

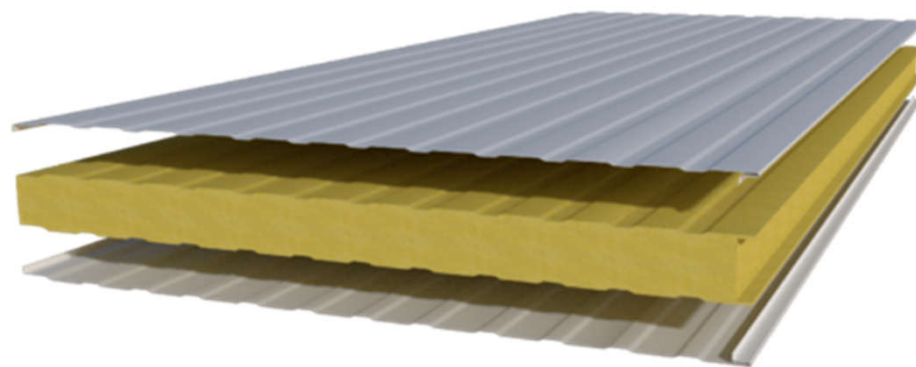
CIENKOŚCIENNE KONSTRUKCJE METALOWE

Wykład 12: Płyty warstwowe stosowane w lekkiej obudowie

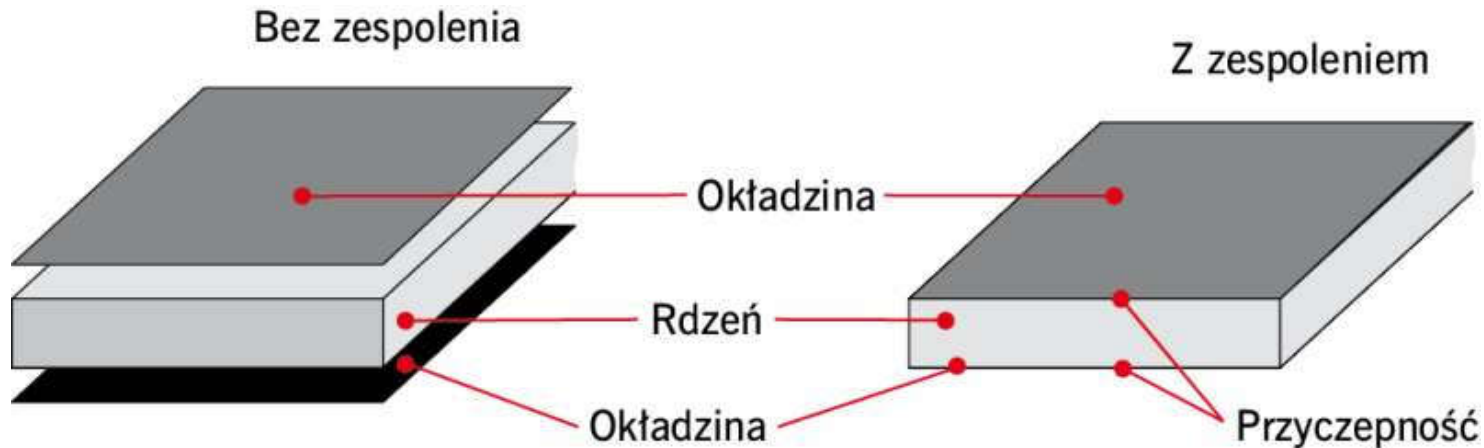
WSTĘP

Płyty warstwowe znajdują zastosowanie w fasadach, dachach, ściankach działowych i sufitach. Najczęściej wykorzystywane są w budynkach przemysłowych i komercyjnych, halach sportowych, magazynach i elektrowniach. Stanowią także odpowiedni materiał do budowy obiektów z branży rolniczej i przetwórstwa żywności.

Jest to efektywny kosztowo, prefabrykowany element składający się z dwóch okładzin z blachy stalowej oraz rdzenia konstrukcyjno-izolacyjnego znajdującego się między nimi. Produkty dostępne są ze rdzeniem z poliizocyanuratu (PIR), styropianu lub z wełny mineralnej.



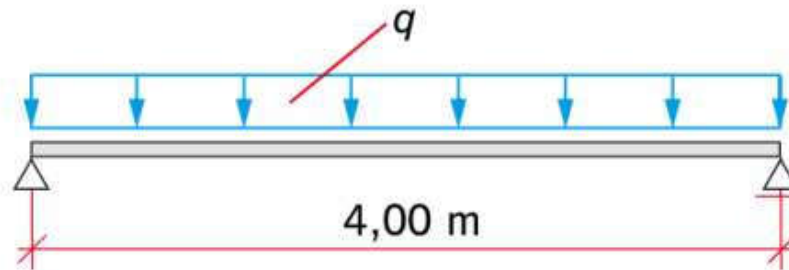
IDEA PANELI WARSTWOWYCH



Nośność $q \approx 0$

Nośność $q = 1,8 \text{ kN/m}^2$

Schemat:



Przykład:

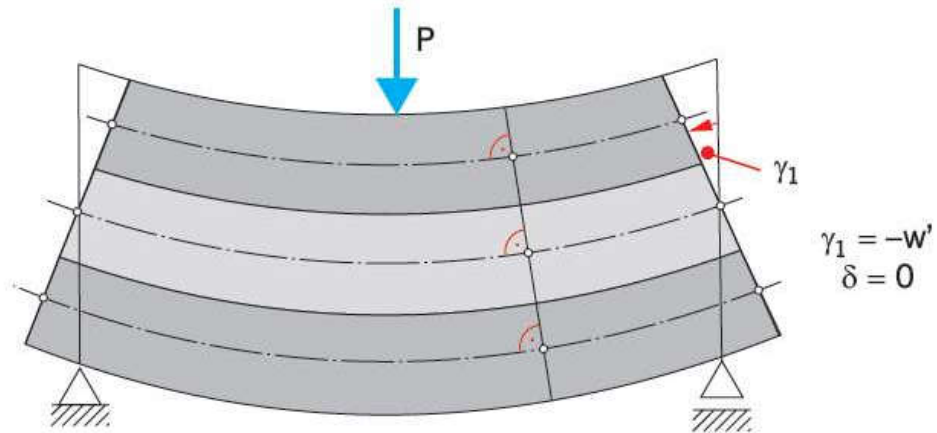
Okładzina: $t = 0,5 \text{ mm}$
Rdzeń: PUR, $\rho = 45 \text{ kg/m}^3$, $d = 60 \text{ mm}$
Szerokość: $b = 1,00 \text{ m}$
Obciążenie: krótkotrwałe

IDEA PANELI WARSTWOWYCH

3

Element jednorodny

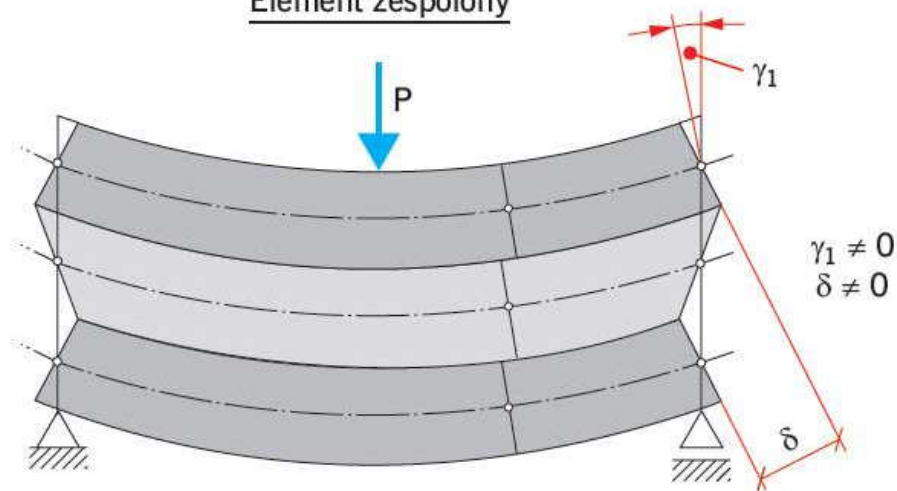
sztynność
ścianania
 $G = \infty$



2

Element zespolony

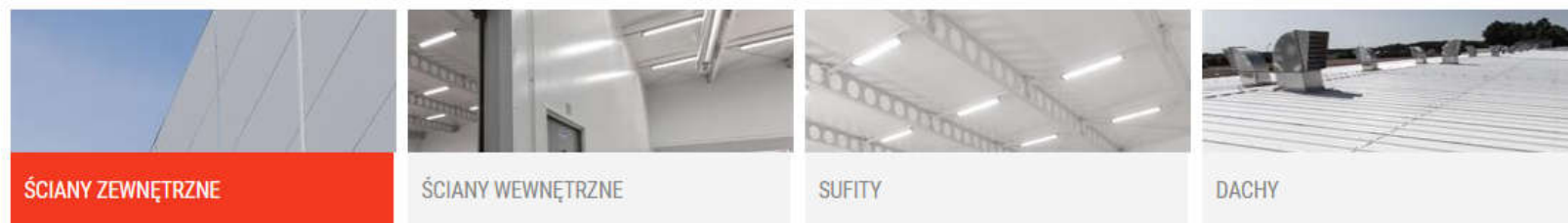
sztynność
ścianania
 $0 < G < \infty$



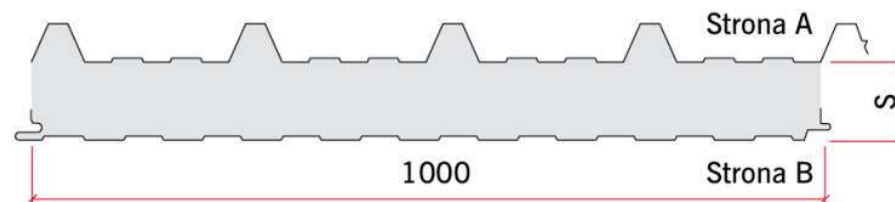
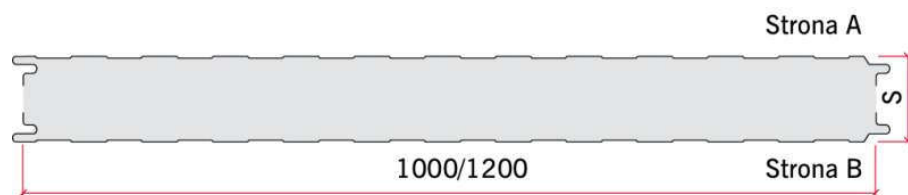
RODZAJE PANELI WARSTWOWYCH

Jest wielu producentów paneli (płyt) warstwowych przeznaczonych do wykonywania lekkiej obudowy obiektów budowlanych. Produkowane są przy tym (zdecydowanie różniące się od siebie) panele ściennie i dachowe.

OFERTA PŁYT WARSTWOWYCH



Rdzeń paneli wykonany jest zazwyczaj ze styropianu, poliuretanu lub wełny mineralnej. Okładziny natomiast są zwykle z blachy stalowej płytko- lub głębokopofilowanej.



POŁĄCZENIA Z KONSTRUKCJĄ WSPORCZĄ

Panele warstwowe lekkiej obudowy mogą być łączone z konstrukcją wsporczą w sposób bezpośredni (widoczny) lub pośredni (zakryty).

Cechą charakterystyczną jest ich odmienność w porównaniu z tradycyjnymi połączeniami, głównie w zakresie zachowania się i mechanizmów zniszczenia.

W oferowanych systemach dominuje łączenie bezpośrednie, które jest mniej kłopotliwe w realizacji. Niektórzy producenci proponują specjalne połączenia pośrednie.

Jest niewielu producentów wkrętów, przeznaczonych do łączenia paneli warstwowych. Warto zwracać uwagę na zamieszczone w aprobatkach nośności wkrętów niezbędne do projektowania połączeń z konstrukcją wsporczą. Ważne są tym nie tylko wartości nośności, odpowiadające poszczególnym mechanizmom zniszczenia, lecz także warunki, w jakich te nośności zostały wyznaczone.

