+1)} \text{ kN/mm} \quad (14)$$

gdzie: c - podatność panelu na ścinanie $c = c_{1,2} + c_{2,1} + c_{2,2}$ mm/kN
 n - liczba przęseł między płatwiami na długości panelu

Składniki podatności panelu na ścinanie oblicza się z wzorów :

Składnik podatności dolnej blachy płyty

$$c_{1,2} = \frac{2L\alpha_2(1+\nu) \left[1 + \frac{2h_p}{d} \right]}{E t_i b} \text{ mm/kN} \quad (15)$$

gdzie: h_p - grubość płyty
 d - szerokość płyty
 L -rozpiętość elementu
 t_i -grubość dolnej okładziny płyty
 b - długość panelu
 α_2 – współczynnik wpływu płatwi pośrednich wg tabl.5.4 [4] patrz tabl.2
 $E; \nu$ – moduł sprężystości i współczynnik Poissona stali

Składnik podatności połączeń z elementem

$$c_{2,1} = \frac{2L s_p p \alpha_3}{b^2} \text{ mm/kN} \quad (16)$$

gdzie: s_p -podatność połączenia płyty z płatwią wkrętem z uszczelką neoprenową

$$s_p = \frac{1}{k_{vi,d}} = \frac{0,26 + 0,8t_i}{6,93 f_{u,i} \sqrt{t_i^3} d_1} \text{ mm/kN} \quad (17)$$

$f_{u,i}$ - wytrzymałość stali w dolnej okładzinie

d_1 - średnica rdzenia wkrętu

p - rozstaw łączników wzdłuż panelu

α_3 - współczynnik wpływu płatwi pośrednich wg tabl.5.4 [4] patrz tabl.2

Tablica 2. Współczynniki wpływu płatwi pośrednich wg. tabl.5.4 [4]

Table 2. Factors to allow for the effect of intermediate purlins acc. to tabl. 5.4 of [4]

Liczba płatwi na długości panelu n_p	3	4	5	6	7	8	9	10
α_2	1,00	0,75	0,67	0,55	0,50	0,44	0,40	0,36
α_3	1,00	0,90	0,80	0,71	0,64	0,58	0,53	0,49

Składnik podatności połączeń w szwach między płytami

$$c_{2.2} = \frac{2s_s s_p (n_{sh} - 1)}{2n_s s_p + \beta_1 n_p s_s} \text{ mm/kN} \quad (18)$$

gdzie: s_s - podatność połączenia wzajemnego płyt wkrętem

$$s_s = \frac{1}{k_{ve,d}} = \frac{1}{1,9t_e d_1} \text{ mm/kN} \quad (19)$$

t_e - grubość okładziny zewnętrznej

n_s - liczba łączników na długości panelu

n_p - liczba elementów wsporczych na długości panelu

n_{sh} - liczba płyt na rozpiętości elementu

β_1 - współczynnik wg tabl.5.2 [4] dla liczby łączników na szerokości płyty

$n_f \leq 3 \quad \beta_1 = \beta_3 = 1,0$

Sprawdzenie nośności połączeń:

Nośność panelu na ścinanie

$$P_{\max} = \frac{n_s}{n} F_s + \frac{\beta_1 n_p}{\beta_3 n} F_p \text{ kN} \quad (20)$$

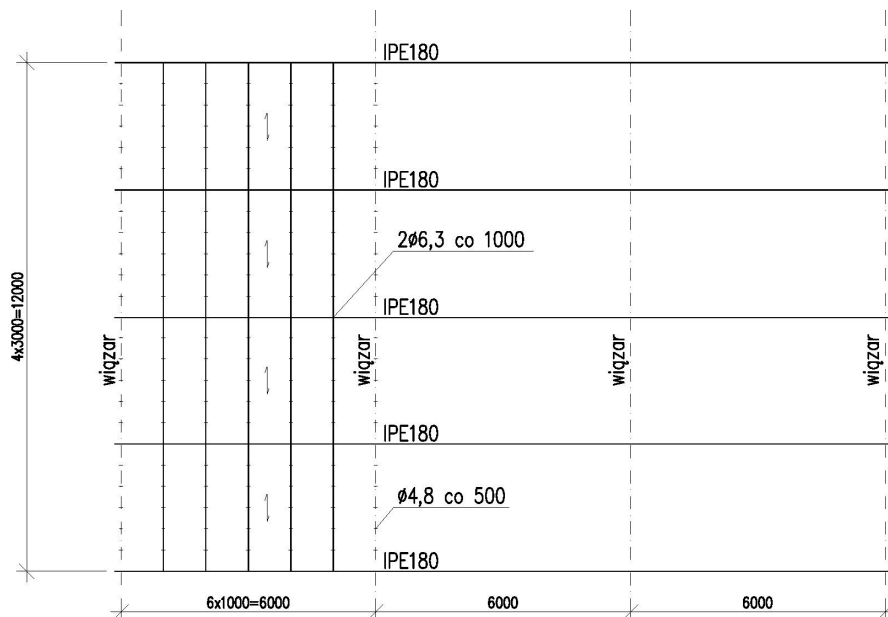
Nośność połączeń z płytą

$$\frac{0,6bF_p}{\alpha_3 p} > P_{\max} \quad (21)$$

Nośność połączenia płyty do płatwi F_p i połączenia między płytami F_s oblicza się z wzorów (3) i (5)

