

CIENKOŚCIENNE KONSTRUKCJE METALOWE

Wykład 13: Nośność płyt warstwowych stosowanych w lekkiej obudowie.

WSTĘP

Projektując panele warstwowe, najczęściej dobiera się je na podstawie tablic zamieszczonych w aprobaty lub katalogach producentów. Zostały one opracowane przy pewnych założeniach upraszczających.

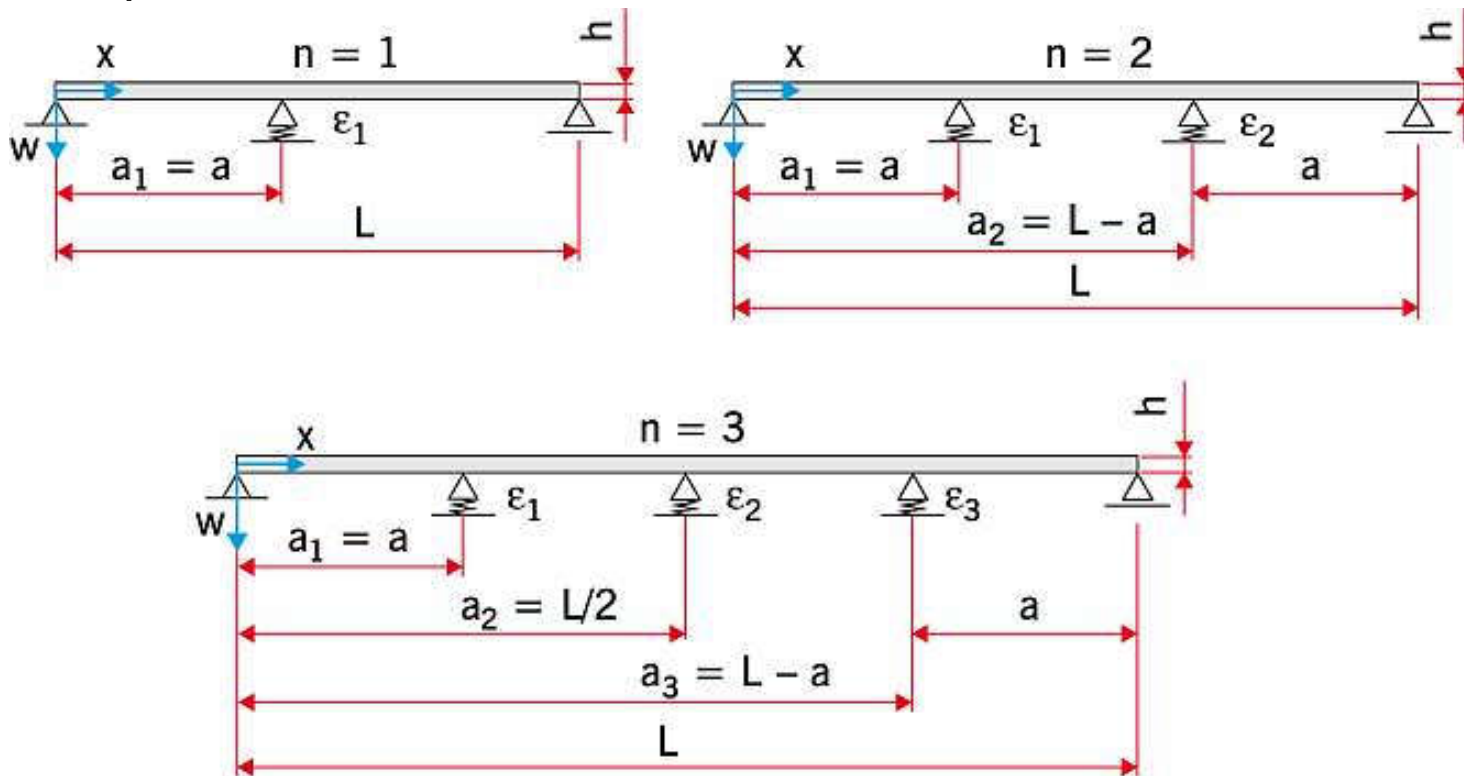
W odniesieniu do schematu statycznego standardem są panele zarówno jednoprzęsłowe swobodnie podparte, jak i ciągłe kilkuprzęsłowe, lecz z jednakowymi rozstawami podpór. Podpory pośrednie paneli ciągłych są przy tym niepodatne. Zastrzeżenia można mieć też do rozpatrywanego obciążenia paneli. Najczęściej są to obciążenia działające w kierunku do podpór (śnieg, parcie wiatru).

Są katalogi czy aprobaty, w których rozważa się obciążenie ssaniem wiatru, a także obciążenie temperaturą. W przypadku tego typu obciążeń mamy do czynienia z reguły nie z liniowym, a z punktowym podparciem płyt na łbach łączników, co w sposób istotny wpływa na **zmniejszenie** ich nośności. Zamiast tablic obciążeń znaleźć wzory redukujące obciążenie paneli

ANALIZA STATYCZNA PANELI

Modelem analizowanych paneli warstwowych, które w lekkiej obudowie podlegają walcowemu zginaniu, są w zasadzie belki warstwowe o szerokości $b = 1,00$ m z cienkimi okładzinami.

Obciążenie stanowi równomierne obciążenie poprzeczne q [kN/m] lub różnica temperatury ΔT [°C].



R-NIE LINII UGIĘCIA I KĄTA ODKSZTAŁCENIA

Równania różniczkowe linii ugięcia $w(x)$ i kąta odkształcenia postaciowego $\gamma(x)$

$$w^{(4)} = \frac{1}{B_c} p - \frac{1}{B_r} p^{(2)} - \vartheta^{(2)}, \quad \gamma^{(2)} = -\frac{1}{B_r} p^{(1)},$$

gdzie

$B_c = 0,5E_t b t h^2$ - sztywność okładzin na zginanie,

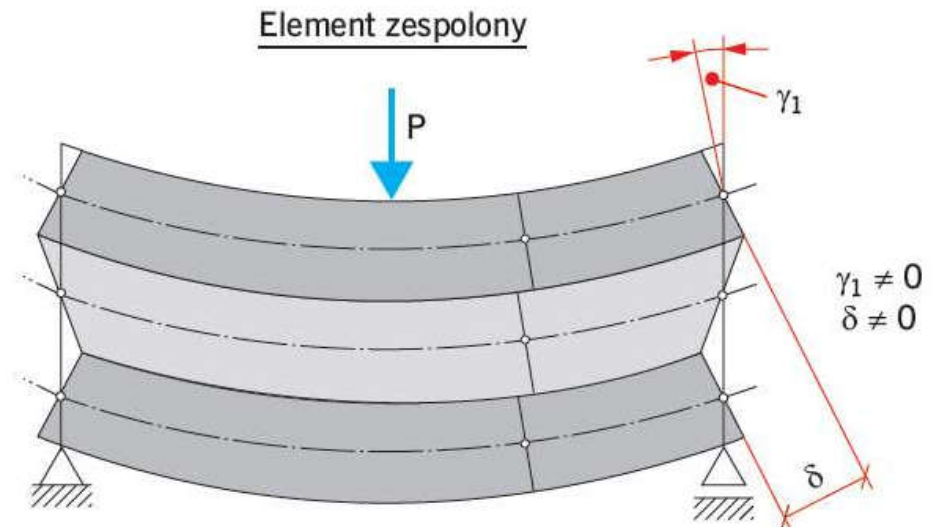
$B_r = G_r b h$ - sztywność rdzenia na ścinanie,

p = obciążenie poprzeczne,

$v = \alpha_t \Delta T / h$,

$\Delta T = T_w - T_z$ to różnica temperatury [°C] odpowiednio okładziny wewnętrznej i zewnętrznej oraz α_t - współczynnik rozszerzalności cieplnej okładzin.

Grubość rdzenia - h , grubość jednakowych okładzin z cienkiej blachy - t ($h \geq 100 t$), szerokość b i gr. $h + 2t$ równej w przybliżeniu h .