POSTACIE ZNISZCZENIA PANELI WARSTWOWYCH

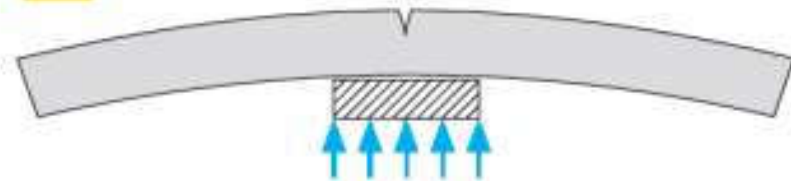
W panelach warstwowych lekkiej obudowy, które poddane są z reguły zginaniu w wyniku obciążenia własnego, wiatrem, śniegiem i temperaturą, mogą wystąpić następujące mechanizmy zniszczenia wskutek przekroczenia nośności:

- okładziny rozciąganej w przęśle lub nad podporą pośrednią,

7

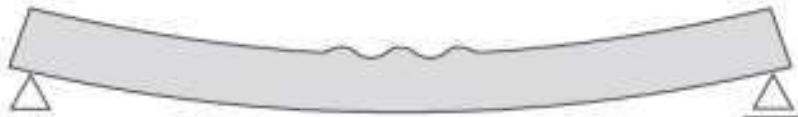


8

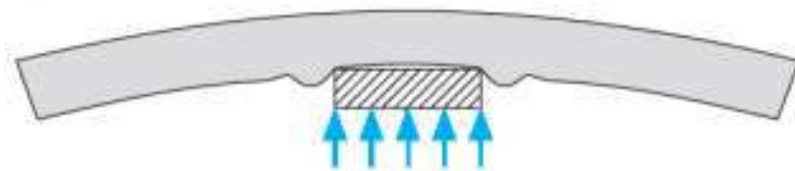


- krytycznej okładziny ściskanej w przęśle lub nad podporą pośrednią,

9



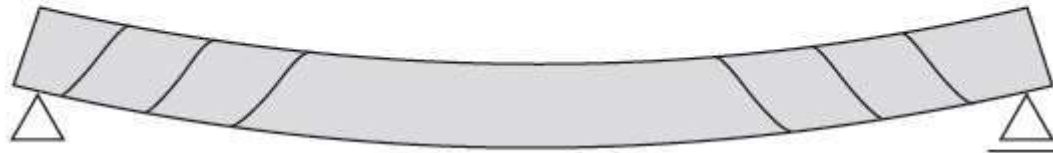
10



POSTACIE ZNISZCZENIA PANELI WARSTWOWYCH

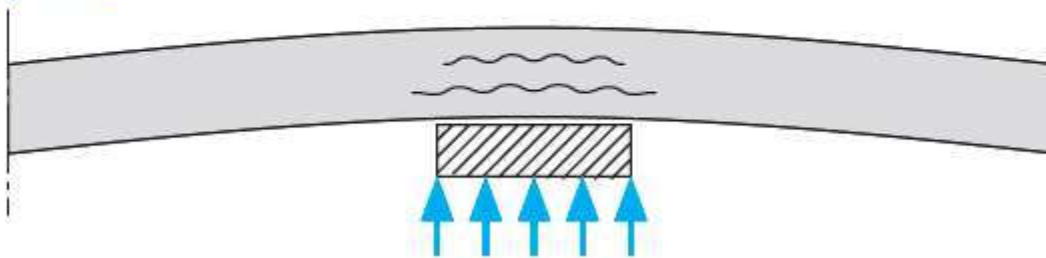
- rdzenia na ścinanie w strefie podpory,

11



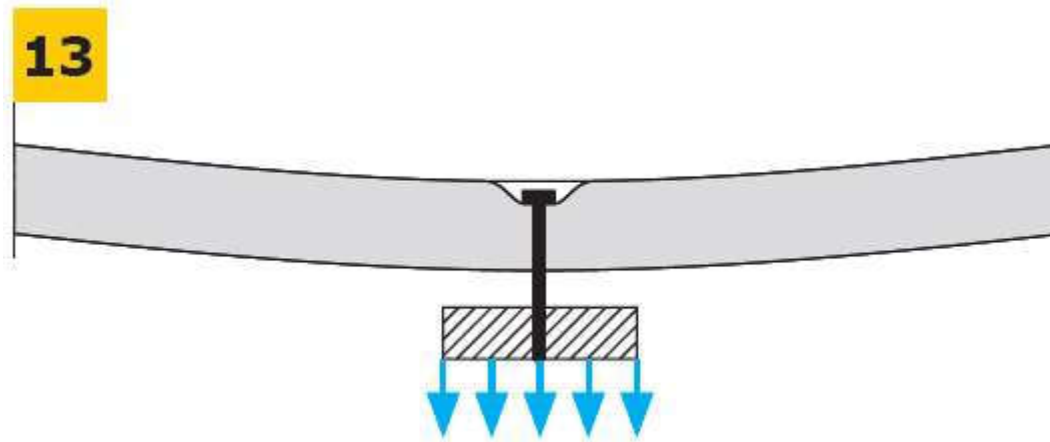
- rdzenia na ściskanie nad podporą skrajną lub pośrednią,

12

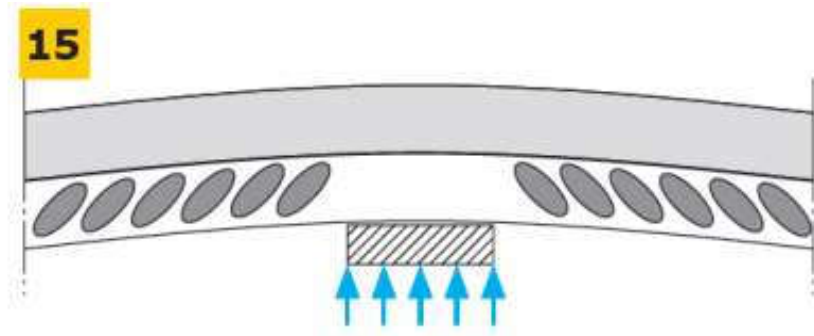
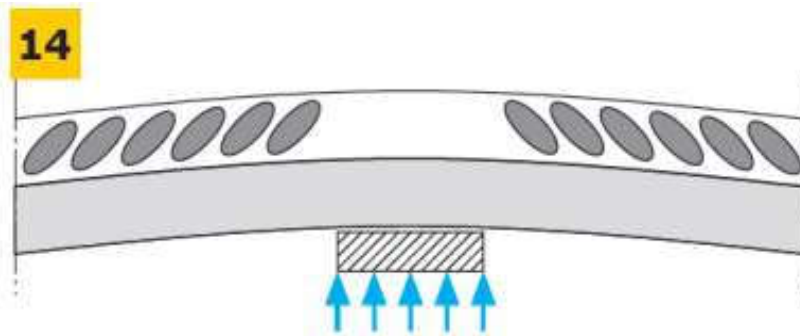


POSTACIE ZNISZCZENIA PANELI WARSTWOWYCH

- lokalnej okładziny w strefie łba wkrętu na przeciąganie lub załamanie,

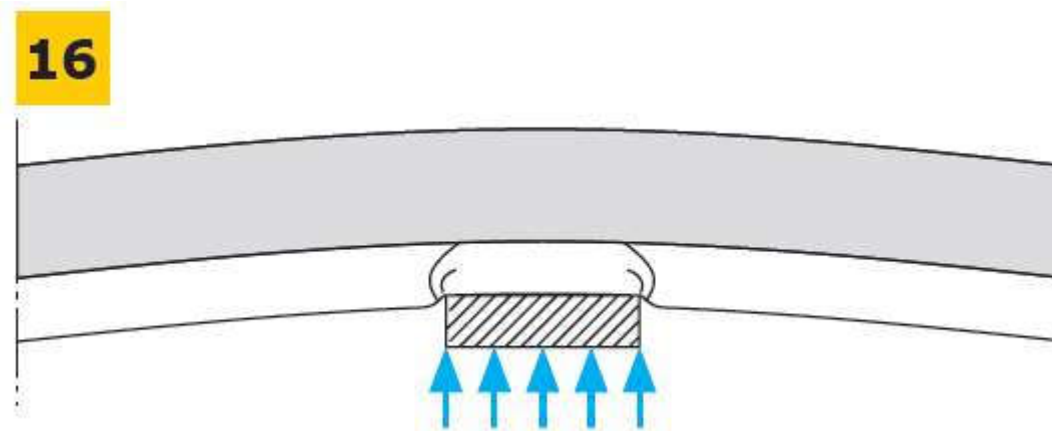


- krytycznej na ścinanie środków wysokoprofilowanej okładziny w strefie podpory,



POSTACIE ZNISZCZENIA PANELI WARSTWOWYCH

- na zgniecenie fałdy wysokoprofilowanej okładziny nad podporą,

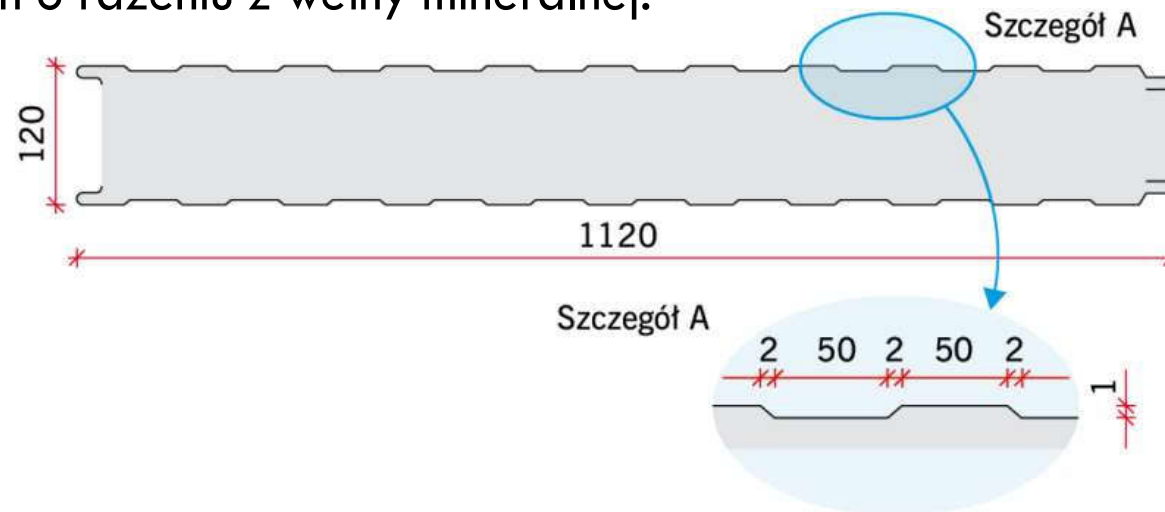


BADANIA NOŚNOŚCI PANELI ZGINANYCH

W Laboratorium WBLIW prowadzono szereg doświadczeń obejmujących badania:

- właściwości rdzenia i jego przyczepności do okładzin,
- belek i paneli warstwowych na zginanie,
- parametrów wytrzymałościowych okładzin,
- połączeń paneli z konstrukcją wsporczą (płattwiami, ryglami ściennymi).

Dalej przedstawiono wyniki badań doświadczalnych na zginanie paneli warstwowych o rdzeniu z wełny mineralnej.



