

Nośność płyt kanałowych na ścinanie w konstrukcjach typu Slim Floor

Dr inż. Przemysław Bodzak, Politechnika Łódzka

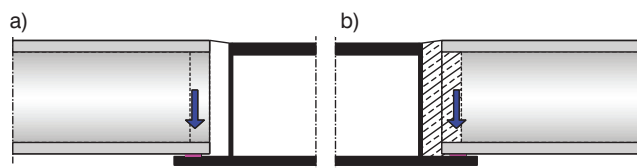
1. Wprowadzenie

Sprężone płyty kanałowe są bardzo popularnym wyrobem stosowanym z powodzeniem w obiektach zarówno użyteczności publicznej, jak i mieszkaniowych. Elementy te z założenia nie mają zbrojenia poprzecznego i z tego względu nośność na ścinanie jest jednym z niewrażliwych czynników decydujących o ich bezpieczeństwie. Na podstawie analizy dotychczasowych badań stwierdzono [1, 2], że nośność na ścinanie sprężonych płyt kanałowych jest istotnie mniejsza, jeżeli elementy te ułożone są na podporach podatnych, tj. belkach stalowych lub żelbetonowych, czyli elementach ulegających deformacji w wyniku zginania. Przeciwnie takiego sposobu podparcia jest zastosowanie podpór niepodatnych w postaci ścian betonowych lub murowanych. Te obserwacje dotyczące wpływu sposobu podparcia stropów wykonanych z płyt kanałowych znalazły swoje odzwierciedlenie w zapisach normy dotyczącej tych elementów [3], w której wskazano na konieczność uwzględniania dwukierunkowego ścinania w przypadku ułożenia płyt właśnie na podporach podatnych. Szczególnym przypadkiem takiej konstrukcji są stropy typu Slim Floor, w których płyty HC opierają się na dolnych półkach niskiego profilu stalowego. Rozwiązanie takie staje się obecnie coraz popularniejsze, ponieważ w przestrzeni poniżej dolnej płaszczyzny płyt nie ma elementów konstrukcyjnych o znacznych gabarytach, co umożliwia swobodne prowadzenie instalacji i w konsekwencji zmniejszenie wysokości poszczególnych kondygnacji obiektu.

Powszechnie używane są dwa podstawowe typy belek kapeluszowych:

- klasyczne ze środkami równoległymi – WQ,
- zmodyfikowane ze środkami skośnymi – Deltabeam.

Zasadniczą różnicą pomiędzy tymi dwoma typami belek jest możliwość uwzględnienia na etapie projektowania innego modelu pracy elementu w zakresie przekazywania obciążenia ze stropu na belkę. W przypadku typowych belek kapeluszowych o równoległych środkach stropu opierają się bezpośrednio na wspornikach pasa dolnego zarówno w fazie montażu, jak i eksploatacji, co oczywiście wywołuje dodatkowe zginanie tej części przekroju



Rys. 1. Schematy oparcia płyt na belkach WQ

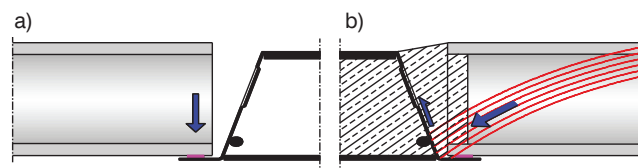
pasa. Sama płyta mimo zastosowania tzw. podparcia podatnego na belce stalowej jest oczywiście podparta bezpośrednio wzdłuż dolnej krawędzi zgodnie z klasycznymi założeniami projektowymi – rysunek 1.

Odmienne założenia projektowe dotyczą belek typu Deltabeam. Według producenta tych elementów, w zależności od fazy pracy, występują inne warunki podparcia płyty stropowej.

Zgodnie z informacjami i wytycznymi zawartymi zarówno w broszurach informacyjnych, jak i aprobacie technicznej AT-15-8053/2014 [4] w obliczeniach belek stropowych Deltabeam:

- w fazie transportu i montażu należy uwzględnić przekrój stalowy samej belki. Obliczenia należy wykonywać, przy założeniu m.in.: bezpośredniego oparcia płyt stropowych na wypustkach pasa dolnego – rysunek 2a;
- w fazie eksploatacji można uwzględnić przekrój zespolony, stalowo-betonowy. Obliczenia należy wykonywać, przy założeniu m.in.: przekazu obciążeń z płyty stropowej poprzez łuk naprężeń ściskających tworzący się w strefie pomiędzy płytą stropową i pochylonym środkiem belek – rysunek 2b; przenoszenie obciążeń w każdej sytuacji zapewnia zbrojenie przechodzące przez otwory w belkach i zakotwione w płytach stropowych.