ROZWIĄZANIE R-NIA

Obciążenie poprzeczne $p(x)$, z dowolną liczbą n podpór pośrednich, w którym obok obciążenia równomiernie rozłożonego q uwzględniono również niewiadome reakcje podpór pośrednich R_i , można zapisać w postaci dystrybucyjnej

$$p(x) = q - \sum_{i=1}^n R_i \delta(x - a_i)$$

Funkcja linii ugięcia

$$\begin{aligned} w(x) = & \frac{qx}{24B_c} (L^3 - 2Lx^2 + x^3) + \frac{qx}{2B_r} (L - x) + \frac{\vartheta x}{2} (L - x) \\ & - \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{6LB_c} \left[a_i(L - a_i)(2L - a_i)x - (L - a_i)x^3 + L(x - a_i)^3 H(x - a_i) \right] \\ & - \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{LB_r} \left[(L - a_i)x - L(x - a_i)H(x - a_i) \right], \end{aligned}$$

Funkcja kąta odkształcenia postaciowego

$$\gamma(x) = \frac{q(L - 2x)}{2B_r} - \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{B_r} \left[\frac{L - a_i}{L} - H(x - a_i) \right],$$

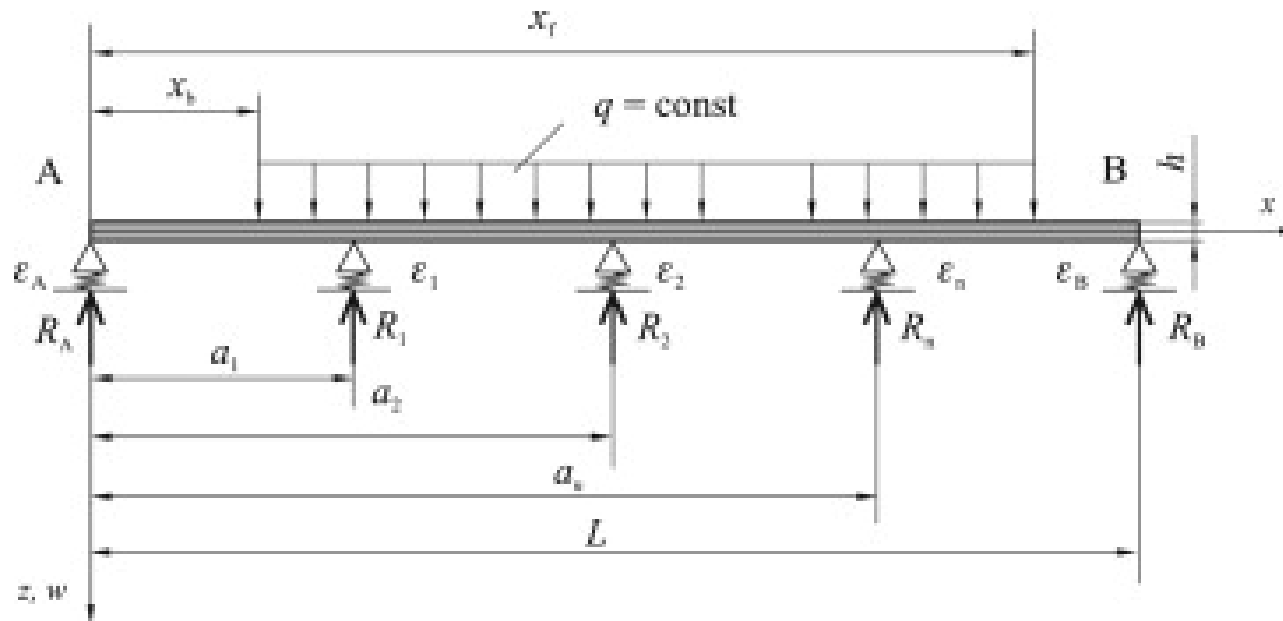
SIŁY PRZEKROJOWE

Momenty zginające

$$M(x) = B_c \left[\gamma^{(1)} - w^{(2)} - \vartheta \right],$$

Siły tnące

$$V(x) = B_r \gamma,$$



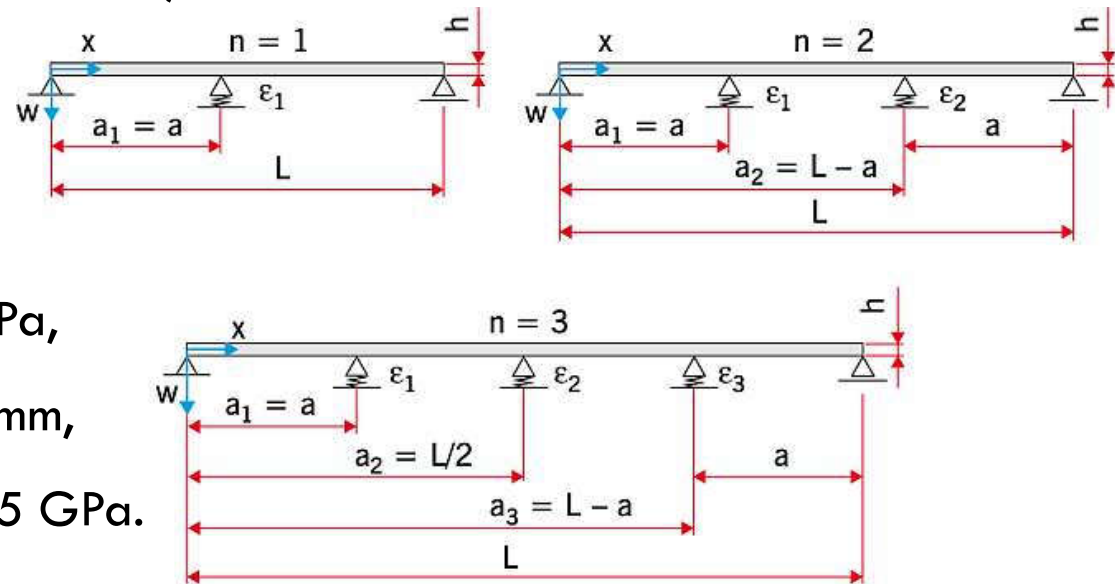
ANALIZY PARAMETRYCZNE

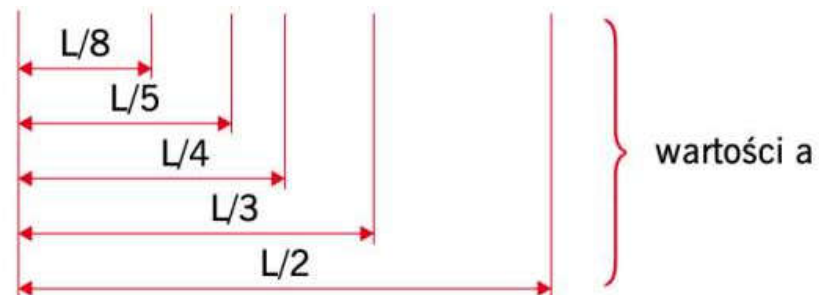
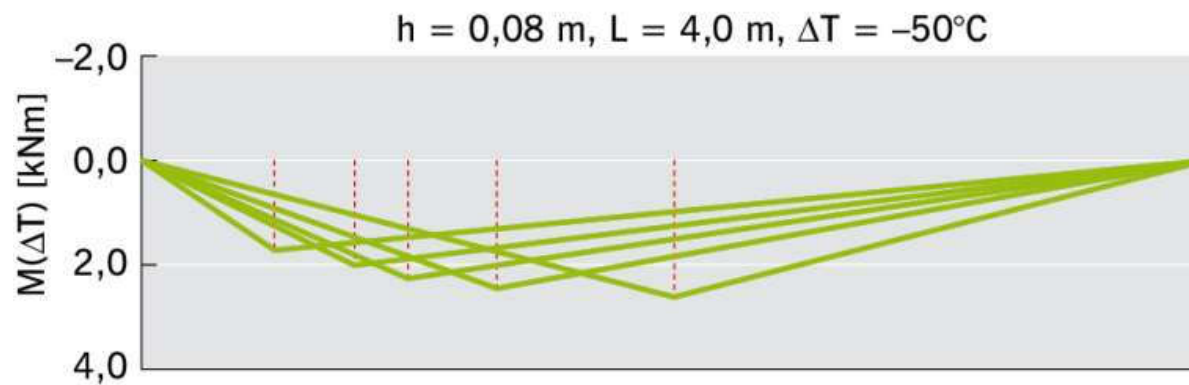
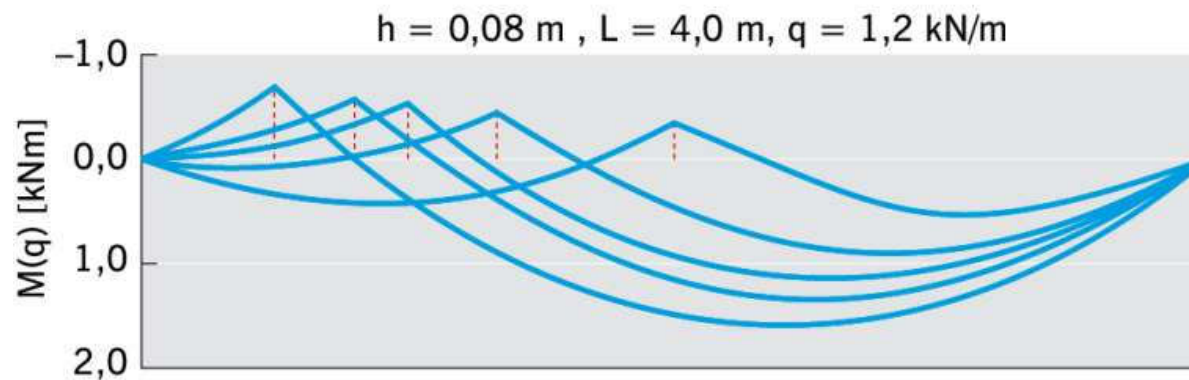
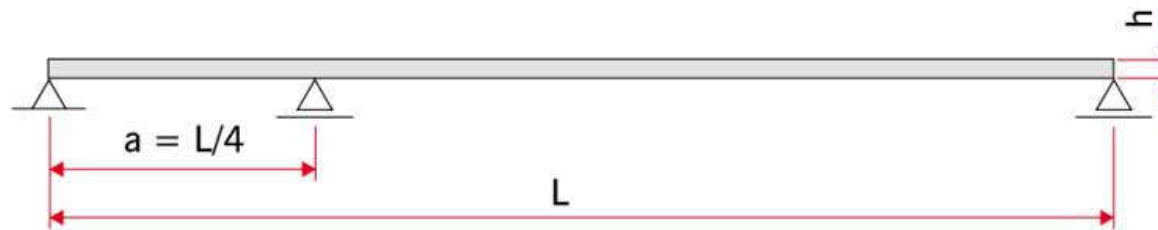
- ocena wpływu położenia niepodatnych podpór pośrednich ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon = 0$) na przebieg momentów zginających.
- obciążenie:
 - równomiernie poprzecznie ($q = 1,2 \text{ kN/m}$),
 - różnicą temperatury ($\Delta T = -50^\circ\text{C}$).