6. Przykład

Sprawdzić stabilizację przed zwichrzeniem układu płatwi ciągłych podpierających pokrycie z płyt warstwowych Ruukki SP2C140/100 PU/PIR. Płyty o wymiarach 1,00x12,00m i grubości $h_p=140\text{mm}$ mają okładzinę dolną o grubości 0,4mm i górną o grubości 0,5mm ze stali S280GD. Płatwie o rozpiętości $L=6,00\text{m}$ z dwuteowników IPE180 ze stali S235JR są rozstawione co $a=3,00\text{m}$. Wymiary połaci dachowej oraz układ elementów wsporczych i płyt pokazano na rys. 4. Połączenia płyt z płatwiami wkrętami samowierzącymi $2\text{Ø}6,3\text{mm}$ co $p=1000\text{mm}$, a między sobą wkrętami $\text{Ø}4,8$ co 500mm .



Rys. 4. Schemat konstrukcji połaci dachowej z poszyciem z płyt warstwowych

Fig. 4. Roof structure schema with sandwich panels shear diaphragm

Płatew $A=23,9\text{cm}^2$ $W_y=146\text{cm}^3$ $I_w=7431\text{cm}^6$ $I_T=4,79\text{cm}^4$ $I_z=101\text{cm}^4$

Błacha płyty $t=0,4\text{mm}$ $f_u=360\text{MPa}$ $E=210\text{kN/mm}^2$

Wkręty samowierzące JT3-D-12H-6,3x175-V19 po 2 szt w połączeniu do każdej płaty i JT3-2H-4,8x19-V14 co 500mm w szwach między płytami.

Liczba płatwi na długości panelu $n_p=5$ wg tabl. 2 $\alpha_2=0,67$ $\alpha_3=0,80$

Liczba łączników na szerokości płyty $n_t=2$ $\beta_1=\beta_3=1,0$

Liczba łączników na długości panelu $n_s=12000/500=24$

Liczba płyt na szerokości panelu $n_{sh}=6$

$n=b/a=12000/3000=4$

Rozstaw łączników $p=1000\text{mm}$

Szerokość płyty $d=1000\text{mm}$

Grubość płyty $h_p=140\text{mm}$

Współczynnik Poissona $\nu=0,3$

Sprawdzenie sztywności panelu

Składnik podatności dolnej blachy płyty wg wzoru (15)

$$c_{1,2} = \frac{2L\alpha_2(1+\nu)\left[1 + \frac{2h_p}{d}\right]}{Etb} = \frac{2 \times 6000 \times 0,67(1+0,3)\left[1 + \frac{140}{1000}\right]}{210 \times 0,4 \times 12000} = 0,012 \text{ mm/kN}$$

Podatność połączenia płyty z pławią wkrętem z uszczelką neoprenową wg wzoru (17)

$$s_p = \frac{1}{k_{vi,d}} = \frac{0,26 + 0,8t_i}{6,93f_{u,i}\sqrt{t_i^3 d_1}} = \frac{0,26 + 0,8 \times 0,4}{6,93 \times 0,360 \sqrt{0,4^3 \times 6,3}} = 0,37 \text{ mm/kN}$$

Składnik podatności połączeń z pławią wg wzoru (16)

$$c_{2,1} = \frac{2L s_p p \alpha_3}{b^2} = \frac{2 \times 6000 \times 0,37 \times 1000 \times 0,80}{12000^2} = 0,024 \text{ mm / kN}$$

Podatność połączenia wzajemnego płyt wkrętem wg. wzoru (19)

$$s_s = \frac{1}{k_{ve,d}} = \frac{1}{1,9t_e d_1} = \frac{1}{1,9 \times 0,5 \times 4,8} = 0,22 \text{ przyjęto } s_s=0,25 \text{ wg zaleceń [8]}$$

Składnik podatności połączeń w szwach między płytami wg. wzoru (18)

$$c_{2,2} = \frac{2s_s s_p (n_{sh} - 1)}{2n_s s_p + \beta_1 n_p s_s} = \frac{2 \times 0,25 \times 0,35(6 - 1)}{2 \times 24 \times 0,35 + 1,0 \times 5 \times 0,25} = 0,048 \text{ mm / kN}$$