Zatem na etapie montażu i wykonywania spoinowania lub nadbetonu płyty HC opierają się bezpośrednio na bocznych fragmentach pasa dolnego i podobnie jak w przypadku klasycznych belek kapeluszowych element ten poddany jest dwukierunkowemu zginaniu. W fazie eksploatacji, a także w sytuacji wyjątkowej przekazywanie obciążeń następuje poprzez wzajemne klinowanie belki Deltabeam i płyt kanałowych za pośrednictwem betonu monolitycznego, układanego w przestrzeni pomiędzy środkiem belki a czołem płyt. Jak deklaruje producent tych elementów [5]: „obciążenia przenoszone są na belkę Deltabeam poprzez łuk naprężeń ściskających, działający na pochylony środek (zob. rys. 2b). Przeniesienie obciążenia zostało udowodnione w testach obciążeniowych na belce Deltabeam pozbawionej wypustów pasa dolnego”. W tej sytuacji otwarte pozostaje pytanie: czy tak odmienne warunki podparcia mają wpływ na pracę i wyężenie elementów stropowych, tj. płyt HC?



Rys. 2. Schematy oparcia płyt na belkach Deltabeam

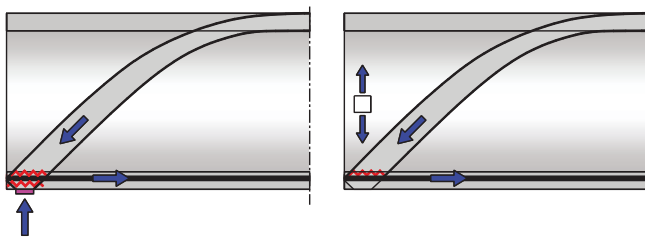
2. Założenia projektowe dla płyt kanałowych

Ogólne wytyczne projektowe podane w normie [3] nie różnicują zasad wymiarowania płyt kanałowych ze względu na typ belki podpierającej. W dokumencie tym zawarto jedynie sformułowanie, że w przypadku podpór sprężystych należy uwzględniać redukcyjny wpływ poprzecznych naprężeń ścinających na nośność na ścinanie. Brak jest jednak jakiegokolwiek procedury obliczeniowej umożliwiającej uwzględnienie tego redukcyjnego wpływu poprzecznych naprężeń ścinających, jak i wyjaśnienia, co należy rozumieć przez poprzeczne naprężenia ścinające. Wyjaśnienie znaleźć można w biuletynie FIB nr 6 [6], który zawiera bardziej szczegółowe informacje dotyczące zasad uwzględniania wpływu poprzecznych naprężeń ścinających. Procedura ta uwzględnia jedynie dwa parametry – typ płyty (kanały okrągłe lub eliptyczne) i typ belki (żelbetowa lub stalowa kapeluszowa). Zgodnie z tymi założeniami nośność płyt kanałowych powinna być jednakowa niezależnie od rodzaju podpierającej belki kapeluszowej, tj. typu WQ czy też Deltabeam. Odwołać się w tym przypadku należy do zasad konstruowania połączeń i kształtowania zbrojenia, a także normy podstawowej [7] dotyczącej konstrukcji żelbetowych i podanych w niej wymagań.

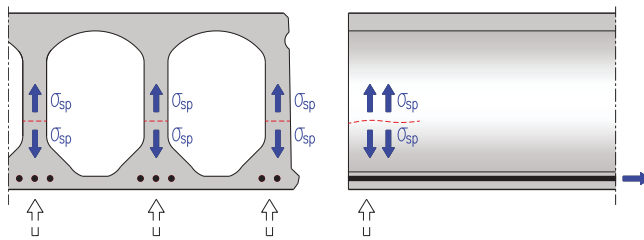
Dla obu typów belki kapeluszowej schemat oparcia, warunki zakotwienia zbrojenia i rozkład sił w węźle podporowym może zostać przeanalizowany wg [7] pkt. 6.5.4 z zastosowaniem metody S-T, tj. węzeł typu ściskanie-rozciąganie ze zbrojeniem w jednym kierunku, w którym zrównoważenie sił działających w zbrojeniu rozciągającym i ukośnym krzyżulcu ścisłanym następuje automatycznie w wyniku bezpośredniego podparcia. Takie klasyczne rozwiązanie konstrukcyjne występuje jedynie w belkach typu WQ, których pas dolny w każdej fazie pracy konstrukcji stanowi podparcie płyty kanałowej – rysunek 3a. W przypadku elementu typu Deltabeam ze względu na odmienne założenia projektowe dla poszczególnych faz pracy konstrukcji rozważyć należy zgodnie z wytycznym producenta dwa warianty przekazywania obciążeń – bezpośredni na wypusty pasa dolnego (faza montażu) oraz zmodyfikowany tj. „poprzez łuk naprężeń ściskających tworzący się w strefie pomiędzy płytą stropową i pochylonym środkiem belek” (faza eksploatacji, w tym sytuacja wyjątkowa np. pożar). W pierwszym wariantcie układ sił działających w węźle podporowym jest zrównoważony automatycznie, podobnie jak to ma miejsce w stropach z belkami WQ. Jednak w drugim wariantcie taka równowaga sił w węźle podporowym nie jest zachowana, a w celu zamknięcia wieloboku sił konieczna jest zmiana schematu z klasycznego, czyli podparcia bezpośredniego wzdłuż dolnej krawędzi na podparcie typu