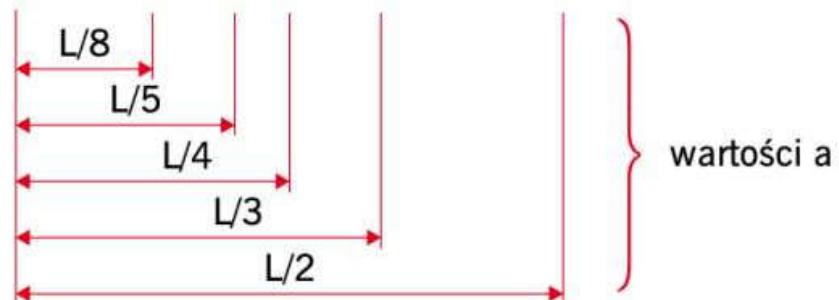
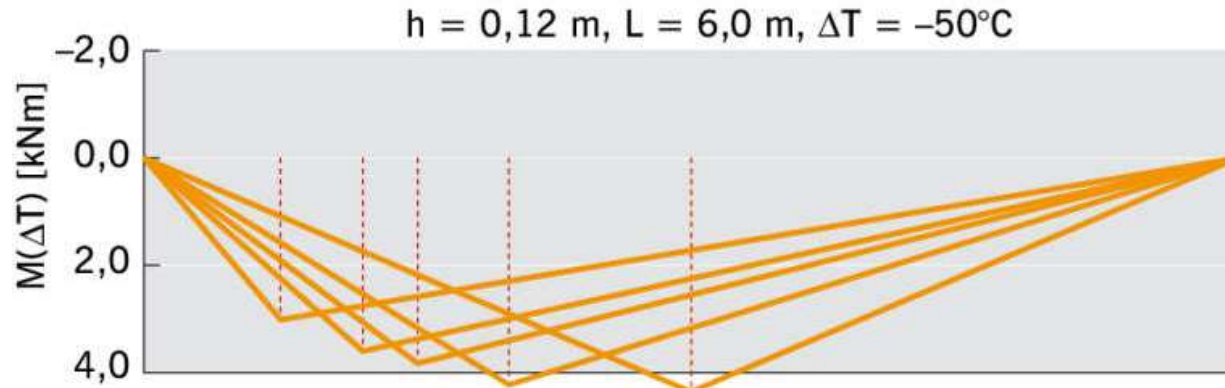
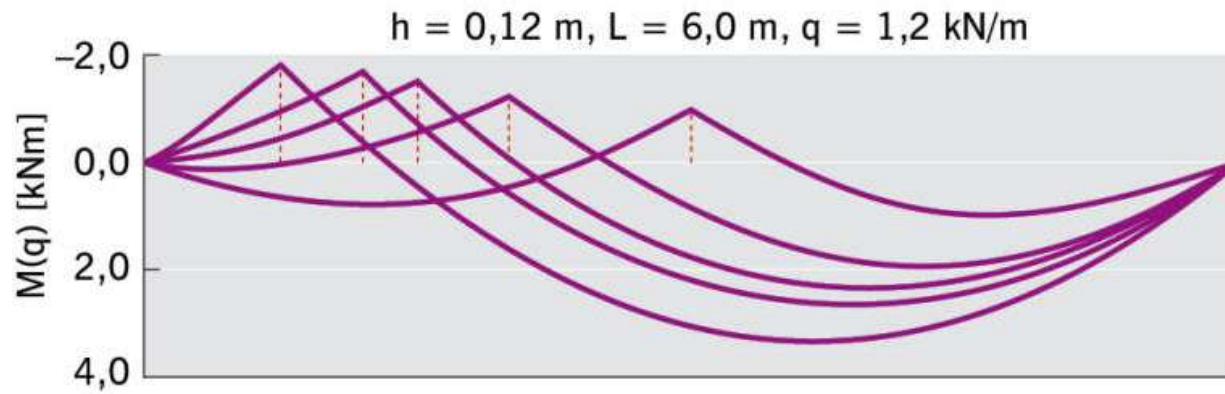
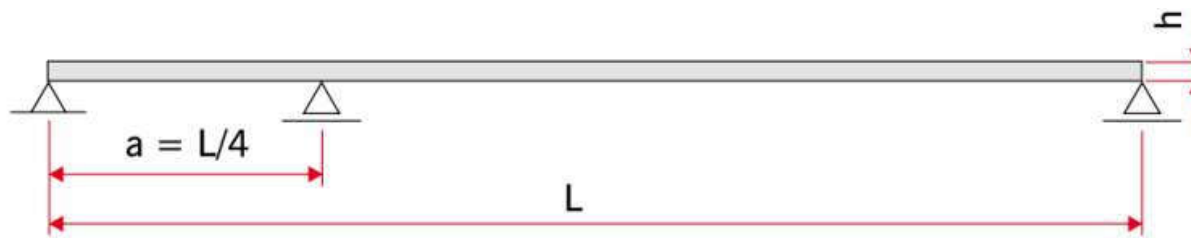
- grubości rdzenia:

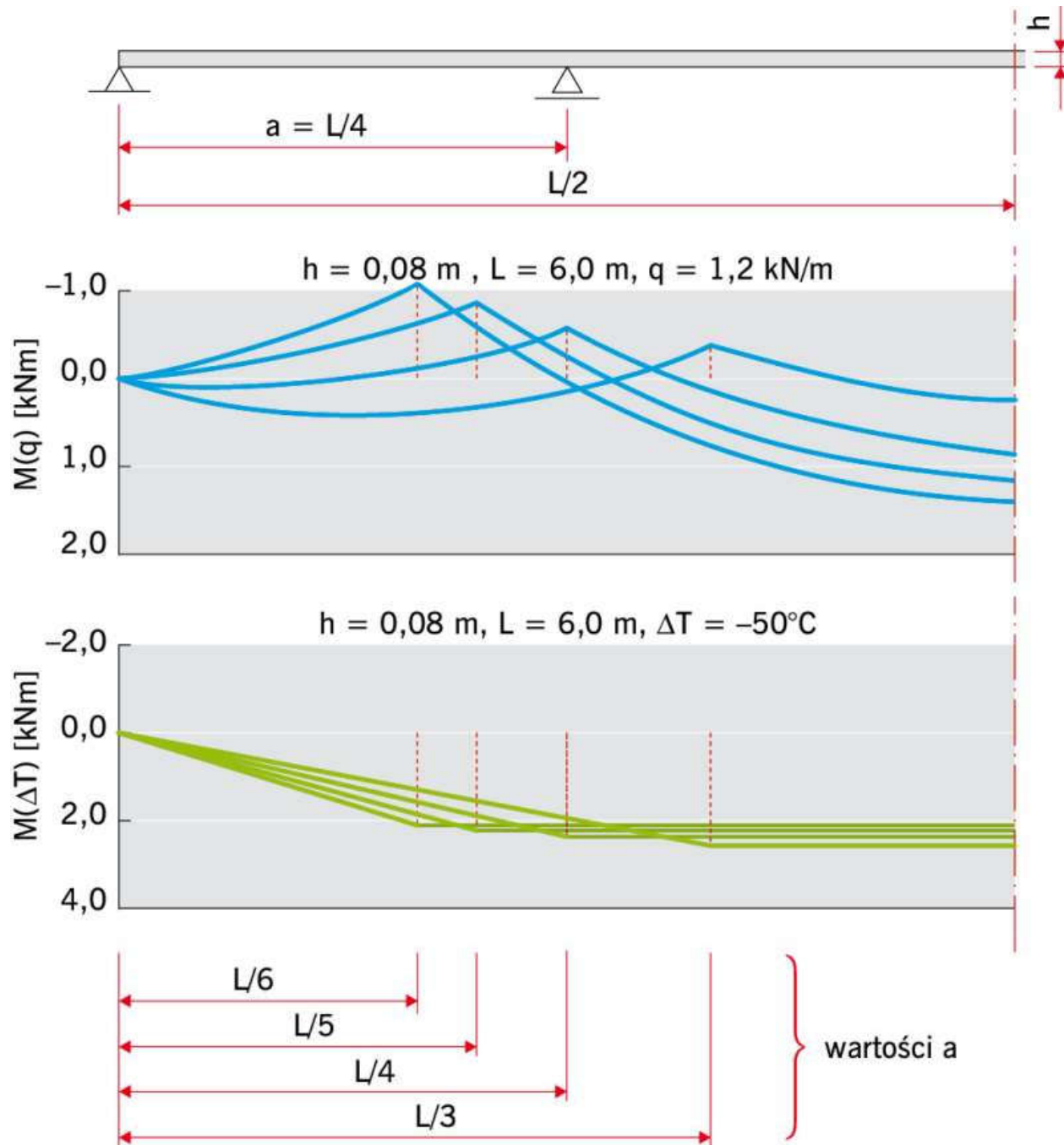
- $h = 80 \text{ mm}$,
- $h = 120 \text{ mm}$.