Podatność panelu na ścinanie $c=0,012+0,024+0,048=0,084\text{mm/kN}$

Sztywność postaciowa panelu wg. wzoru (14)

$$S_{act} = \frac{L}{c(n+1)} = \frac{6000}{0,084(4+1)} = 14286\text{kN}$$

Sztywność potrzebna do stabilizacji płatwi w płaszczyźnie panelu wg wzoru (12)

$$S_p = \left(EI_\omega \frac{\pi^2}{L^2} + GI_T + EI_z h^2 \frac{\pi^2}{4L^2} \right) \frac{70}{h^2} =$$

$$\left(21000 \times 7431 \frac{\pi^2}{600^2} + 8100 \times 4,79 + 21000 \times 101 \times 18^2 \frac{\pi^2}{4 \times 600^2} \right) \frac{70}{18^2} = 10324\text{kN} < S_{act}$$

Sprawdzenie nośności połączeń

Nośność połączenia płyty do płatwi na 2 wkręty wg wzoru (3)

$$F_p = 2 \times 4,2 f_{u,i} \sqrt{t_i^3 d_1} \frac{1}{\gamma_{M2}} = 2 \times 4,2 \times 360 \times 0,8 \sqrt{0,4^3 \times 6,3} = 1,54\text{kN}$$

Nośność połączenia między płytami na jeden wkręt wg wzoru (5)

$$F_s = 3,2 f_{u,e} \sqrt{t_e^3 d_1} = 3,2 \times 360 \times 0,8 \sqrt{0,5^3 \times 4,8} = 0,71\text{kN}$$

Nośność panelu na ścinanie wg wzoru (20)

$$P_{max} = \frac{n_s}{n} F_s + \frac{\beta_1 n_p}{\beta_3 n} F_p = \frac{24}{4} 0,71 + \frac{5}{4} 1,54 = 6,19\text{kN}$$

Nośność połączeń z płatwią wg wzoru (21)

$$\frac{0,6bF_p}{\alpha_3 p} = \frac{0,6 \times 12000 \times 1,54}{0,8 \times 1000} = 13,86\text{kN} > P_{max} = 6,19\text{kN}$$

Sztywność panelu i nośność jego połączeń spełniają wymagania niezbędne do stabilizacji projektowanych płatwi przed zwichrzeniem.

Literatura

- [1] PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych; Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [2] PN-EN 1993-1-3+AC:2008 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych; Część 1-3: Reguły ogólne- Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno.
- [3] Preliminary European Recommendations for the Testing and Design of Fastenings for Sandwich Panels ECCS N° 127. CIB N° 320. 2009
- [4] European Recommendations for the Application of Metal Sheeting as a Diaphragm-Stressed Skin Design. ECCS N° 88 1995
- [5] Dürr M. Podleschny R. Saal H. Untersuchungen zur Drehbettung von biegedrillknickgefährdeten Trägern durch Sandwichelementen. Stahlbau Heft 6/2007
- [6] Käpplein S. Misiak T. Ummerhofer T. Aussteifung und Stabilisierung von Bauteilen und Tragwerken durch Sandwichelemente. Stahlbau Heft 5/2010
- [7] Käpplein S. Ummerhofer T. Qerkraftbeanspruchte Verbindungen von Sandwichelementen. Stahlbau Heft 8/2011
- [8] Misiak T. Käpplein S. Hettmann R. Saal H. Ummerhofer T. Rechnerische Ermittlung der Tragfähigkeit der Befestigung von Sandwichelementen. Bauingenieur Band 86 October 2011
- [9] Sokol Z. Design of Structural Connections to Eurocode 3. Frequently Asked Questions www.fsv.cvut.cz/cestruco/

BEHAVIOUR OF SANDWICH PANEL SCREW FASTENINGS AND USE IN ANALYSIS OF SHEAR DIAPHRAGM BRACINGS OF SUBSTRUCTURE MEMBERS.

Summary

This paper presents the behaviour of sandwich panels screw self-drilling fastenings, on the background of test results and works performed at the Karlsruhe University of Technology. The purpose of this paper is to take advantage of the fastenings behaviour to design substructure members in engineering practice. The sandwich panels are commonly used as a roof and walls decking elements. The high in-plane stiffness of this plates may be taken in to account for lateral bracings of supporting members - roof purlins, wall rails and posts. Sandwich panel systems can also be used as a shear diaphragms in building structures, especially in a small and temporary buildings. Self drilling screws drilled through the plate to substructure elements are used as the fasteners. The fastenings are the weaken points of this structure because of small stiffness and small load bearing capacity. In the design shear panels the bearing resistance and stiffness of internal and external sheet fastenings are most impotent. The design method is supported on the rules for stabilizing substructure elements by sandwich panel diaphragm, according to the European Standards and ECCS Recommendations. Shear sandwich panels and fixings shall have durability for the construction live. Authors recommends shear sandwich panels for the diaphragm lateral bracings of bending or compression elements and also for structural shear diaphragms. The use of shear sandwich panels to stabilize I-section purlins is explained on the example.

Key words: Screw connections, Sandwich panels, Shear diaphragm bracings, Lateral bracings.

DOI: 10.7862/rb.2013.22

Przesłano do redakcji: w kwietniu 2013 r.

Przyjęto do druku: w lipcu 2013 r.