pośredniego. Przy takim schemacie rzeczywisty punkt podparcia znajduje się powyżej zbrojenia dolnego, co upodabnia ten element do belki podciętej. Generuje to dodatkowe siły rozciągające, które powinny zostać przejęte przez zbrojenie „podwieszające” (wyznaczone wg [7] pkt. 10.9.4.6), co w przypadku prefabrykowanych sprężonych płyt kanałowych jest niemożliwe do wykonania. Kolejną wadą omawianego braku bezpośredniego podparcia płyty kanałowej na pasie dolnym belki Deltabeam jest niemożliwość spełnienia wymagań normy [7] odnośnie doprowadzenia części zbrojenia przęstowego do podpory przy jednoczesnym zapewnieniu jego właściwego zakotwienia.

W omawianej sytuacji również rozkład sił wewnętrznych w żebrach płyt kanałowych wynikający z działania sił powstałych na skutek sprężenia wymaga dodatkowej analizy. Dotyczy to szczególnie generacji naprężeń rozciągających w środkach żeber w wyniku przekazywania siły sprężającej na beton, co już czasami podczas produkcji może prowadzić do powstania uszkodzeń elementów w postaci rys poziomych oddzielających górną i dolną część płyty – rysunek 4 lub mikrorysy osłabiających element. Te dodatkowe naprężenia rozciągające są w znacznym stopniu eliminowane przy typowym montażu płyt kanałowych, czyli podparciu elementu wzdłuż dolnej krawędzi. Jeżeli jednak nie zrealizujemy tego standardowego podparcia, powinniśmy mieć na uwadze, że w czasie eksploatacji mikrorysy niewidoczne w stadium montażu mogą w znacznym stopniu zredukować nośność elementu nie tylko na ścinanie, ale również na zginanie. Należy zatem wskazać, że opisana w krajowej aprobacie [4] możliwość przenoszenia obciążeń na belkę Deltabeam poprzez łuk naprężeń ma z wyżej wymienionych względów zastosowanie jedynie w przypadku płyt pełnych, w których dodatkowe zbrojenie poprzeczne w postaci strzemion lub prętów odgiętych możemy wprowadzić do przekroju. Jednoznacznie zasady konstruowania oparcia płyt na belkach Deltabeam przedstawia aprobata wydana dla tych elementów w Niemczech [8]. Z dokumentu tego wynika jednoznacznie, że w przypadku płyt dowolnego typu uwzględnianie podparcia pośredniego i przenoszenie sił ściskających poprzez łuk naprężeń jest niedopuszczalne bez zaprojektowania dodatkowego zbrojenia podwieszającego. Wyklucza to automatycznie możliwość zastosowania płyt kanałowych w stropach wymagających zapewnienia odporności ogniowej bez wykonania dodatkowego zabezpieczenia ppoż. pasa dolnego poprzez malowanie lub obłożenie materiałem ogniochronnym. W takiej sytuacji belka Deltabeam stanowiąca jeden z elementów stropu może mieć wymaganą odporność ogniową, np. R60, R120, jednak w wyniku redukcji w podwyższonej temperaturze wytrzymałości stali niezabezpieczonego pasa dolnego nie zapewnia ona jednocześnie właściwych warunków podparcia dla płyt kanałowych



Rys. 3. Układ strumieni sił w płytach opartych na belkach WQ i Delta



Rys. 4. Dodatkowe naprężenia rozciągające wywołane sprężeniem

w warunkach pożaru i z tego względu strop będący zespołem elementów nie ma wymaganej odporności ogniowej. Weryfikację powyższych rozważań teoretycznych dotyczących wpływu sposobu podparcia płyty kanałowej, czyli pośrednio typu stalowej belki podpierającej na nośność na ścinanie przeprowadzono na podstawie analizy badań modeli stropów w skali 1:1.