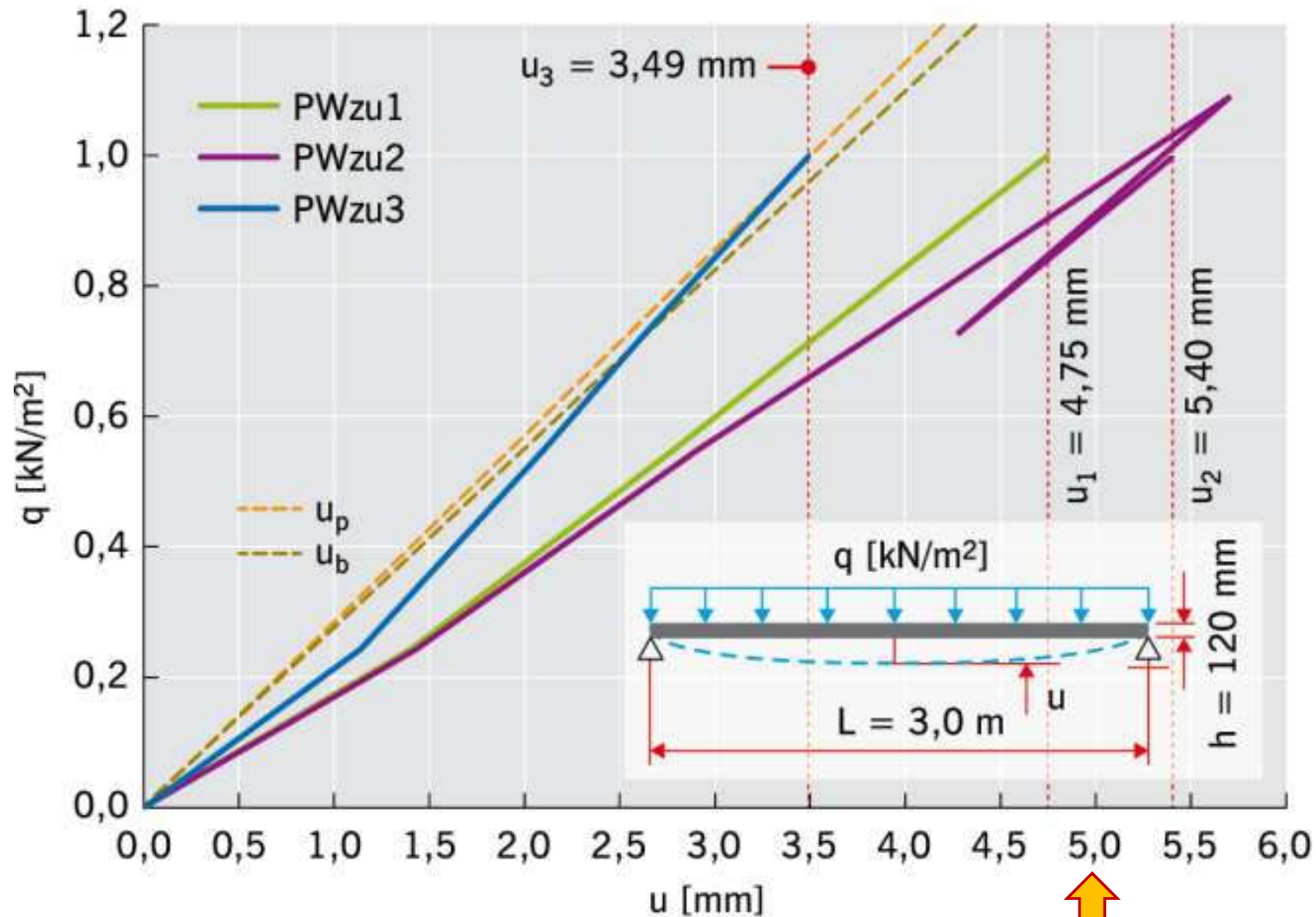
BADANIA NA ZGINANIE PANELI WARSTWOWYCH

Rdzeń paneli – wełna mineralnej w postaci płyt lamelowych gr. 120 mm, o stałej długości 120 cm i zróżnicowanej szerokości: 18 cm, 50 cm lub 60 cm (ułożonych w cegielkę), okładziny z płytkoprofilowanych blach stalowych gr. 0,55 mm, obustronnie ocynkowanych i powleczonych lakierami. Ciągłe połączenie rdzenia z okładzinami wykonano za pomocą kleju poliuretanowego.

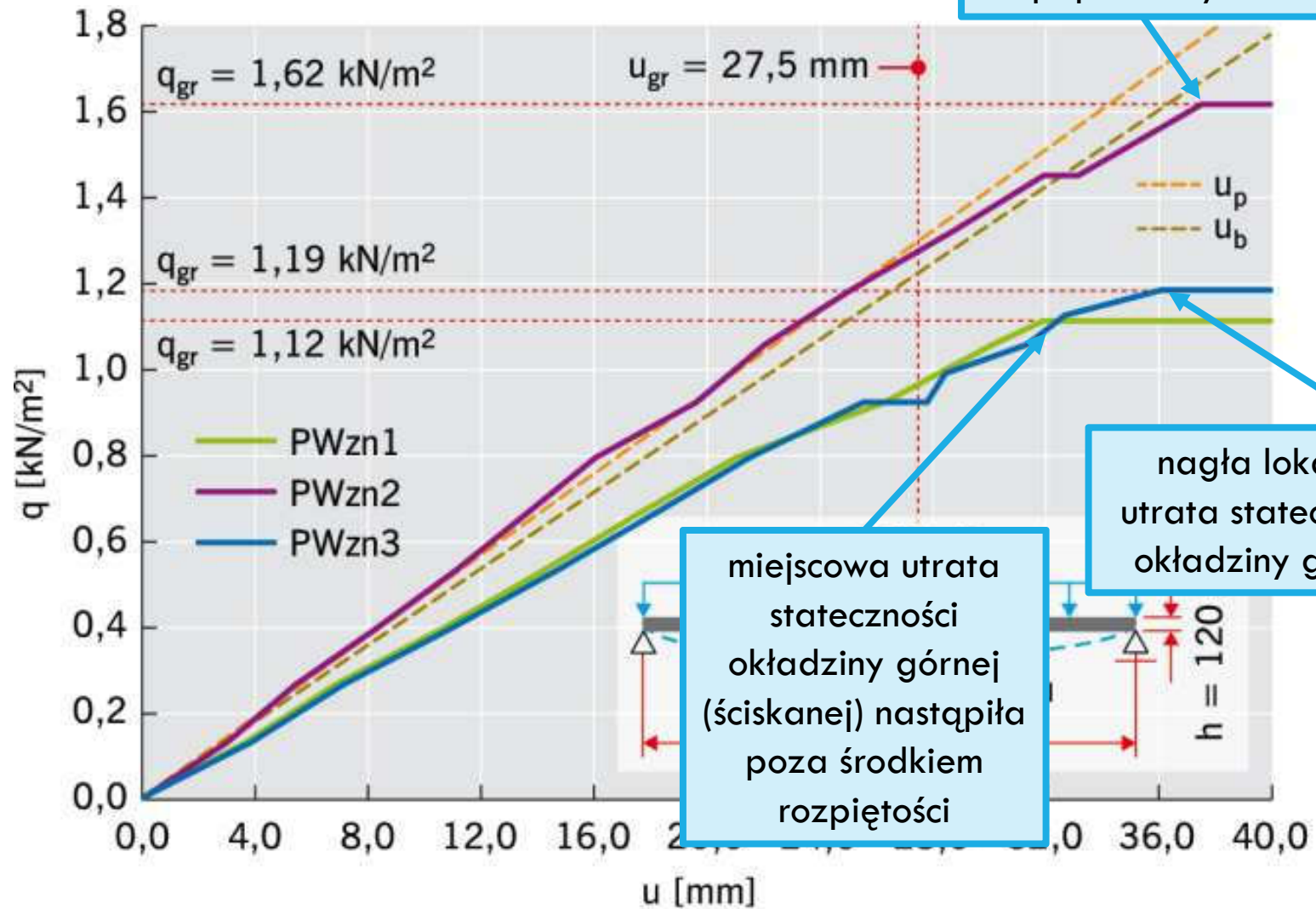
Panele warstwowe badano na zginanie jako jednoprzęsłowe, swobodnie podparte, o rozpiętości przęsła L równej 3,0 m (badania sztywności) oraz 5,50 m lub 4,15 m (badania nośności). Badane panele były oznaczone jako:

- PWzu1, 2, 3 (ugięcie),
- PWzn1, 2, 3 (nośność),
- PWzn2*, 3* (nośność).

WYNIKI BADAŃ SZTYWNOŚCI



WYNIKI BADAŃ NOŚNOŚCI

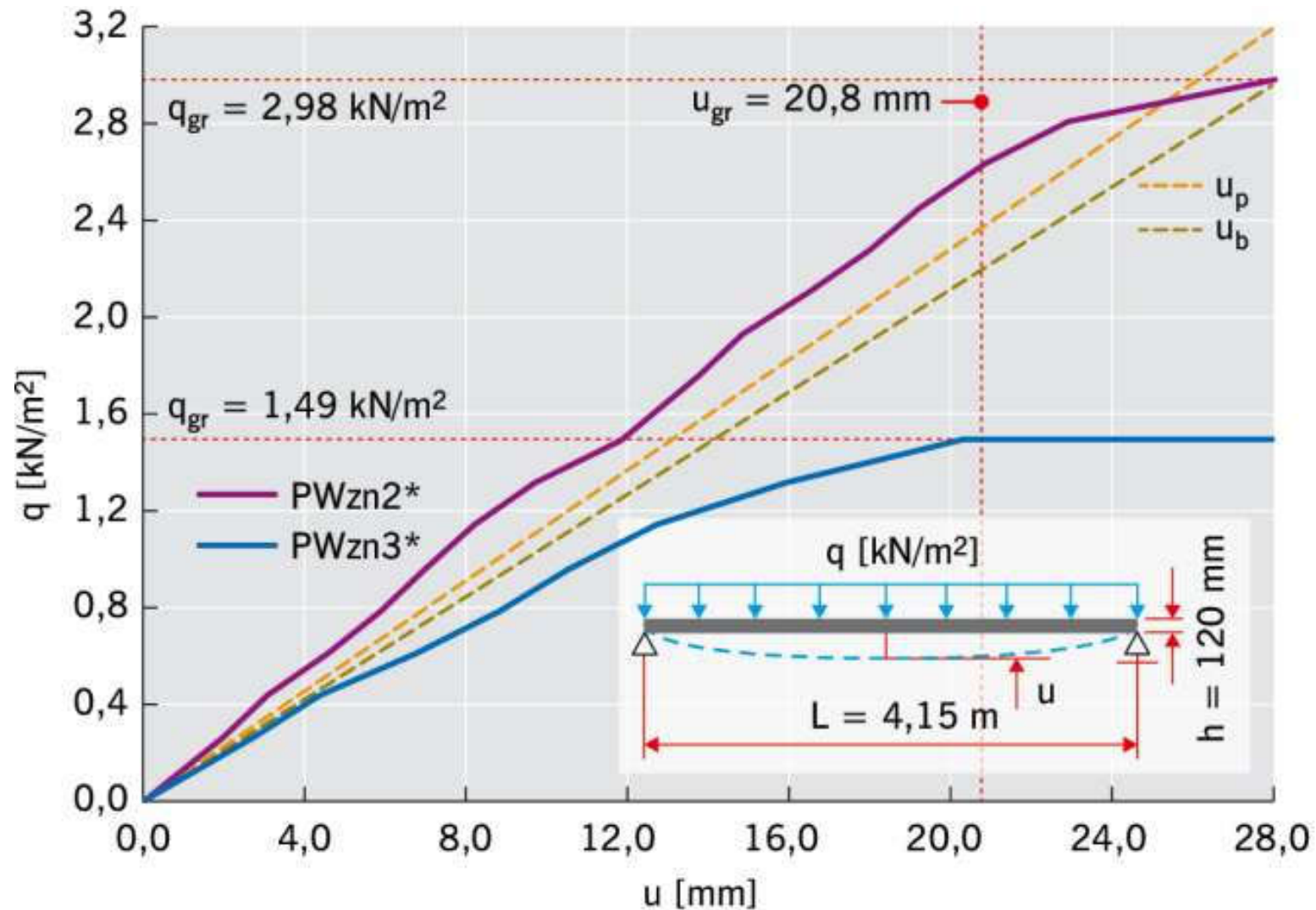


poślizg rdzenia
wzdłuż jego nie
sklejonych styków
poprzecznych

nagła lokalna
utrata stateczności
okładziny górnej

miejscowa utrata
stateczności
okładziny górnej
(ściskanej) nastąpiła
poza środkiem
rozpiętości

WYNIKI BADAŃ SZTYWNOŚCI



SZTYWNOŚĆ TEORETYCZNA PANELI

PN-B-03230:1984 *Lekkie ściany osłonowe i przekrycia dachowe z płyt warstwowych i żebrowych -- Obliczenia statyczne i projektowanie (wycofana bez zastąpienia 25.08.2015 r.).*

Teoretyczną zależność ugięcia jednoprzęsłowych paneli warstwowych wg tej normy:

$$u_p(L/2) = 0,02366 \frac{qL^4}{Eh^2t} \left(1 + 5,275 \frac{Eht}{G_r L^2} \right)$$

gdzie:

- E, Gr – moduły sprężystości podłużnej materiału okładzin i poprzecznej rdzenia,
- L, h, t – rozpiętość przęsła panelu oraz grubości rdzenia i okładzin,
- q – obciążenie równomiernie rozłożone na powierzchni panelu.