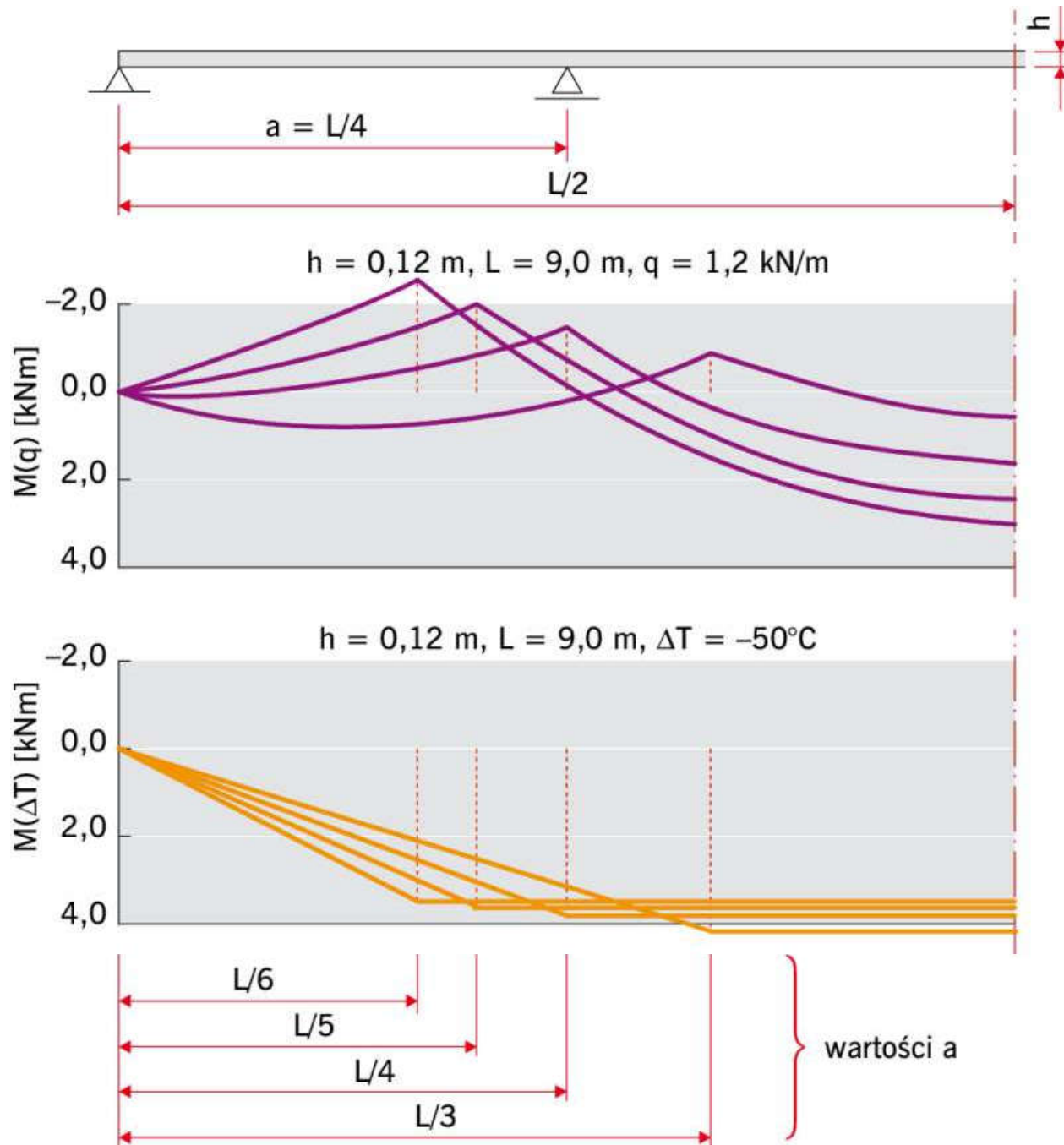
- sztywność rdzenia $G_r = 5 \text{ MPa}$,
- grubość okładziny $t = 0,55 \text{ mm}$,
- sztywność okładziny $E_t = 205 \text{ GPa}$.