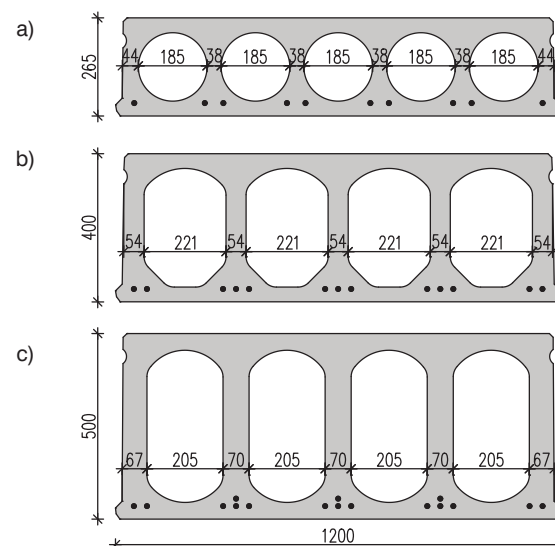
3. Weryfikacja doświadczalna

W latach 1990–2005 w ośrodku VTT Technical Research Center of Finland przeprowadzono kilkanaście badań fragmentów stropów wykonanych w skali naturalnej, składających się z zespołu płyt kanałowych i różnego typu belek podpierających [9], a wnioski sformułowane na podstawie tych badań stanowiły w dużej mierze podstawę zapisów normowych [3] i wytycznych projektowych [6]. Do analizy wpływu sposobu oparcia sprężonych płyt kanałowych na podporach podatnych na nośność płyt HC na ścinanie wybrano ogółem sześć modeli stropów typu Slim Floor z kształtownikami typu WQ oraz Delta i płytami HC o różnej wysokości, tj. 265, 400 oraz 500 mm – tabela 1, rysunek 5. Każdy z modeli zbadanych w VTT Espoo składał się z zespołu $2n$ płyt HC opartych na wewnętrznej belce stalowej typu kapeluszowego oraz zewnętrznych belkach, również stalowych, wykonanych z dwuteowników lub rur prostokątnych – rysunek 6. Rozpiętości stalowych belek kapeluszowych L_B dostosowane były do liczby płyt n ułożonych wzdłuż belki. Również rozpiętości samych płyt kanałowych L_{SL} były różne i dostosowane do wysokości samych płyt HC. Przed badaniem, po ułożeniu płyt kanałowych na kształtownikach stalowych, zawsze wypełniano betonem zamki pomiędzy płytami oraz przestrzenie pomiędzy kształtownikiem kapeluszowym i czołami płyt HC, a w przypadku belek Deltabeam – również wnętrza belek. Należy w tym miejscu podkreślić, że na płytach kanałowych nie wykonywano nadbetonu. Obciążenie każdego z modeli realizowane było w formie obciążenia liniowego przyłożonego do górnej powierzchni płyt i usytuowanego symetrycznie względem osi kształtownika kapeluszowego w odległości L_F od końców płyt HC. Układ obciążenia w tych badaniach był podobny do schematu wymaganego przez PN -EN 1168:2011 [3] w badaniach normowych pojedynczych płyt HC z tą różnicą, że odległość linii obciążenia była większa niż wymagane $2,5d$ w przedmiotowej normie.

Pierwszą parę badań zrealizowano w 1990 roku. Jako podpory środkowe zastosowano odpowiednio belki Delta 265 oraz WQ 265 – rysunek 7a oraz płyty typu P 27. W badaniach tych wypusty pasa dolnego belek Delta 265, na których oparte były płyty HC wykonano jako elementy podatne, tj. razem z ukośnym średnikiem z jednego fragmentu blachy o grubości 6 mm. Druga para elementów została zbadana w latach 1992 i 1999, a do jej wykonania zastosowano płyty HC typu P 40 i belki Delta 400 oraz WQ 400 – rysunek 7 b. W przypadku belki Delta 400 podobnie jak to miało miejsce w belce Delta 265 wypusty pasa dolnego wykonano również jako elementy podatne, tj. razem z ukośnym średnikiem z jednego fragmentu blachy o grubości 6 mm. Ostatnia grupa analizowanych badań zrealizowana została w 2005 r. i dotyczyła stropów, w których użyto płyt HC typu P 50 ($h = 500$ mm) – rysunek 7c, z wypełnieniem z betonu monolitycznego na odcinku 400 mm w każdym kanale. Wszystkie modele stropów, uległy destrukcji w wyniku zniszczenia na ścinanie skrajnego zębra jednej z płyt HC, znajdującej się