Ugięcia belek warstwowych z cienkimi okładzinami

$$u_b(L/2) = 0,02604 \frac{qL^4}{Eh^2t} \left(1 + 4,8 \frac{Eht}{G_r L^2} \right)$$

NAPRĘŻENIA KRYTYCZNE OKŁADZIN

Naprężenia krytyczne wyznaczono teoretycznie na podstawie: normy PN-B-03230:1984, książki "Lekkie przegrody w budownictwie", wytycznych europejskich (3) ("Lightweight sandwich construction") i zależności (4).

gdzie:

$$\sigma_{cr} = 0,65 \sqrt[3]{\frac{E E_r G_r}{(1 - \nu^2)}} \quad \sigma_{cr} = \frac{3}{A} \sqrt{E I E_r}$$

E_r – moduł sprężystości podłużnej rdzenia przy rozciąganiu,

ν – współczynnik Poissona materiału okładzin,

A, I – pole przekroju i moment bezwładności okładziny (względem własnej osi) panelu o szer. $b = 1,0$ m.

Model panelu	Naprężenia krytyczne σ_{cr} [MPa] wyznaczone			
	z badań	według normy PN-B-03230:1984 [7] oraz publikacji „Lekkie przegrody w budownictwie” [9]	według wzoru (3)	według wzoru (4)
PWzn1	64,2	133,2	125,6	83,0
PWzn2*	81,8	133,2	125,6	83,0
PWzn3	51,1	133,2	125,6	83,0

SZTYWNOŚCI RDZENIA

Zależności umożliwiające obliczenie G_r (sztywność rdzenia) na podstawie wyznaczonych doświadczalnie $u(q)$:

$$G_r = \frac{0,1248qL^2Eht}{u_pEh^2t - 0,02366qL^4}$$

$$G_r = \frac{0,1250qL^2Eht}{u_bEh^2t - 0,02604qL^4}$$

Model	Moduł G_r [MPa] rdzenia paneli poddanych obciążeniu q [kN/m ²]					
	według wzoru (5)			według wzoru (6)		
	0,5	1,0	1,2	0,5	1,0	1,2
PWzu1	2,33	2,62	–	2,40	2,72	–
PWzu2	2,22	2,30	–	2,29	2,37	–
PWzu3	3,39	4,04	–	3,55	4,26	–
PWzn1	2,32	2,09	–	2,58	2,30	–
PWzn2	3,98	4,14	3,91	4,80	5,03	4,70
PWzn3	2,22	2,07	1,84	2,46	2,27	2,00

SZTYWNOŚCI RDZENIA

Przyczyną zbyt dużych ugięć badanych paneli jest wadliwe wykonanie w nich rdzenia, w którym pozostawiono niesklejone styki zarówno poprzeczne, jak i podłużne. Konsekwencją tego jest drastyczne obniżenie modułu sprężystości poprzecznej rdzenia, który istotnie wpływa zarówno na sztywność paneli warstwowych, jak i na ich nośność na zginanie.



OGÓLNE WNIOSKI Z BADAŃ

Nośność i sztywność zależy od zastosowanych materiałów (okładzin z właściwym wyprofilowaniem, rdzenia ze styropianu, wełny mineralnej i odpowiedniego kleju lub odpowiedniego wypełnienia poliuretanowego), jak i procesu produkcyjnego, od którego zależą parametry zespolenia oraz wzajemna współpraca elementów składowych paneli warstwowych.

W przypadku rdzenia złożonego z płyt styropianu lub wełny mineralnej szczególnego znaczenia nabiera jakość wykonania połączeń klejonych (rdzenia z okładzinami, styków podłużnych i poprzecznych rdzenia). Powinny być szczegółowo omówione w aprobatkach technicznych.

Nośność paneli warstwowych na zginanie jest zwykle wystarczająca w przypadku ścian zewnętrznych, w których decydującą rolę odgrywa obciążenie parciem wiatru. Nośności te mogą się okazać zbyt małe dla konwencjonalnie zastosowanych paneli warstwowych obciążonych ssaniem wiatru, a także – równocześnie większą różnicą temperatury.

OGÓLNE WNIOSKI Z BADAŃ

W wielu przypadkach producenci paneli warstwowych nie stosują się do wszystkich ustaleń zawartych w świadectwach lub aprobatkach. Niekiedy są to zmiany mające na celu udoskonalenie wyrobu, ale częściej chodzi o uzyskanie oszczędności.

Typową, łatwą do wykrycia na budowie wadą paneli warstwowych, są styki rdzenia (ze styropianu, z płyt wełny mineralnej) wykonywane bez sklejenia.

Przedstawione badania wykazały, że tak wykonane styki poprzeczne i podłużne rdzenia z wełny mineralnej mają istotny wpływ na obniżenie sztywności i nośności rozważanych paneli warstwowych. Mogą być przyczyną nietypowych mechanizmów ich zniszczenia.

Paneli warstwowych z tego typu wadami nie powinno się stosować w obudowach jako elementów konstrukcyjnych.

POŁĄCZENIA PANELI WARSTWOWYCH

Panele warstwowe stosowane jako lekka obudowa obiektów budowlanych mogą być łączone z konstrukcją wsporczą na połączenia zarówno **pośrednie**, jak i **bezpośrednie**.

Producenci paneli warstwowych mają odpowiednie aprobaty, które pozwalają na stosowanie ich wyrobów w budownictwie.

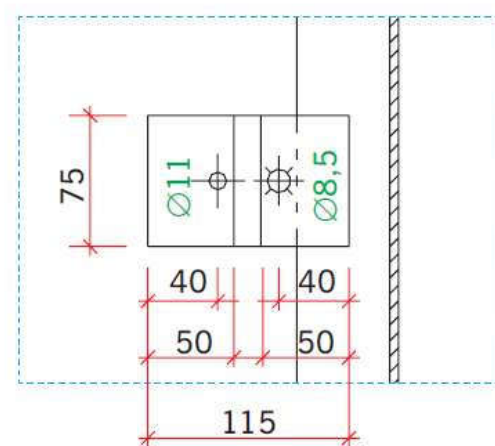
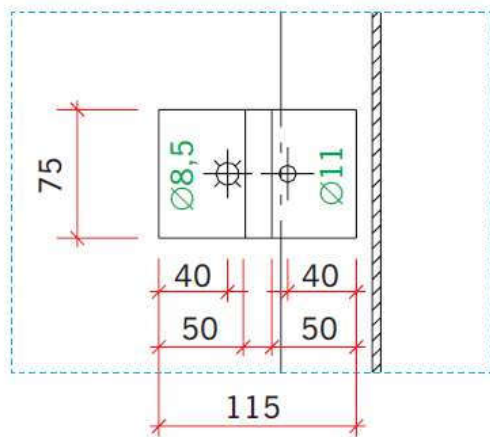
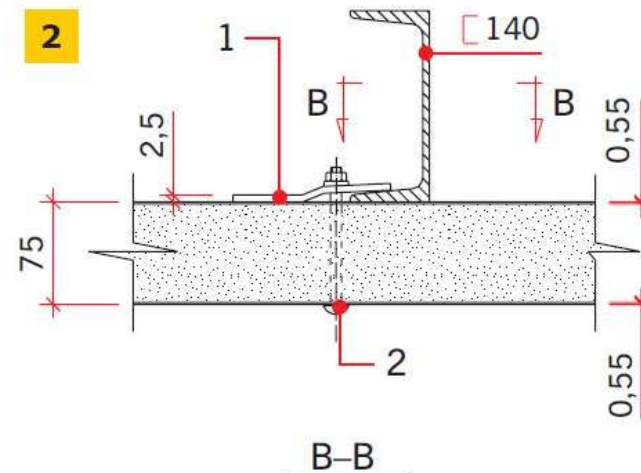
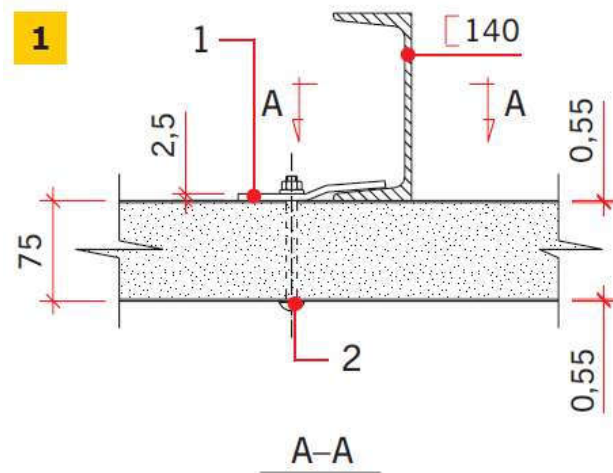
Aprobaty te nie obejmują niestety systemów mocowania paneli do konstrukcji wsporczych lekkiej obudowy, mimo że odbiegają one od połączeń standardowych stosowanych w konstrukcjach metalowych.

Na dodatek połączenia te ze względu na swoją specyfikę, nie mogą być traktowane jak te, które stosowane są w lekkiej obudowie z blach trapezowych. Decyduje o tym rdzeń paneli warstwowych, który charakteryzuje się dużo mniejszą od okładzin sztywnością i wytrzymałością.

Konsekwencją tego jest m.in. **mniejsza nośność połączeń** z warunku na przerwanie okładziny przez łeb łącznika, a co najważniejsze - konieczność określania nośności obliczeniowej na podstawie stanu granicznego użyteczności, co możliwe jest w zasadzie tylko przez **badania doświadczalne**.