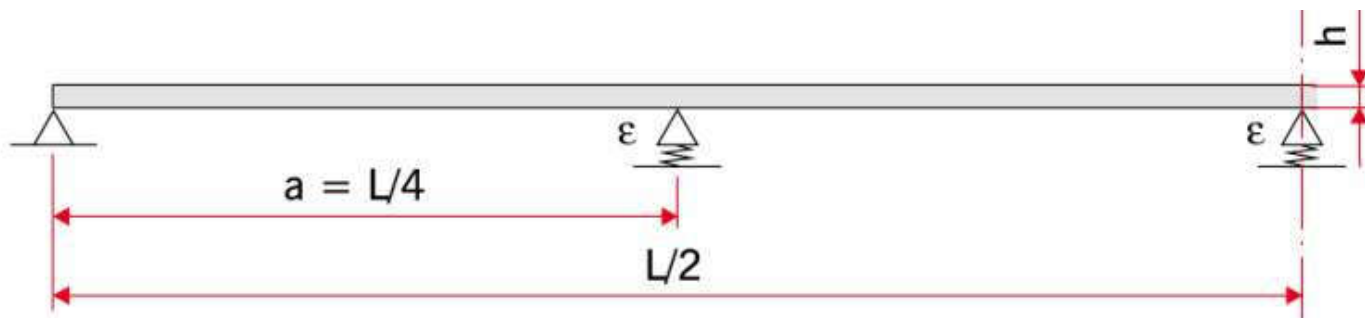




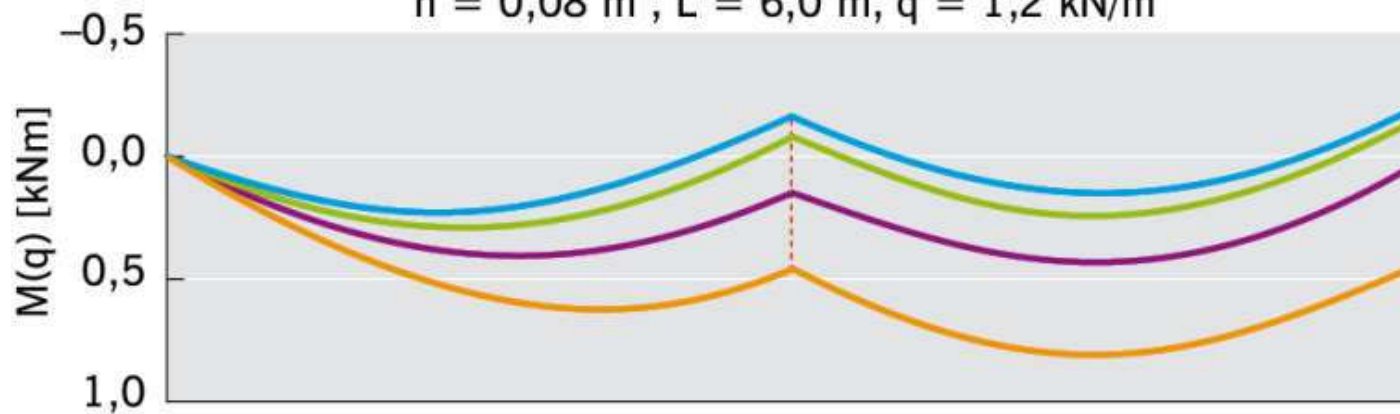




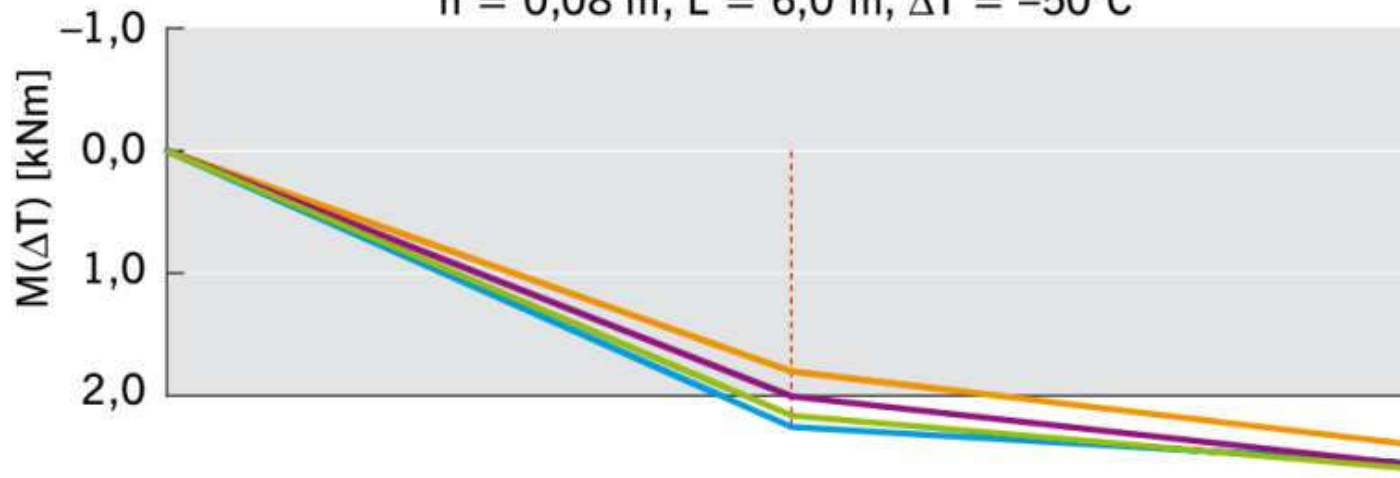




$h = 0,08 \text{ m}, L = 6,0 \text{ m}, q = 1,2 \text{ kN/m}$

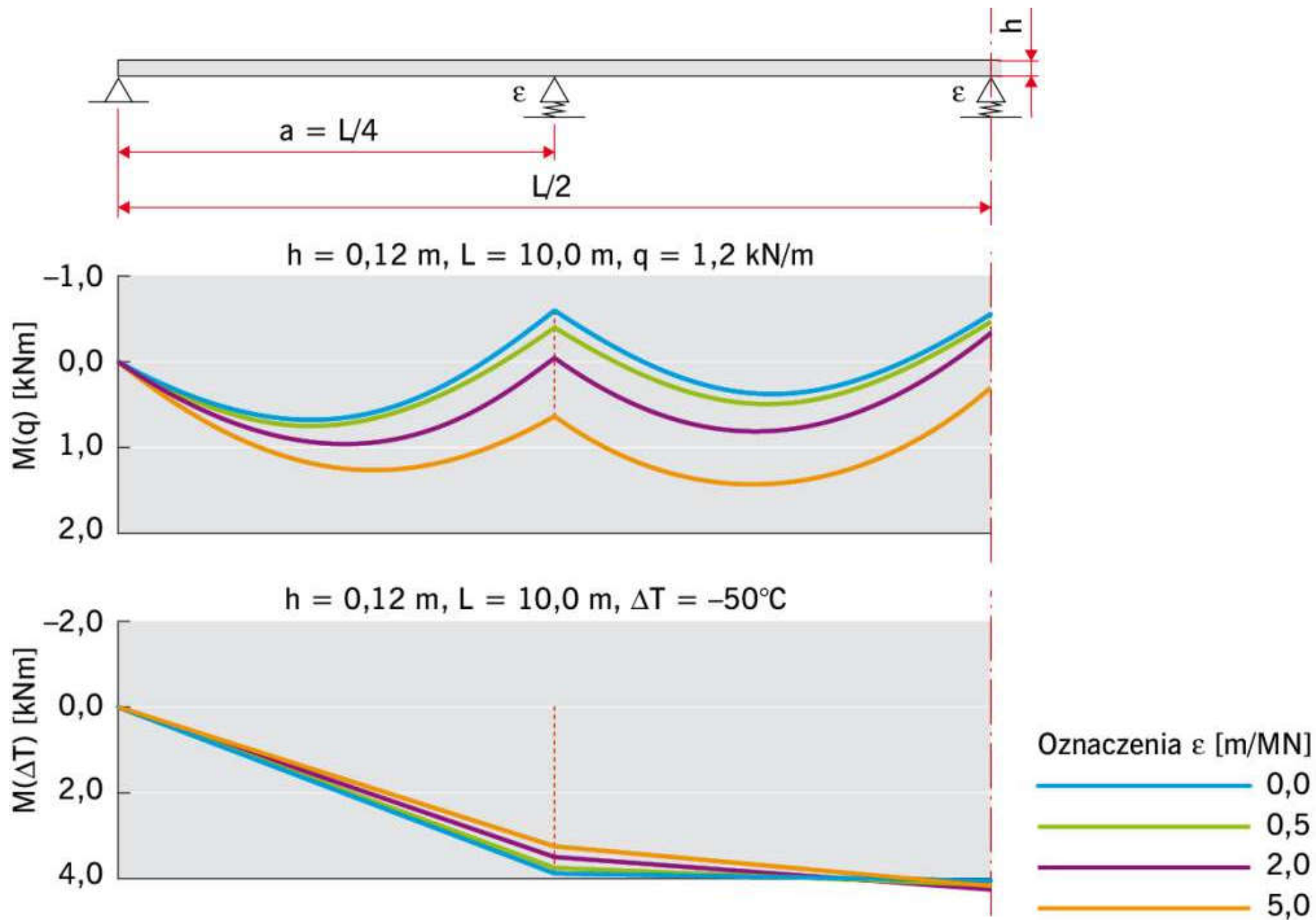


$h = 0,08 \text{ m}, L = 6,0 \text{ m}, \Delta T = -50^\circ\text{C}$

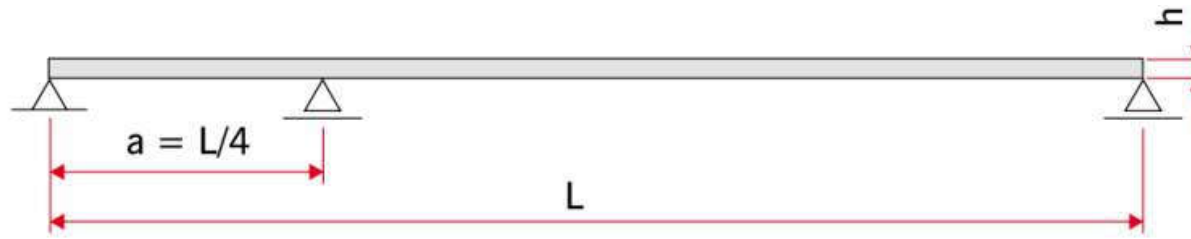


Oznaczenia ϵ [m/MN]

- 0,0
- 0,5
- 2,0
- 5,0

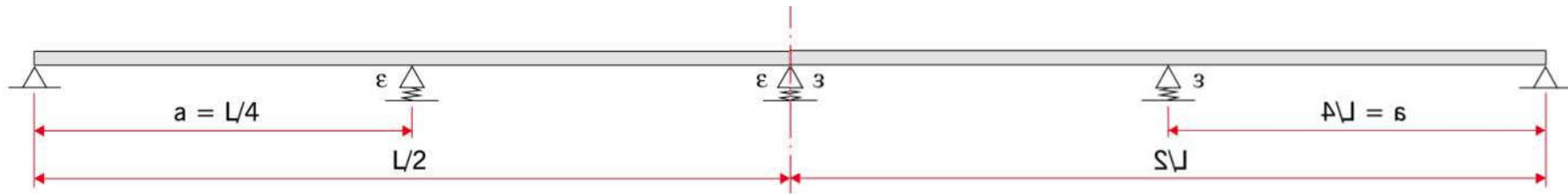


WARTOŚCI REAKCJI PODPOROWYCH



Dane panelu (RYS. 1)			Wartość reakcji [kN] w przypadku obciążenia	
h [m]	L [m]	a [m]	$q = 1,2$ kN/m	$\Delta T = -50^\circ\text{C}$
0,08	4,0	0,500	3,85	-3,64
		0,800	3,35	-3,08
		1,000	3,14	-2,84
		1,333	2,91	-2,59
		2,000	2,76	-2,42
0,12	6,0	0,750	6,32	-4,57
		1,200	5,32	-3,72
		1,500	4,91	-3,38
		2,000	4,50	-3,03
		3,000	4,22	-2,80