Tabela 1. Podstawowe informacje dotyczące płyt HC

Typ	Wysokość	sploty	$s_{p, max}$	Uwagi
P 27	265	10 Ø12,5	1100	
P 40	400	13 Ø12,5	1100	
P 50	500	16 Ø12,5	1050	Delta 500
P 50	500	16 Ø12,5	1100	WQ 500

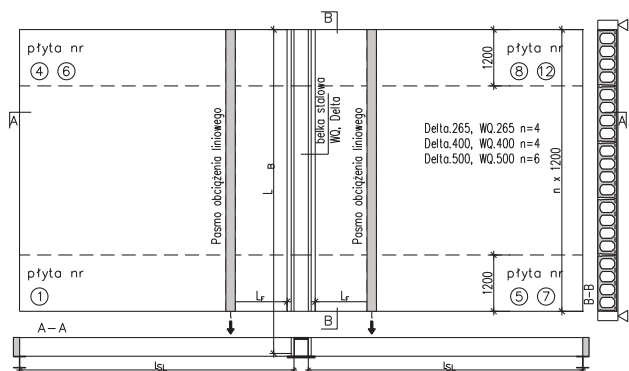


Rys. 5. Przekroje płyt kanałowych a) P 27, b) P 40, c) P 50

na krawędzi tarczy stropu (nr 1, 4, 5, 8 bądź nr 1, 6, 7, 12 – por. rysunek 6). W żadnym przypadku nie stwierdzono oznak wyczerpania nośności belek podpierających, gdyż nie nastąpiło uplastycznienie stali w kształtowniku. W ramach badań uzupełniających wykonano dodatkowe kontrolne testy na ścinanie na pojedynczych, nieszkodzonych płytach HC, wyjętych po testach podstawowych z ogólnego modelu stropu. Obciążenie w badaniach kontrolnych przykładano do elementu zawsze w odległości L_F od końca płyty, identycznej jak to zostało zastosowane w modelu danego stropu, by możliwe było porównanie nośności na ścinanie przy podparciu podatnym (model stropu) i sztywnym (element wydzielony – badanie kontrolne). Podstawowe informacje dotyczące wszystkich modeli badawczych w tym siły niszczące uzyskane w badaniach modeli stropów ($F_{u, SL}$) oraz płyt świadków ($F_{u, ref}$) przedstawia tabela 2.

4. Analiza wyników badań

Na podstawie przedstawionego w tabeli 2 zestawienia obciążeń niszczących uzyskanych w badaniu modeli stropów i płyt świadków można stwierdzić, że ubytek nośności dochodził nawet do 60% ($F_{u, SL}/F_{u, Ref} = 0,4$), jak to miało miejsce w modelu Delta 265. Dla analogicznego modelu wykonanego z belkami WQ ubytek nośności był zdecydowanie mniejszy i wyniósł 28% ($F_{u, SL}/F_{u, Ref} = 0,72$). Należy przy tym podkreślić, że wyznaczona redukcja nośności wynika z bezpośredniego porównania rzeczywistych sił niszczących uzyskanych w badaniach modeli i płyt świadków. Z tego względu nie porównywano bezpośrednio pomiędzy sobą sił niszczących uzyskanych w badaniach całych modeli stropów np. Delta 265 i WQ 265, a jedynie pośrednio poprzez porównanie nośności sprawdzonej, wyznaczonej w odniesieniu do rzeczywistej nośności