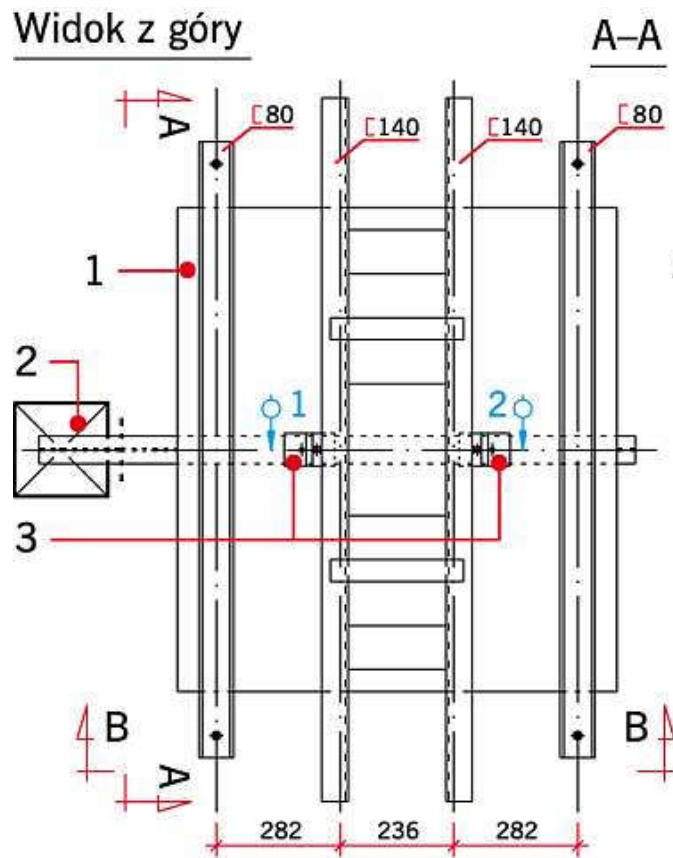
BADANIA DOŚWIADCZALNE POŁĄCZEŃ

Połączenia pośrednie na zaczepy z blach

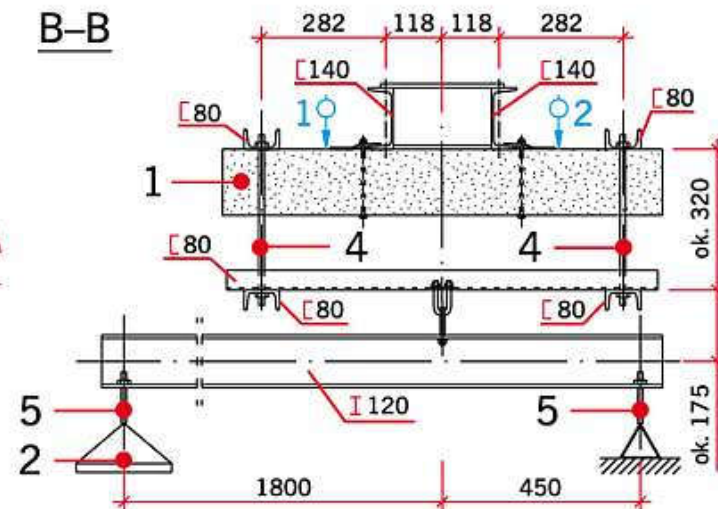
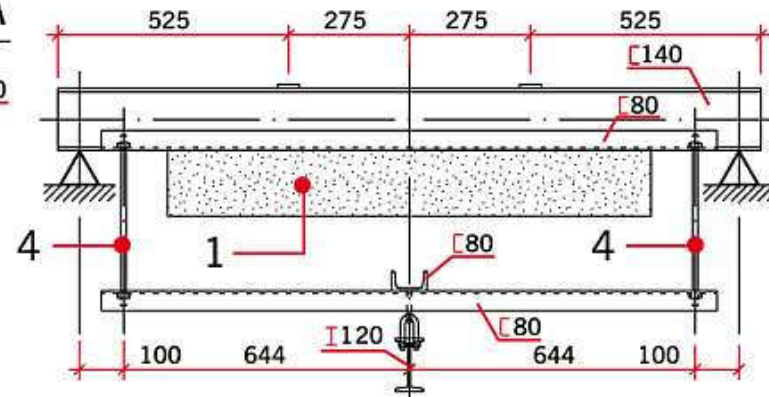


STANOWISKO BADAWCZE

- 1 – płyta warstwowa,
- 2 – szalka,
- 3 – zaczepy z blachy,
- 4 – pręt $\varnothing 10$,
- 5 – ogniwo $\varnothing 10$



 – czujniki zegarowe

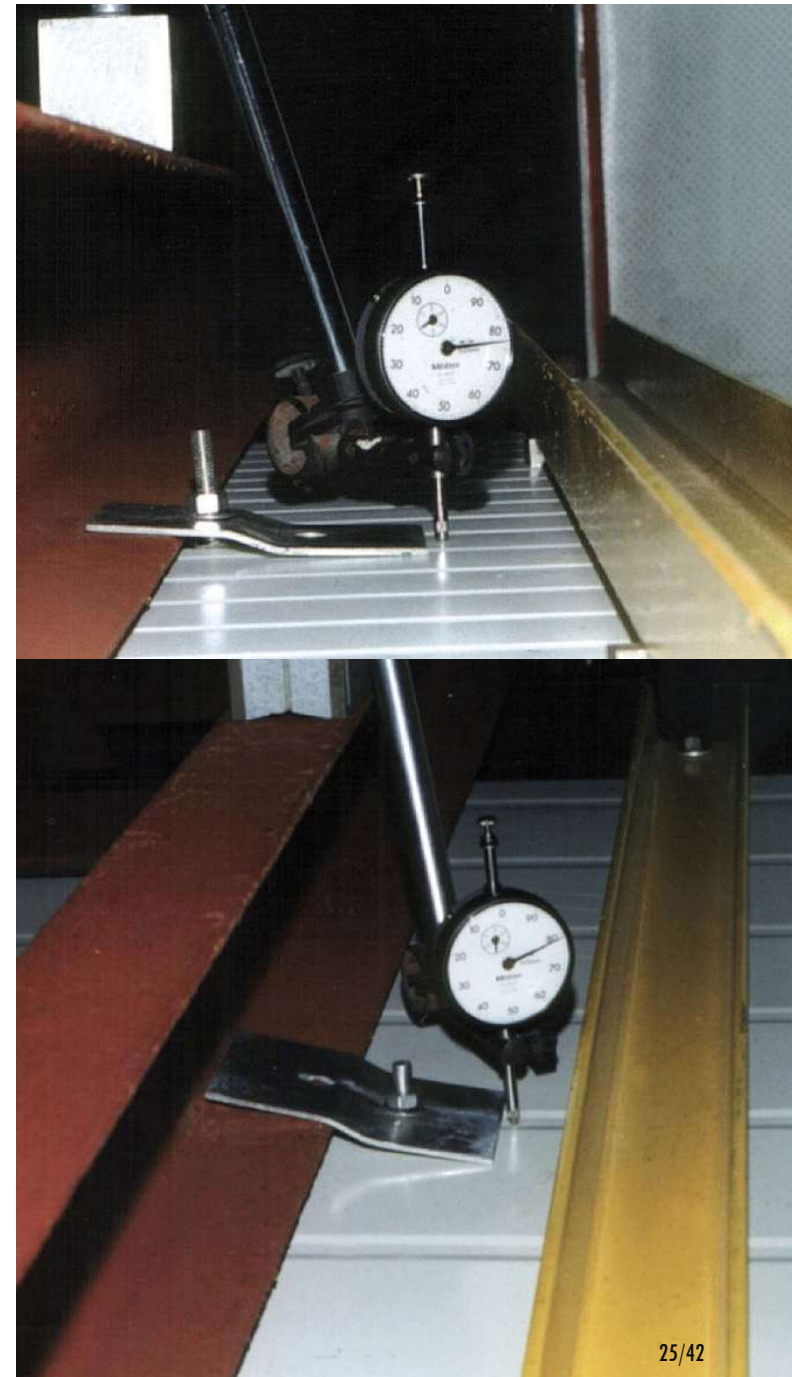


MECHANIZM NISZCZENIA

Zniszczenie połączeń następowało najczęściej przez przerwanie okładziny zewnętrznej paneli warstwowych przez łby śrub zamkowych, po czym zaczepy z blach zsuwały się z półek belki stanowiącej konstrukcję wsporczą. Zarówno zaczepy, jak i śruby zamkowe w większości prób po zniszczeniu połączenia pozostawały proste.

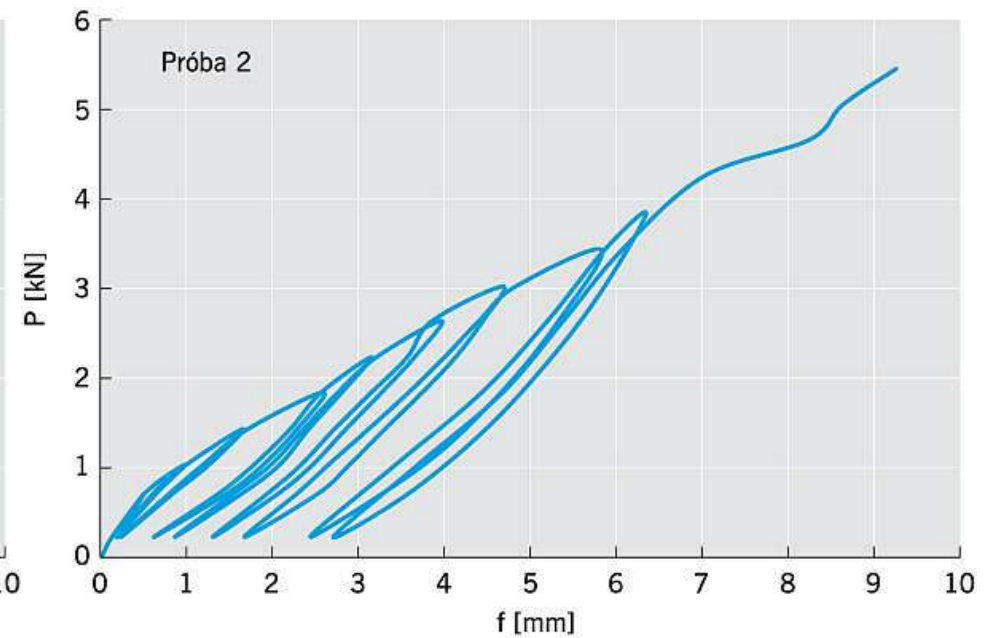
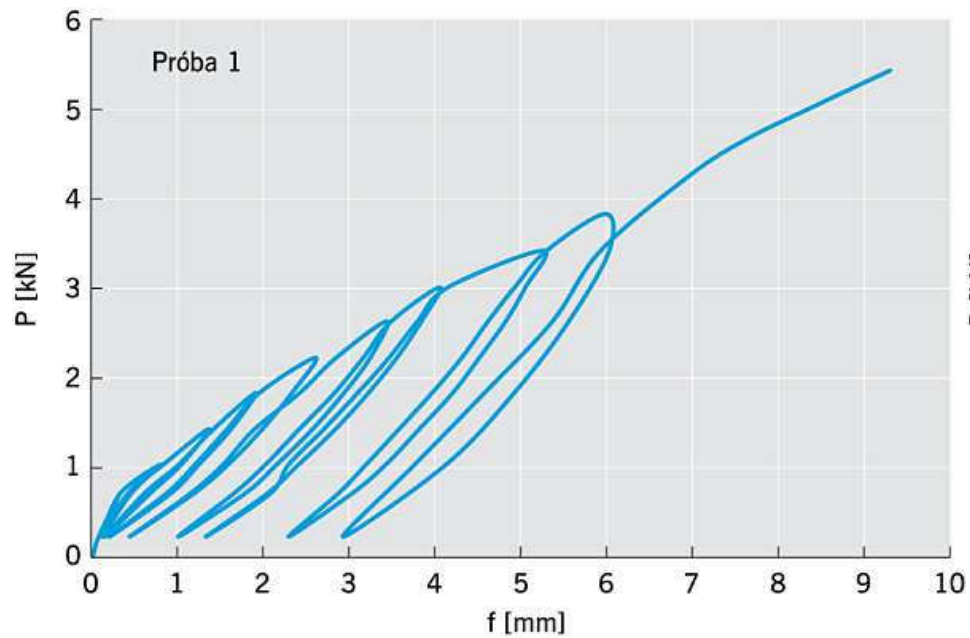
Wszystkie elementy złączne, to znaczy śruby i zaczepy, ulegały trwałemu odkształceniu.

Podczas obciążania modelu stosunkowo szybko następował przyrost przemieszczeń bez zwiększania obciążenia, a także wyginanie się zaczepów z blach, co w efekcie doprowadzało do ich zsunęcia się z półek ceownika



WYNIKI BADAŃ

Nr serii	Typ płyty warstwowej	Wykonanie	Nośność graniczna [kN]	Maksymalne przemieszczenie [mm]	Nośność obliczeniowa [kN]
1	60	zalecane	6,1	10,3	1,6
2	75	zalecane	6,5	12,5	1,9
3	75	niezalecane	3,4	12,0	0,6



WNIOSKI

Polegało na wyczerpaniu nośności blach łączących, które po przekroczeniu zakresu pracy sprężystej odkształcały się plastycznie i zsuwały z półek ceowników. Niezalecany sposób montażu obniża kilkakrotnie nośność połączenia w porównaniu z wykonanym w sposób zalecany.