WARTOŚCI REAKCJI PODPOROWYCH



Dane panelu (RYS. 3)			Wartości reakcji [kN] w przypadku obciążenia					
h [m]	L [m]	a [m]	q = 1,2 kN/m			ΔT = -50°C		
0,08	8,0	1,000	2,71	3,93	2,71	-1,61	-0,61	-1,61
		1,333	2,60	3,44	2,60	-1,42	-0,43	-1,42
		1,600	2,56	3,04	2,56	-1,32	-0,30	-1,32
		2,000	2,58	2,42	2,58	-1,22	-0,13	-1,22
0,12	12,0	1,500	4,13	5,88	4,13	-1,90	-0,48	-1,90
		2,000	3,93	5,16	3,93	-1,65	-0,28	-1,65
		2,400	3,87	4,56	3,87	-1,52	-0,14	-1,52
		3,000	3,91	3,59	3,91	-1,40	+0,05	-1,40

UWAGI I ZALECENIA

- Korzystając z tablic nośności paneli warstwowych należy mieć świadomość ich ograniczeń i przyjętych przez autorów uproszczeń.
- Zróżnicowanie rozstawów podpór pośrednich w ciągłych panelach warstwowych może mieć istotny wpływ na zmianę rozkładu momentów zginających i reakcji na ich długości.
- W analizie paneli warstwowych należy zwrócić uwagę na podatność podpór pośrednich.
- W niektórych sytuacjach należy uwzględnić obciążenie temperaturą.
- Wyrażenie na ugięcie paneli trzyprzęstowych podane w normie PN-B-03230:1984 jest błędne. Skorygowana postać ugięcia znajduje się w normie PN-EN 14509:2013-12 (wersja angielska) „Samonośne izolacyjno-konstrukcyjne płyty warstwowe z dwustronną okładziną metalową -- Wyroby fabryczne -- Specyfikacje”.

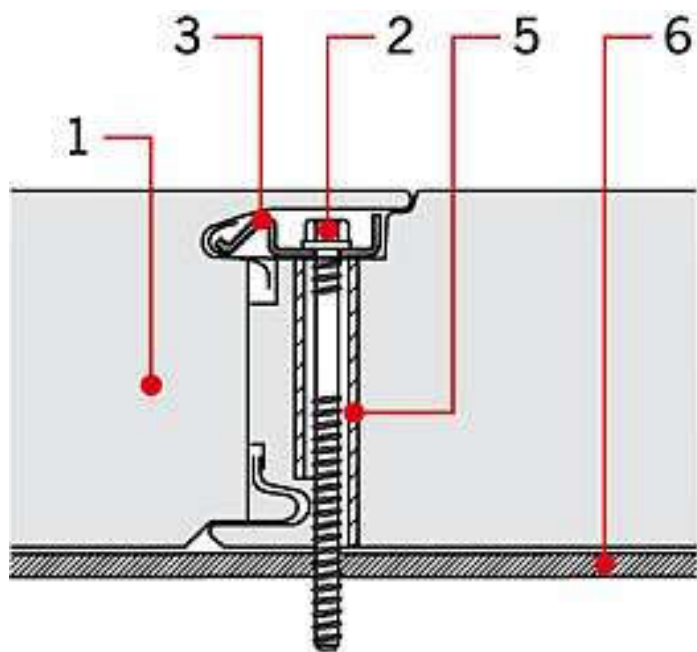
DEKLARACJA WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWYCH

Typ płyty warstwowej:	SPB WEE ENERGY, SPB WEEB ENERGY						
Norma zharmonizowana:	PN-EN 14509:2013						
Rok umieszczenia oznakowania CE:	15						
Zastosowanie:	Ściany zewnętrzne lub wewnętrzne						
Grubość płyty:	160	170	180	200	230	Odniesienie	
Grubość okładziny zewnętrznej:	0,50 - 0,70					mm	(PN-EN 10143)
Gatunek stali okładziny zewnętrznej:	S280GD+Z275, S280GD+Z190						(PN-EN 10346)
Rodzaj powłoki okładziny zewnętrznej:	SP25, Hiarc, Hiarc max, PVC, Csafe lub inna powłoka o PCS ≤ 4,0 MJ/m ²						(PN-EN 10169)
Profilowanie okładziny zewnętrznej:	L, M, R275, R550, F						
Grubość okładziny wewnętrznej:	0,50 - 0,60					mm	(PN-EN 10143)
Gatunek stali okładziny wewnętrznej:	S280GD+Z275, S280GD+Z190, S280GD+Z100						(PN-EN 10346)
Rodzaj powłoki okładziny wewnętrznej:	SP25, Hiarc, Hiarc max, PVC, Csafe lub inna powłoka o PCS ≤ 4,0 MJ/m ²						(PN-EN 10169)
Profilowanie okładziny wewnętrznej:	L, F						
Typ rdzenia:	Wełna mineralna						
Gęstość rdzenia:	70					kg/m ³	
Masa:	20,7	21,3	22,1	23,5	25,5	kg/m ²	
Wytrzymałość mechaniczna:							
Wytrzymałość na rozciąganie:	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	MPa	
Siła ścinająca:	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	MPa	
Zredukowana wytrzymałość na ścinanie przy długotrwałym obciążeniu:	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	MPa	
Moduł sprężystości poprzecznej (rdzeń):	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	MPa	
Wytrzymałość na ściskanie (rdzeń):	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	MPa	
Współczynnik pełzania t=2000h:	-	-	-	-	-		
Współczynnik pełzania t=100000h:	-	-	-	-	-		
Naprężenia krytyczne (okładzina zewnętrzna):							
- w przęśle	50	50	50	50	50	MPa	
- w przęśle, podwyższona temperatura	45	45	45	45	45	MPa	
- nad podporą środkową	-	-	-	-	-	MPa	
- nad podporą środkową, podwyższ. temperatura	-	-	-	-	-	MPa	
Naprężenia krytyczne (okładzina wewnętrzna):							
- w przęśle	50	50	50	50	50	MPa	
- nad podporą środkową	-	-	-	-	-	MPa	
Pozostałe właściwości:							
Współczynnik przenikania ciepła, U _{ds} :	0,23	0,22	0,21	0,19	0,16	W/m ² K	

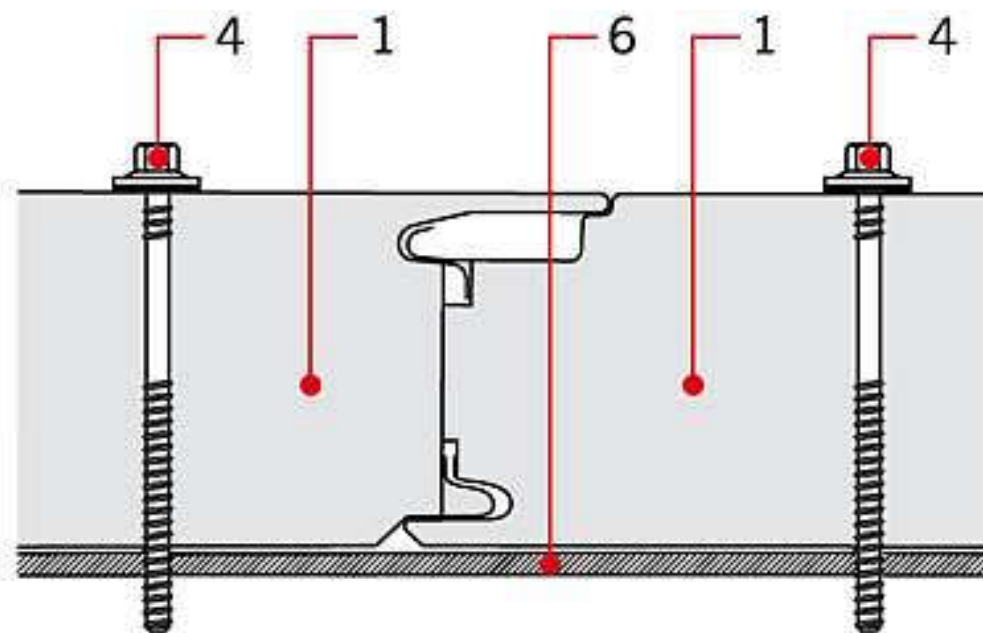
POŁĄCZENIA Z KONSTRUKCJĄ WSPORCZĄ

Połączenie płyt w układzie poziomym:

na wkręty zakryte



na wkręty widoczne.