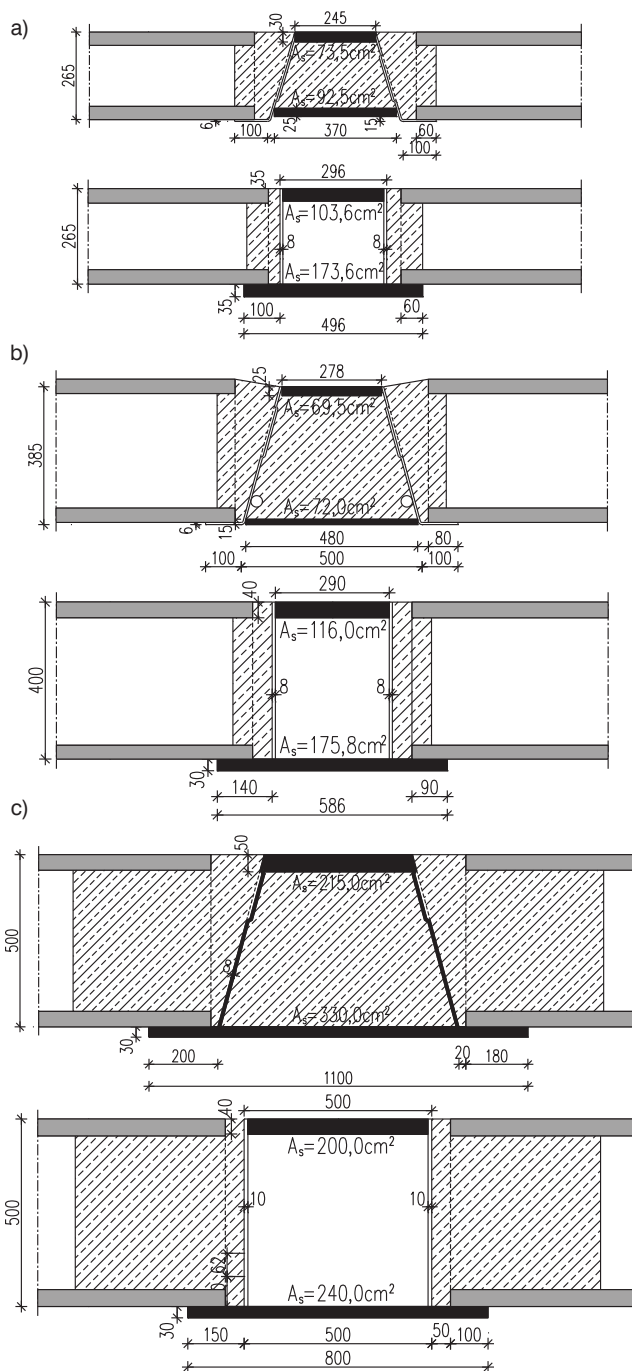
Rys. 6. Schemat modeli stropów zbadanych w VTT Espoo

na ścinanie wyznaczonej w badaniu referencyjnym. Główną konkluzją, którą można by przedstawić po przeprowadzeniu bezpośredniego porównania sił niszczących uzyskanych w badaniach modeli i płyt świadków, jest stwierdzenie, że belki Deltabeam (DB) dla stropów o większych wysokościach (400 mm) są równoważne typowym belkom kapeluszowym o średnicach równoległych (WQ), a dla stropów z płytami P 50 zdecydowanie lepszym rozwiązaniem. Jedynie dla małych wysokości płyt HC ($h = 265$ mm) typowe belki kapeluszowe wydają się właściwsze, gdyż nie obserwujemy w tym przypadku aż tak znacznego ubytku nośności na ścinanie jak stwierdzony w modelu z belkami Deltabeam – patrz rysunek 8.

Analiza dostępnych materiałów (część wyników jest utajniona na wniosek firm zlecających badania) pozwoliła na przeprowadzenie porównania zarówno geometrii elementów jak i parametrów wytrzymałościowych materiałów zastosowanych w badaniach i na tej podstawie dokonanie bardziej miarodajnej oceny wpływu typu belki podpierającej. W przypadku modeli wykonanych przy użyciu płyt o wysokości 265 mm nie było istotnych różnic w geometrii płyt kanałowych zastosowanych do wykonania obu modeli, a także w zakresie elementów uzupełniających (ewentualne dodatkowe części monolityczne), jak i w sposobie obciążenia. Podobny wniosek dotyczący geometrii płyt kanałowych może być sformułowany w przypadku modeli Delta 400 i WQ 400 z płytami P 40. Jednak w modelu Delta 400 wykonano z betonu o wytrzymałości $f_{c, cube} = 30$ MPa, dodatkowe żebra monolityczne wzdłuż skrajnych płyt ($f_{c, cube} = 78$ MPa), co w rezultacie zwiększyło sumaryczną grubość żebra skrajnego płyty P 40 z 54 mm do 127 mm – rysunek 9. Ponieważ właśnie ten fragment przekroju poprzecznego płyty kanałowej w dużej mierze decyduje o nośności całego modelu [10], by możliwe było bardziej miarodajne porównanie wyników badań, wyznaczono współczynnik korygujący siły niszczące i uwzględniający inne szerokości żebra skrajnego:

$$\eta_{400}^{DB} = \frac{(127 - 54) \frac{30}{78} + 54}{54} = 0,65 \quad (1)$$

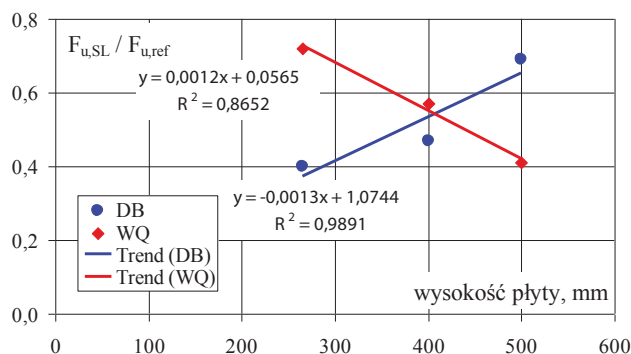
W modelu Delta 400 użyte kształtowniki stalowe były dzielone na dwie części o długości 600 mm, natomiast w badaniu modelu stropu WQ 400 obciążenie było przykładane poprzez odcinki szyn o długości 1200 mm, co ze względu na dużą sztywność giętą szyny ułożonej na podatnej płycie HC powodowało powstanie



Rys. 7. Przekroje poprzeczne stropów z belkami typu Deltabeam oraz WQ

Tabela 2. Podstawowe informacje dotyczące modeli stropów Delta oraz WQ

Model (Belka)	L_B	L_{sl}	n	L_F	a/h	$F_{u, SL}$	$F_{u, Ref}$	$\eta = F_u/F_{u, Ref}$
	m	m		m		[kN]	[kN]	
WQ 265	5,0	6,0	4	1,00	3,77	166,1	230,5	0,72
Delta 265	5,0	6,0	4	1,00	3,77	114,6	283,9	0,40
WQ 400	5,0	7,2	4	1,26	3,15	293,6	516,3	0,57
Delta 400	5,0	8,4	4	1,20	3,00	200,0	419,5	0,48
WQ 500	7,2	10,0	6	1,50	3,00	269,6	650,7	0,41
Delta 500	7,2	10,0	6	1,50	3,00	366,9	529,4	0,69



Rys. 8. Nośność sprowadzona stropów DB oraz WQ w zależności od wysokości płyt HC

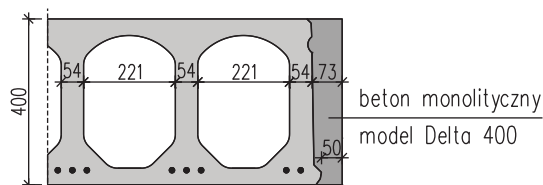
nierównomiernego nacisku. Z tego względu większe obciążenia generowane były na końcach poszczególnych odcinków szyn, czyli w strefie skrajnych żeber poszczególnych płyt HC, co mogło dodatkowo przeciążać skrajne żebra płyt kanałowych i prowadzić do wcześniejszego zniszczenia modelu WQ 400. W modelach WQ 500 oraz Delta 500 sposób realizacji obciążenia był już identyczny – zastosowano dwa odcinki kształtownika stalowego o długości 600 mm. Natomiast w samych modelach stropów można zauważyć istotne różnice m.in. w geometrii elementów, wpływające na ostateczny wynik doświadczenia. Zgodnie z dokumentacją opisującą badania średnia sumaryczna grubość żeber w płytach kanałowych pomiędzy modelami Delta 500 i WQ 500 różniła się nieznacznie, jednak grubości poszczególnych żeber w płytach zastosowanych do wykonania modelu WQ 500 różniły się znacząco i zdecydowanie odbiegały od wymiarów projektowych. Bazując na dokumentacji fotograficznej oceniono (na podstawie analizy proporcji pomiędzy poszczególnymi fragmentami przekroju poprzecznego), że w przypadku płyt zastosowanych do wykonania modelu WQ 500 skrajne żebra płyt P50 mogły mieć grubość wynoszącą tylko 43 mm, tj. mniejszą od nominalnej nawet o 24 mm – rysunek 10. Z tego względu przyjmując, że nośność na ścinanie danego fragmentu konstrukcji jest wprost proporcjonalna do grubości żebra otrzymano odpowiedni współczynnik korygujący:

$$\eta_{500}^{WQ} = \frac{67}{43} = 1,56 \quad (2)$$

Należy w tym miejscu zauważyć, że zgodnie z wymaganiami przedstawionymi w normie dotyczącej płyt kanałowych [3] tak duże różnice w grubościach poszczególnych żeber powinny zdyskwalifikować te elementy, ponieważ dopuszczalna odchyłka w szerokości pojedynczego żebra nie powinna przekraczać 10 mm *in minus*.