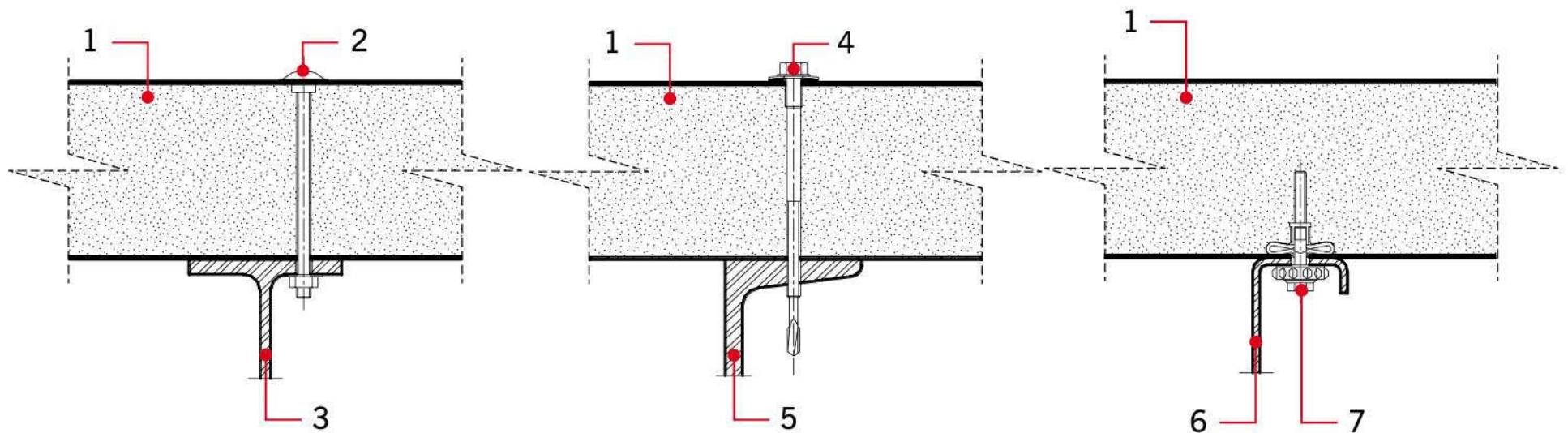
Prawidłowo wykonanych podwójnych połączeń pośrednich na zaczepy z blach był podobny jak w przypadku połączeń bezpośrednich i polegał na **przerwaniu** okładziny paneli warstwowych przez łby pojedynczych łączników. Miało to miejsce przy obciążeniach mniejszych od podwójnej nośności połączeń na pojedyncze łączniki.

Świadczy to m.in. o występowaniu nierównomiernego rozdziału obciążenia na połączenia w przypadku ich większej liczby. Uzasadnia to konieczność stosowania w takim przypadku współczynników niejednoczesności pracy połączeń proponowanych w normie PN-B-03230:1984.

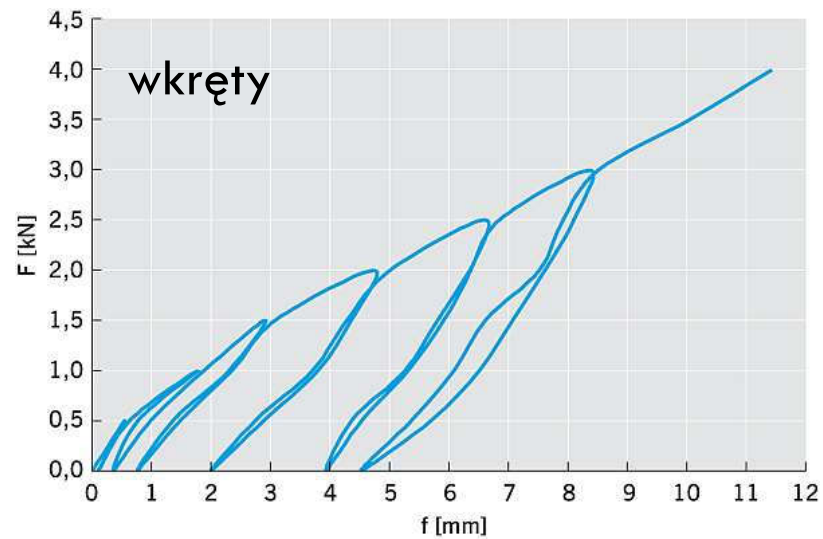
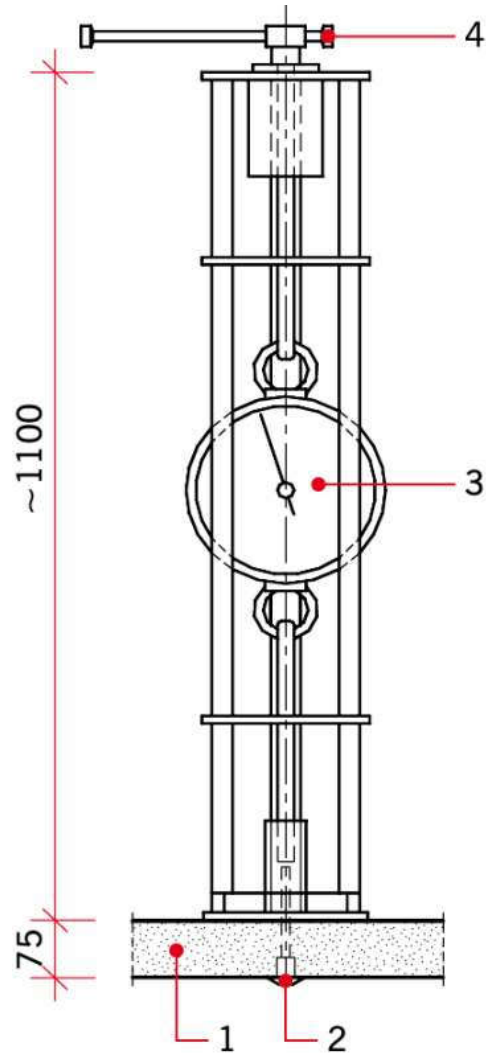
POŁĄCZENIA BEZPOŚREDNIE

W połączeniach bezpośrednich jako łączniki stosowane są:

- śruby zamkowe,
- wkręt,
- łączniki specjalne.



PRZEBIEG I WYNIKI BADAŃ



NOŚNOŚĆ POŁĄCZEŃ

Kryterium	Średnica łba [mm]	n	F_n [kN]	S_{Fu} [kN]	t	$F_{u \min}$ [kN]
A – 2,0/0,5, $\alpha = 0,10,$ $\omega = 10,0\%$	17	9	1,17	0,133	1,89	0,92
B – 3,0/0,75, $\alpha = 0,10,$ $\omega = 5,0\%$	17	9	1,57	0,115	2,42	1,29
C – 4,0/1,0, $\alpha = 0,10,$ $\omega = 2,275\%$	17	9	1,87	0,100	2,94	1,58

śruby zamkowe

Średnica podkładki [mm]	Materiał podkładki	n	F_n [kN]	S_{Fn} [kN]	t	$F_{n \min}$ [kN]
19	aluminium	10	3,87	0,512	4,69	1,47
16	stal	12	3,75	0,340	4,50	2,22
19	stal	21	4,20	0,381	4,04	2,66
22	stal	15	4,79	0,400	4,29	3,07

wkręty

WNIOSKI Z BADAŃ

Zniszczenie modeli połączeń pośrednich na zaczepy z blach wykonanych w sposób niezalecany polegało na **wyczerpaniu nośności blach łączących**.

Osiągnięcie nośności granicznej analizowanych połączeń pośrednich jest poprzedzone dużymi deformacjami trwałymi w ich obrębie, co **nie jest dopuszczalne ze względów użytkowych**.

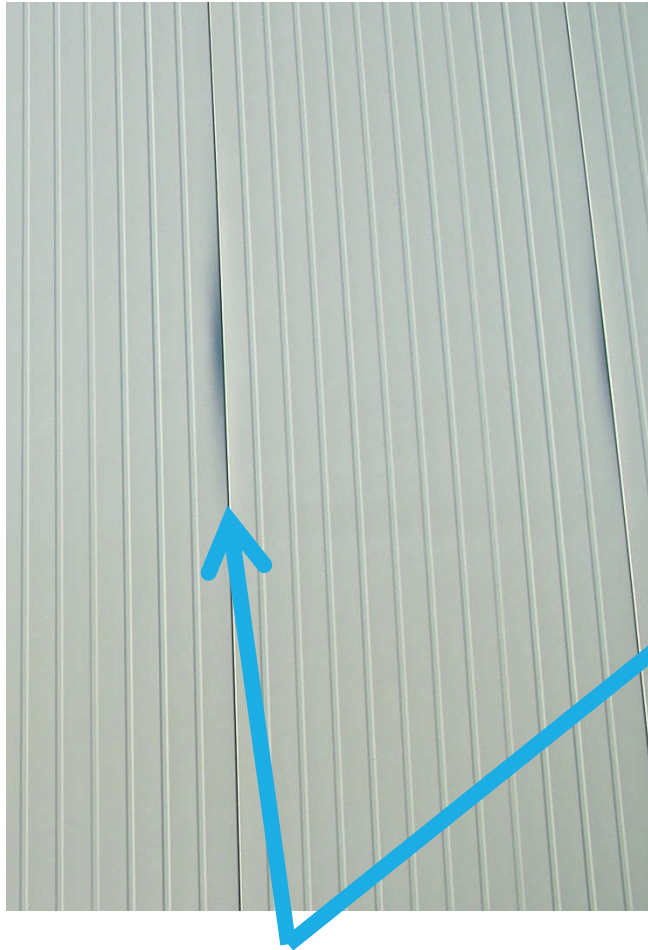
Ścieżki równowagi statycznej bezpośrednich połączeń na śruby zamkowe i wkręty w sytuacji odrywania paneli warstwowych lekkiej obudowy od konstrukcji wsporczych są **wyraźnie nieliniowe** i wykazują duży udział **odkształceń trwałych**.

Wyniki badań połączeń zarówno bezpośrednich, jak i pośrednich z dwoma połączeniami wskazują na występowanie nierównomiernego rozkładu obciążenia na połączenia. Uzasadnia to celowość stosowania w takim przypadku współczynników niejednoczesności pracy połączeń proponowanych w normie PN-B-03230:1984