1 – panel warstwowy, 2 – wkręt samogwintujący bez podkładki, 3 – specjalna podkładka, 4 – wkręt samogwintujący z podkładką, 5 – tuleja dystansowa, 6 – rygiel ścienny

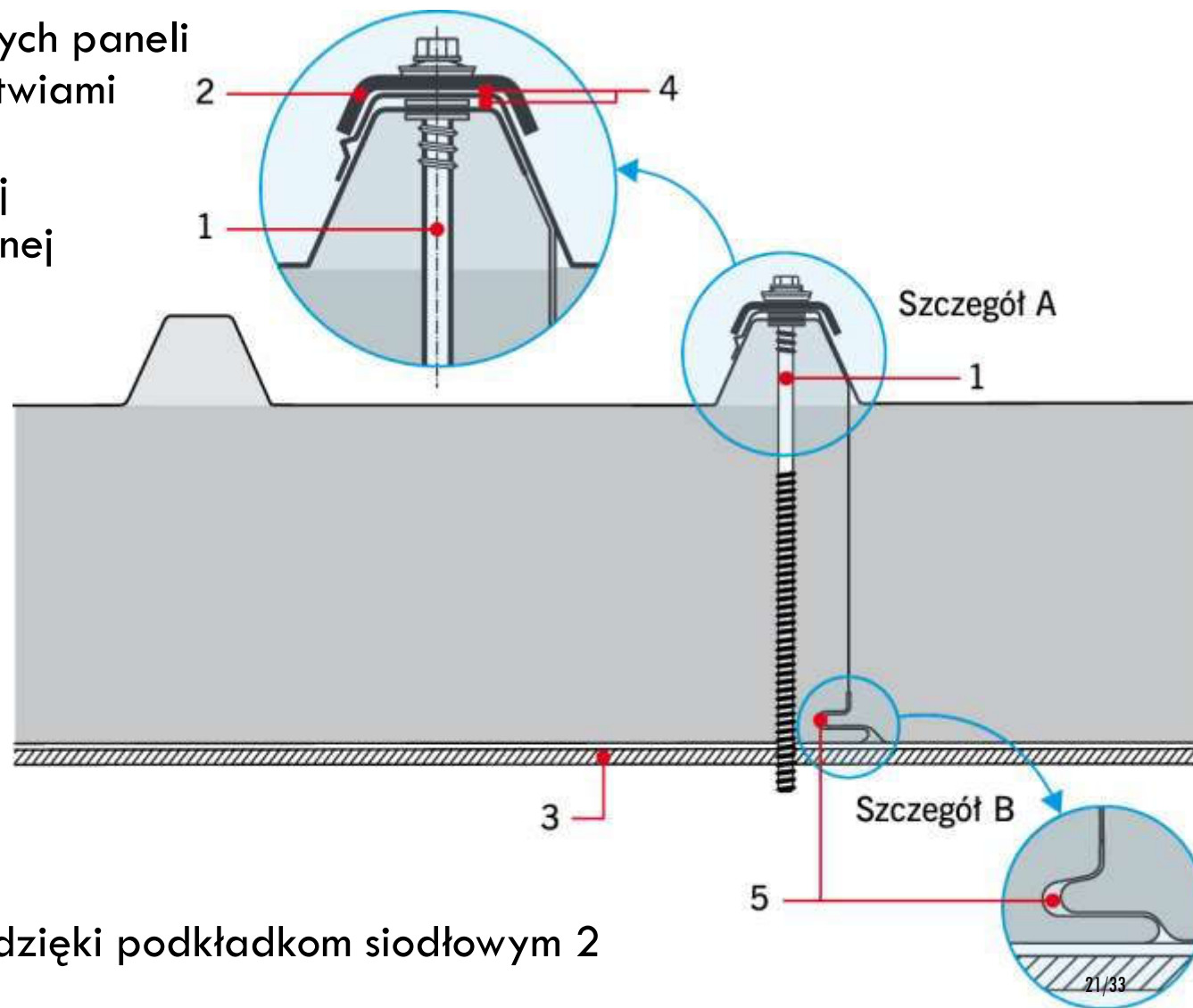
POŁĄCZENIA Z KONSTRUKCJĄ WSPORCZĄ

Połączenie dachowych paneli warstwowych z płatwiami w przypadku wysokoprofilowanej okładziny zewnętrznej

- 1 – wkręt z podkładką,
- 2 – podkładka siodłowa,
- 3 – płatew,
- 4 – taśma uszczelniająca,
- 5 – uszczelnienie

Zalety:

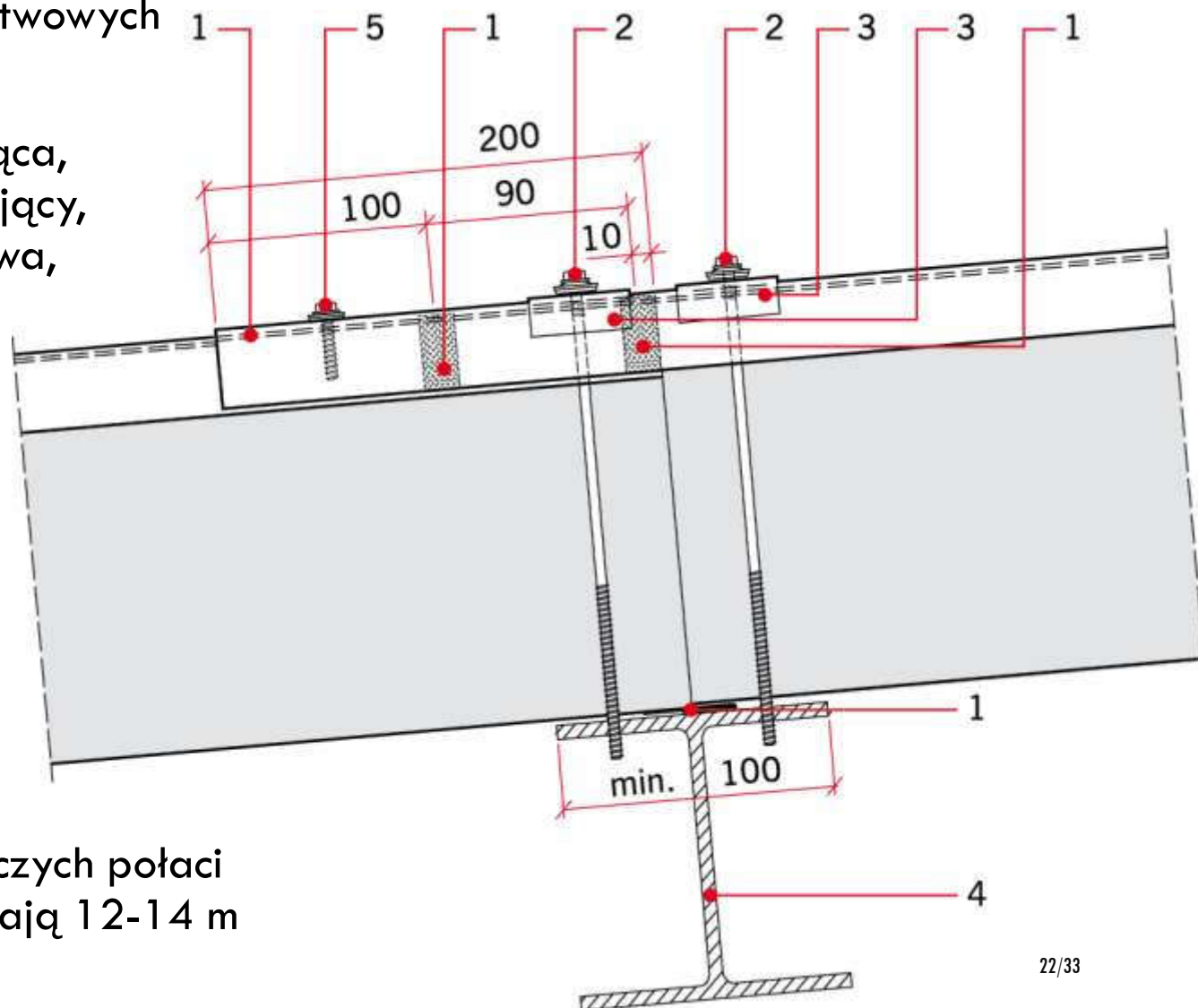
- szczelność,
- nośność, głównie dzięki podkładkom siodłowym 2



POŁĄCZENIA Z KONSTRUKCJĄ WSPORCZĄ

Styk poprzeczny warstwowych paneli dachowych:

- 1 – taśma uszczelniająca,
- 2 – wkręt samogwintujący,
- 3 – podkładka siedłowa,
- 4 – płatew,
- 5 – wkręt samowiercący,



Ma zastosowanie,
gdy długości pojedynczych połaci
dachowych przekraczają 12-14 m

MECHANIZMY ZNISZCZENIA POŁĄCZEŃ

Nośności obliczeniowe wkrętów należy wyznaczać, rozpatrując następujące mechanizmy zniszczenia połączeń:

- przy działaniu obciążenia prostopadle do trzpienia wkrętu ze względu na:
 - ścięcie trzpienia,
 - owalizację otworu lub rozerwanie blachy,
 - rozerwanie przekroju netto połączenia;
- przy działaniu obciążenia równoległe do trzpienia wkrętu ze względu na:
 - rozerwanie (urwanie) trzpienia,
 - wyrwanie (wyciągnięcie) wkrętu z podłoża,
 - przeciągnięcie łba wkrętu przez blachę (okładzinę).