BADANIA POŁĄCZEŃ ZAKRYTYCH



BADANIA POŁĄCZEŃ ZAKRYTYCH



lokalne deformacje, pofalowania
i wgniecenia krawędzi

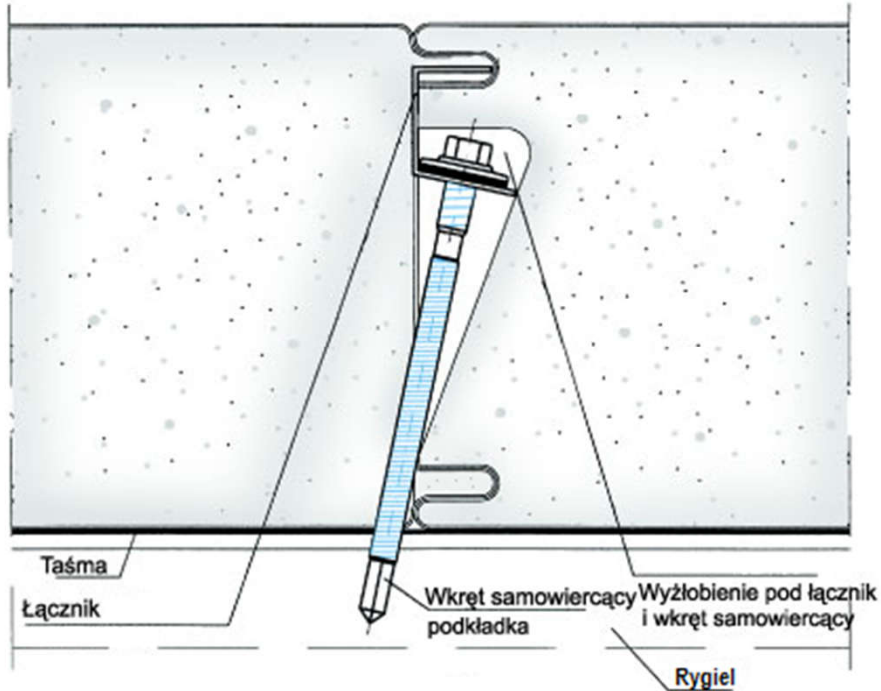
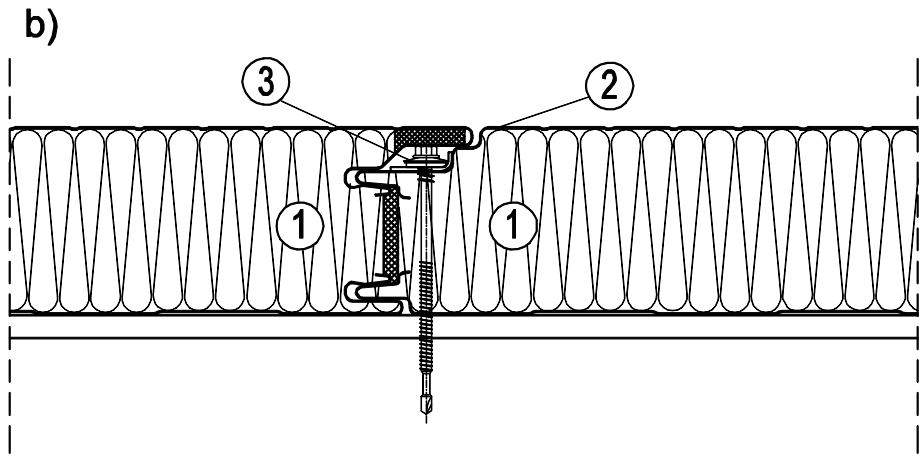
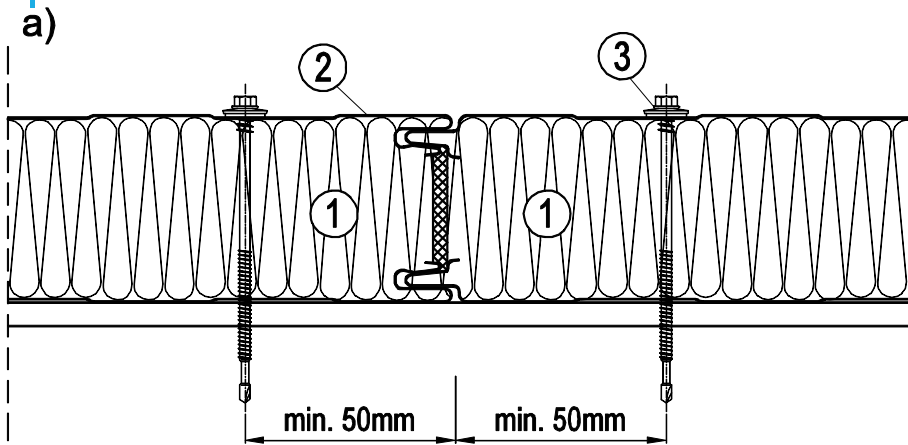


próba wzmocnienia
dodatkowymi wkrętami

PROGRAM BADAŃ

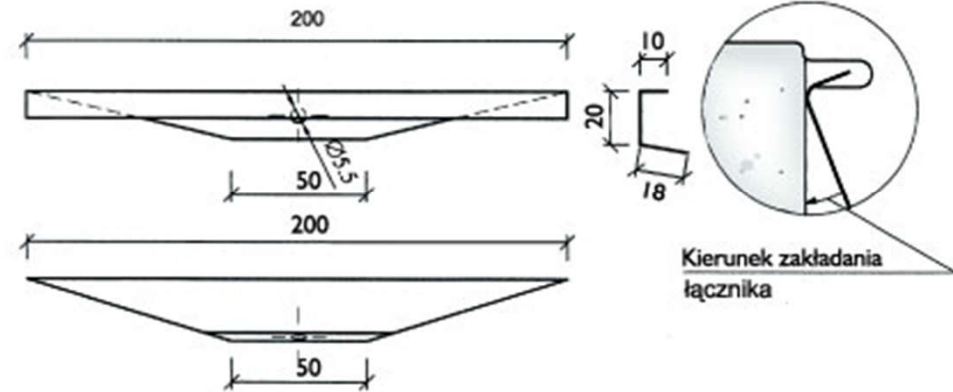
1. Badania nośności połączenia,
2. Określenie właściwości rdzenia:
 - gęstość,
 - wytrzymałość na ściskanie,
 - wytrzymałość na rozciąganie,
 - wytrzymałość na ścinanie,
 - moduł sprężystości podłużnej,
 - moduł sprężystości poprzecznej,
3. Badania materiałowe okładzin paneli warstwowych.

SPOSOBY ŁĄCZENIA PANELI Z RYGLAMI

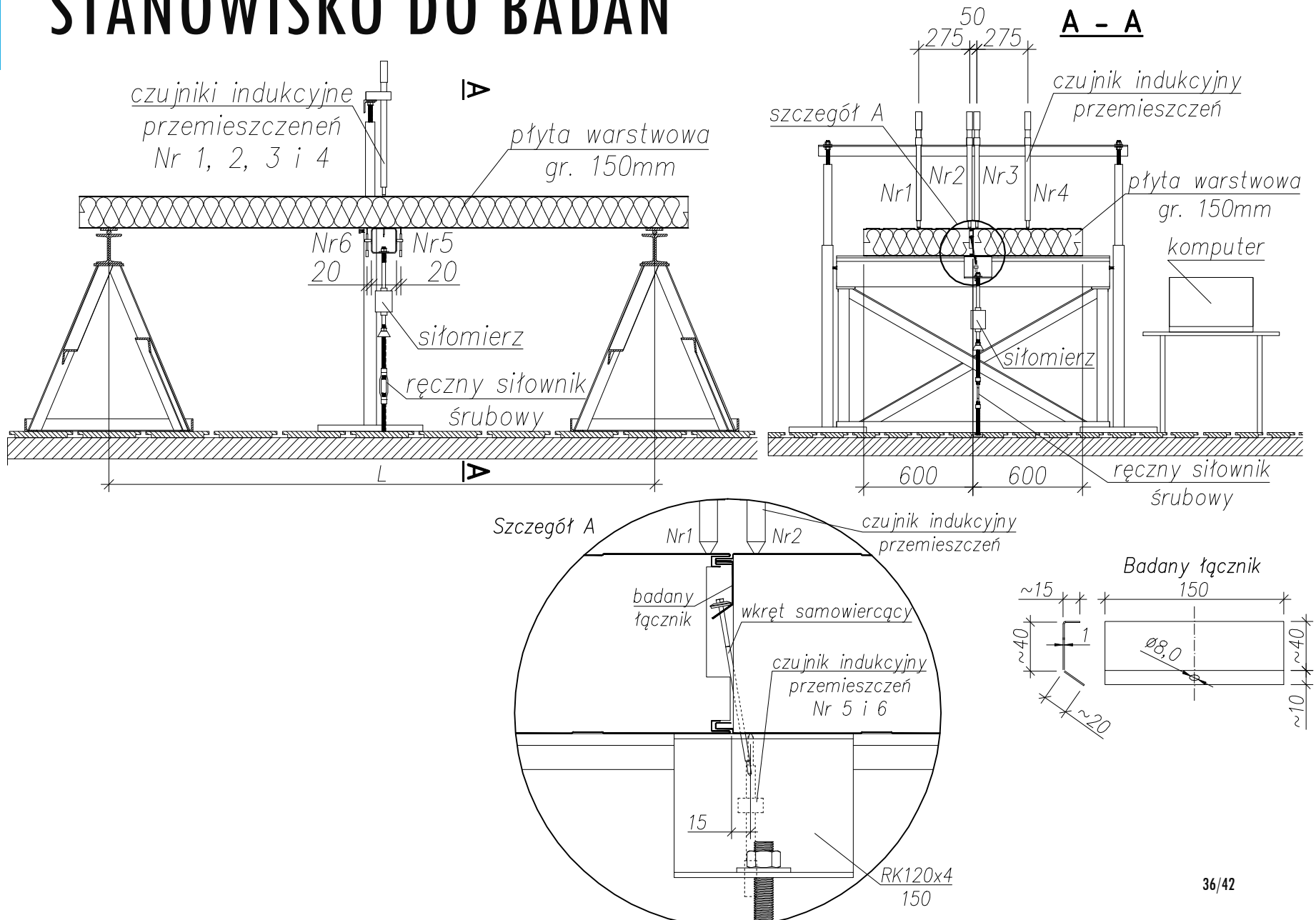


Łącznik

Grubość blachy - 1.00 mm



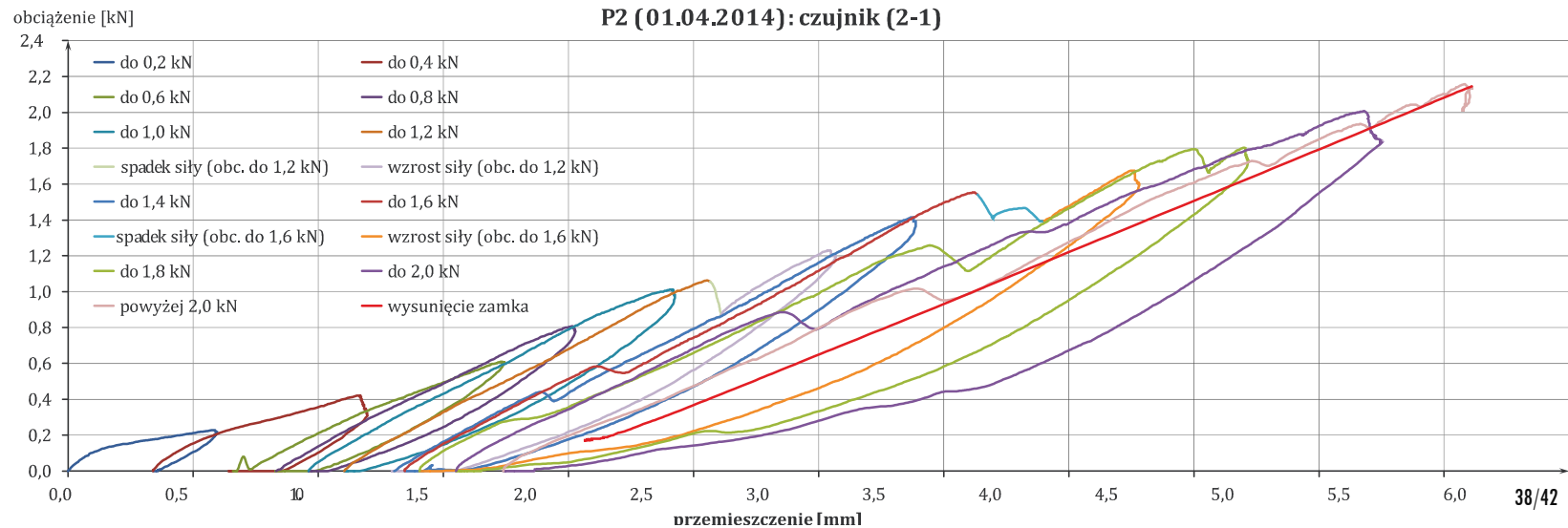
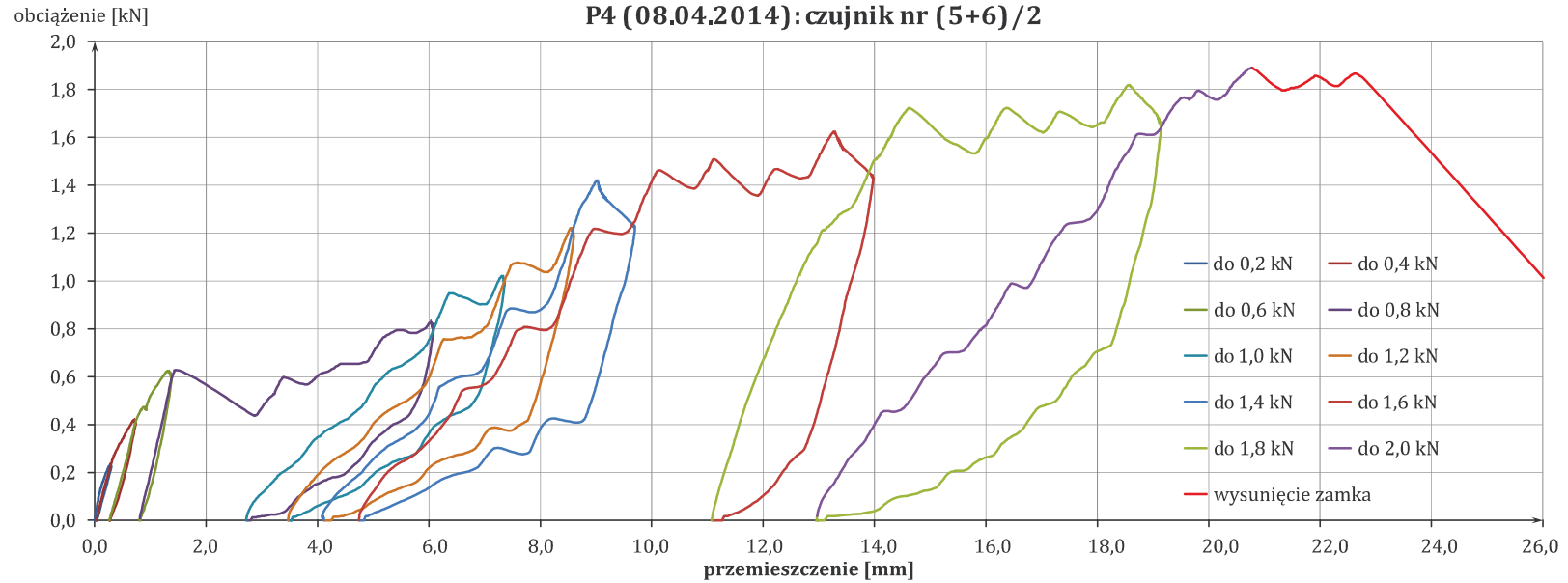
STANOWISKO DO BADAŃ



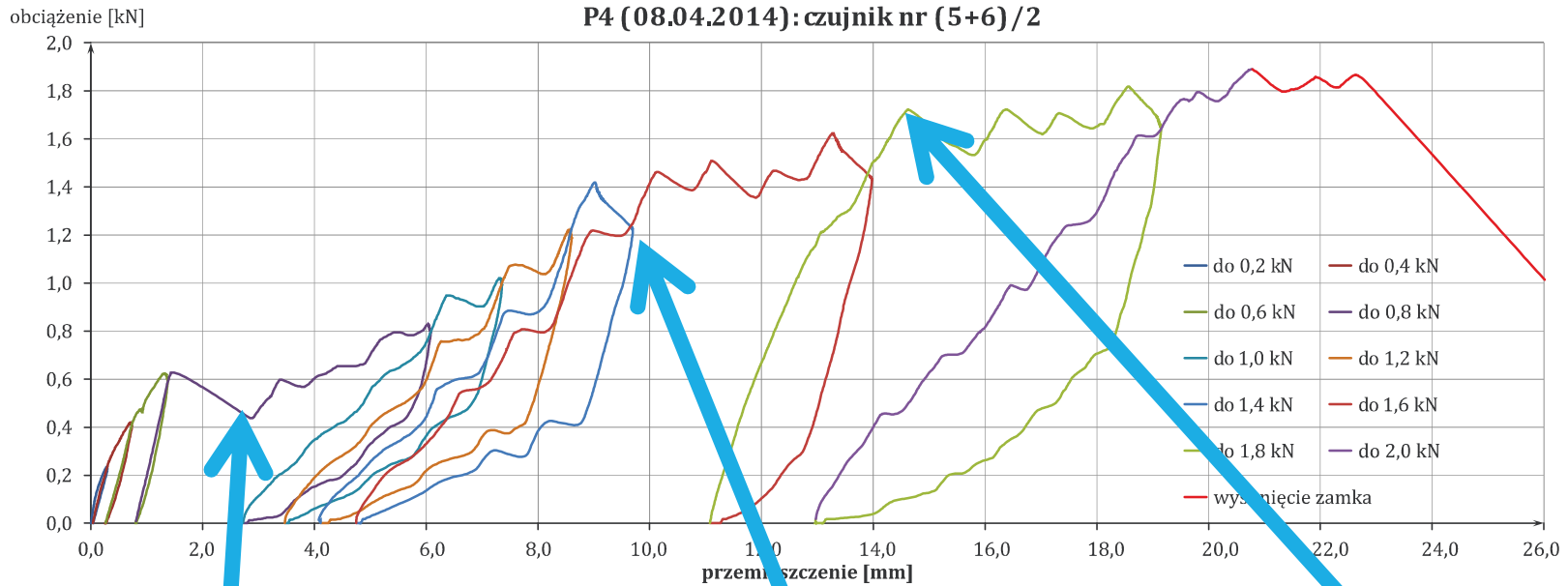
WIDOK STANOWISKA



ŚCIEŻKI RÓWNOWAGI



ŚCIEŻKI RÓWNOWAGI



P2 (01.04.2014): czujnik (2-1)

obciążenie [kN]

przemieszczenie [mm]

Faza 1:

- plastyczna deformacja podkładki pod łbem,
- trwała szczelina między płytą a ryglem.

Faza 2:

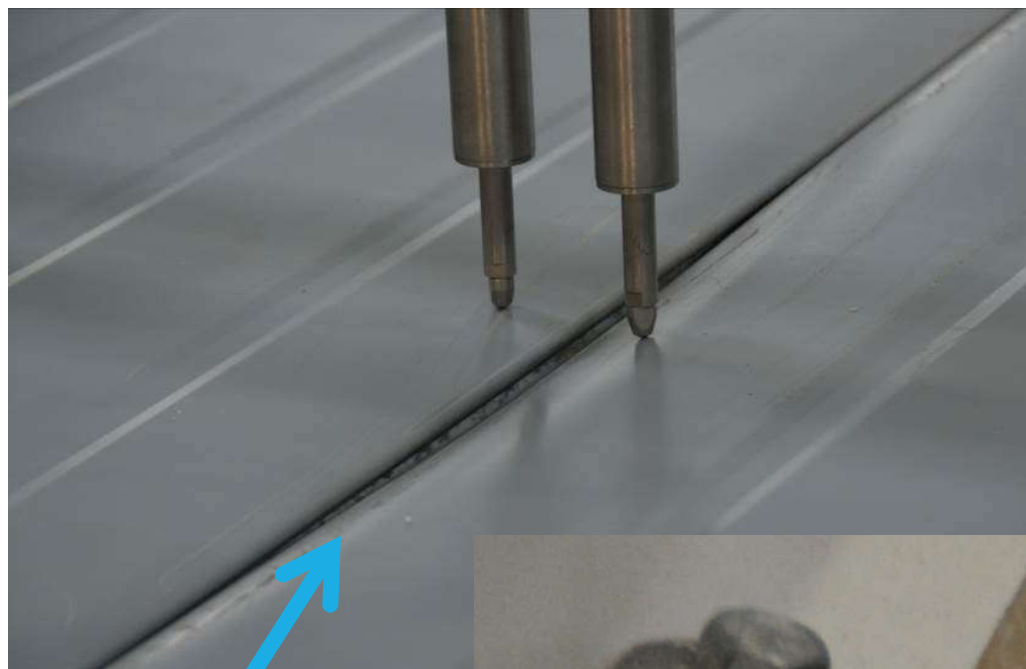
- otwarcie zamka,
- kilkukrotne powiększenie szczeliny.

Faza 2:

- wysunięcie łącznika,
- zniszczenie (separacja elementów).



WIDOK POŁĄCZENIA

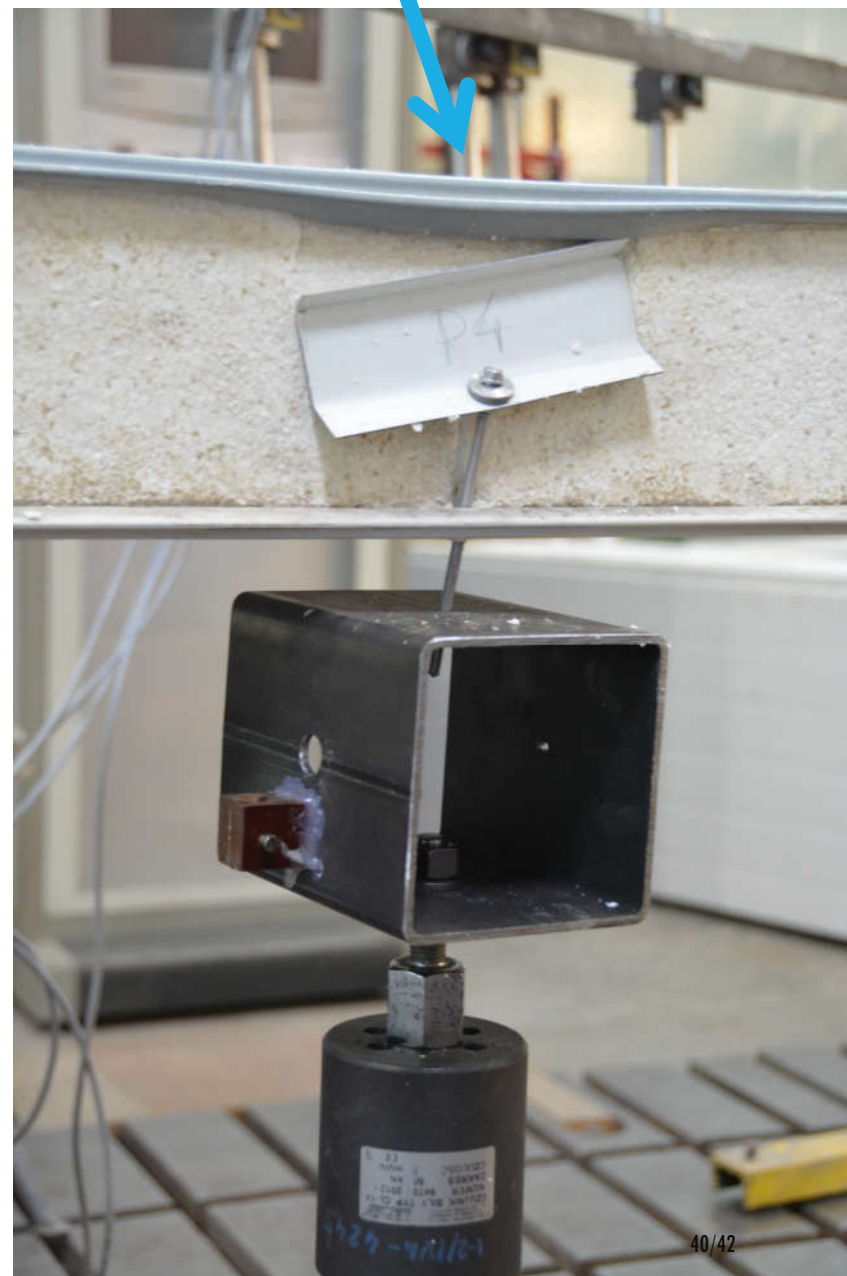


Faza 2

Faza 1



Faza 3



SZCZEGÓŁY WADLIWEGO ZAMKA



PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Nośność połączenia determinuje stan graniczny użytkowości. Wpływ na to mają zarówno wkręty, jak i (błędnie wykonany) zamek.
2. Wątpliwości budzi celowość stosowania jakiejkolwiek podkładki z uszczelką neoprenową w tego typu połączeniach.
3. Powstałe deformacje były efektem nałożenia się kilku czynników. Były to:
 - błędy producenta – płyty i łączniki niezgodne z aprobatami ITB,
 - błędy na etapie projektowania – brak projektu elewacji.
4. Analiza statyczno-wytrzymałościowa wykazała konieczność zastosowania 2 łączników na szerokości płyty, a w strefach przykrawędziowych 3 łączników.