Wyrażenia na nośności obliczeniowe wkrętów odpowiadające poszczególnym mechanizmom zniszczenia można znaleźć w PN-EN 1993-1-3:2008.

MECHANIZMY ZNISZCZENIA POŁĄCZEŃ

Niestety ze względu na zbyt duże deformacje nie wszystkie mechanizmy mają zastosowanie w odniesieniu do połączeń paneli warstwowych. Dotyczy to w szczególności takich mechanizmów jak:

- owalizacja otworu, której w przypadku cienkich okładzin towarzyszy zgniecenie blach,
- przeciągnięcie łba wkrętu przez okładzinę,
- wyrwanie (wyciągnięcie) wkrętu z podłoża.

Bezpieczniej jest korzystać w tym przypadku z danych zamieszczonych w aprobatkach lub deklaracjach właściwości użytkowych.

Niestety nie wszystkie aprobaty zawierają potrzebne na etapie projektowania nośności obliczeniowe.

MECHANIZMY ZNISZCZENIA POŁĄCZEŃ

Niestety ze względu na zbyt duże deformacje nie wszystkie mechanizmy mają zastosowanie w odniesieniu do połączeń paneli warstwowych. Dotyczy to w szczególności takich mechanizmów jak:

- owalizacja otworu, której w przypadku cienkich okładzin towarzyszy zgniecenie blach,
- przeciągnięcie łba wkrętu przez okładzinę,
- wyrwanie (wyciągnięcie) wkrętu z podłoża.

Bezpieczniej jest korzystać w tym przypadku z danych zamieszczonych w aprobatkach lub deklaracjach właściwości użytkowych.

Niestety nie wszystkie aprobaty zawierają potrzebne na etapie projektowania nośności obliczeniowe.

DEKLARACJA WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWYCH

		Material: Fastener: carbon steel, case hardened and coated Washer: aluminium alloy EN AW-5754 - EN 485 Component I: S280GD, S320GD, S350GD, S390GD, S420GD, S450GD - EN 10346 Component II: S235, S275, S355, S420 - EN 10025-1, S280GD, S320GD, S350GD, S390GD, S420GD, S450GD - EN 10346								
		Drilling capacity: $\Sigma t \leq 6,00$ mm Timber substructures: no performance determined								
	t_{N1}, t_{N2}, d, D [mm]	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	—
$V_{R,k}$ [kN]	0,40	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	—
	0,50	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	—
	0,55	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	—
	0,60	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	—
	0,63	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	—
	0,75	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	—
	0,88	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	—
1,00	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	—	
$N_{R,k}$ [kN]	0,40	1,39	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	—
	0,50	1,39	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	—
	0,55	1,39	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	—
	0,60	1,39	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	—
	0,63	1,39	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	—
	0,75	1,39	2,86	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	—
	0,88	1,39	2,86	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	—
1,00	1,39	2,86	4,32	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	—	
u [mm]	40	4,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	—
	50	5,0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	—
	60	6,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	—
	70	7,0	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	—
	80	8,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	—
	90	9,0	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	—
≥ 100	10,0	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	—	
$N_{R,k,II}$ [kN]		1,39	2,86	4,32	5,79	7,25	8,71	8,71	8,71	—

ZASADY OBLICZANIA OBCIĄŻEŃ POŁĄCZEŃ

Uwagi dotyczące wyznaczania wartości obciążeń od wiatru:

1) wg PN:

- większa wartość współczynnika działania porywów wiatru, który niezależnie od podatności budowli na dynamiczne działanie wiatru należy przyjmować $b = 2,2$ (por. p. 5.3 normy PN-B-02011);
- konieczność rozpatrzenia **obciążenia krawędziowego**, co omówiono szczegółowo w załączniku Z1-16 normy PN-B-02011 wyd. 3, w przypadku którego mamy znacznie większe współczynniki areodynamiczne C_z (dla ścian $C_z = -1,2$, a dla dachu $C_z = -2,0$);
- współczynnik dynamiczny $u = 1,4$ (por. p. 3.1 normy PN-B-03230:1984).

2) wg EN:

- współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe,1}$ jak dla łączników i małych elementów o polu powierzchni mniejszym jak 1 m^2 , takich jak elementy ścian osłonowych i dachów.

OBCIĄŻENIA

W obliczeniach zarówno połączeń paneli warstwowych, jak i samych paneli należy uwzględnić:

- ciężar własny,
- obciążenie wiatrem (parciem, ssaniem),
- obciążenie termiczne (okres chłodny i ciepły),
- oraz w przypadku paneli dachowych - obciążenie śniegiem.

Należy przyjmować współczynnik niejednoczesności pracy łączników mocujących.

Norma PN-B-03230 zaleca ponadto, aby podkładki łączników mocujących miały dostatecznie dużą powierzchnię, ograniczającą naprężenie w rdzeniu do 0,5 MPa.

PROJ. Z WARUNKU ZNISZCZENIA I UŻYTKOWANIA

Połączenia paneli warstwowych z konstrukcją wsporczą charakteryzują się nieliniowymi ścieżkami równowagi statycznej. Uwidacznia się ona zwłaszcza w przypadku obciążeń działających wzdłuż.

Zniszczenie połączeń następuje przy bardzo dużych przemieszczeniach zarówno sprężystych, jak i trwałych, co jest niedopuszczalne ze względów użytkowych.

Podatność podpór ciągłych paneli warstwowych wpływa istotnie na rozkład sił wewnętrznych, a co za tym idzie - na ich nośność. Dotyczy to w szczególności obciążenia ssaniem wiatru lub temperaturą, przy którym podporami są łby wkrętów.

Nośności obliczeniowe są w przypadku **ścianania** są bardzo małe, ze względu na coraz cieńsze okładziny (owalizacja otworu lub rozerwanie blachy).

Można to wyeliminować przez przekazanie ciężaru własnego paneli warstwowych na cokoły. Nierealne jest wówczas włączenie paneli warstwowych jako stężeń ze względu na zwichrzenie płatwi (w wypadku płyt dachowych) lub rygli ściennych (w wypadku płyt ściennych).

UWAGI KRYTYCZNE DO PN

Zastrzeżenia wzbudzają niektóre propozycje z normy PN-B-03230:1984, a mianowicie:

- dodatkowy współczynnik dynamiczny v ,
- współczynniki niejednoczesności obciążeń,
- a także ograniczenie, aby pod podkładką łącznika naprężenia w rdzeniu nie przekraczały 0,5 MPa.

Ich spełnienie wydaje się niezbędne w przypadku niektórych połączeń pośrednich projektowanych indywidualnie. W przypadku standardowych połączeń bezpośrednich na wkręty samogwintujące lub samowiercące nie ma potrzeby ich stosowania, z zastrzeżeniem, że nośności obliczeniowe wkrętów będą wyznaczone nie z warunku zniszczenia, lecz **użytkowania**.

Użytkowanie powinno dotyczyć nie tylko ograniczenie przemieszczeń sprężystych i trwałych w połączeniach, ale także zachowania szczelności.

WNIOSKI I ZALECENIA

Należy wybierać te panele, dla których w aktualnej aprobacie znajduje się najwięcej informacji na temat właściwości, a także danych do projektowania dotyczących zarówno samych paneli, jak i ich łączenia z konstrukcją wsporczą.

Stosowane w obudowie panele warstwowe powinny być wykonane zgodnie z obowiązującą aprobatą lub deklaracją zgodności.

Tablice zamieszczane w aprobatach są opracowane przy pewnych założeniach. Wskazane byłoby podawanie wartości nośności obliczeniowych na zginanie paneli warstwowych.

Producenci powinni wyeksponować zasady obowiązujące przy zestawianiu obciążeń. Dotyczy to zwłaszcza obciążeń krawędziowych wiatrem i temperaturą.

Maksymalna długość paneli wynosi 14 m. W przypadku dłuższych połączeń konieczne jest wykonanie styków poprzecznych. Wymagają one większego spadku dachu (co najmniej 12%).

WNIOSKI I ZALECENIA

Wykorzystania paneli warstwowych jako elementów stężących płatwie, rygle ściennie, a nawet słupy układów poprzecznych w płaszczyźnie ich mniejszej sztywności:

- paneli z niskoprofilowanymi okładzinami i standardowych połączeniach jest to w zasadzie nierealne. Zastosowanie blachy o gr. 0,4 mm ma niekorzystny wpływ na nośność na ścinanie połączenia z konstrukcją.
- jest to możliwe w przypadku paneli warstwowych z wysokoprofilowanymi okładzinami. Wymagane są jednak przy tym niestandardowe (specjalne) połączenia z płatwiami lub ryglami ściennymi, a także okładziny z blachy stalowej o gr. co najmniej 0,6 mm.

Należy zwrócić uwagę na wartości nośności obliczeniowych wkrętów podawane w aprobatkach lub katalogach producentów.