Kolejnymi czynnikami wpływającymi na zmniejszoną nośność stropu w modelu WQ 500 w porównaniu z modelem Delta 500 były:

- wadliwe, tj. niepełne wypełnienie kanałów – rys. 11a,



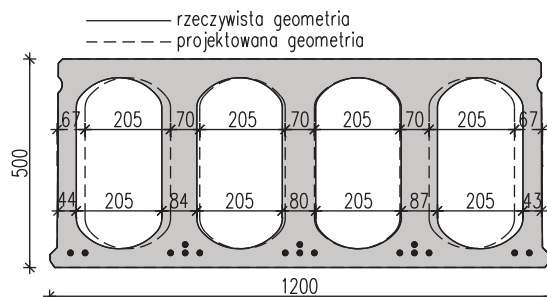
Rys. 9. Fragment krawędzi stropu – model Delta 400

- brak podparcia krawędziowych żeber skrajnych płyt HC (szerokości szczeliny δ wynosiła od 1,3 mm do 5,5 mm) – rysunek 11b. Te dwa kolejne czynniki spowodowały obniżenie nośności płyt HC na ścinanie w modelu WQ 500 w porównaniu z modelem Delta 500, które można szacować na dodatkowe 10% do 20%. Ostatecznie zastosowano dodatkowy współczynnik korygujący o wartości 1,15 i sumaryczny wynoszący 1,75. Siły niszczące przed korektą, przyjęte współczynniki korygujące odnoszące się do poszczególnych modeli oraz wynikające z tych korekt nośności stropów w porównaniu z płytami referencyjnymi przedstawiono w tabeli 3.

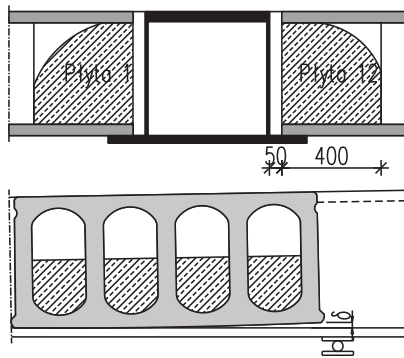
Graficznie zależności pomiędzy wysokością płyt HC a nośnością skorygowaną w odniesieniu do płyt referencyjnych przedstawiono na rysunku 12, natomiast na rysunku 13 zależność pomiędzy grubością pasa dolnego belki stalowej i sprowadzoną, skorygowaną siłą niszczącą wyznaczoną dla obu modeli stropów. W takim porównaniu jednoznacznie widoczny jest wpływ sposobu podparcia płyt kanałowych na ich nośność na ścinanie. Oczywiście w związku z podparciem płyt kanałowych na elementach podatnych siła niszcząca jest zawsze o minimum 30% mniejsza niż w analogicznym przypadku przy podparciu sztywnym. Jednak ten ubytek nośności zależy dodatkowo od warunków podparcia na elemencie podatnym. Ułożenie płyt na cienkich blachach o grubości 6 mm prowadzi w wyniku podatności tych elementów do zmiany schematu pracy elementu i podwieszenia płyty poprzez zabetonowane kanały oraz zaklinowania na ukośnym średniku.

Brak poprawnych, klasycznych warunków podparcia dolnej krawędzi płyty skutkuje radykalnym ubytkiem nośności wynoszącym ponad 60%, jak to ma miejsce w modelach Delta 265 oraz Delta 400. Należy zauważyć ponadto, że w dopiero w modelu Delta 500, gdy grubość pasa dolnego odmiennie niż to miało miejsce we wcześniejszych badaniach została zwiększona z 6 mm aż 30 mm i dostosowana do grubości tego elementu w modelu WQ 500, wyeliminowano wpływ podparcia pośredniego oraz uzyskano jedynie 31% ubytek nośności, czyli porównywalny do modeli z klasycznymi belkami kapeluszowymi. Przy czym w modelu Delta 500 głębokość oparcia płyty na pasie dolnym była zdecydowanie większa (180 mm) niż w analogicznym modelu WQ 500 (100 mm), a także sam pas był zdecydowanie bardziej rozbudowany (Delta 500 – $A_s = 330 \text{ cm}^2$; WQ 500 – $A_s = 240 \text{ cm}^2$). Zwiększało to sztywność zarówno pasa w kierunku poprzecznym przy oparciu płyt HC jak i całej belki Deltabeam.

Nie można, zatem mówić o „przenoszeniu sił przez łuk naprężeń”, gdyż rozwiązanie tutaj zastosowane jest po prostu kopią rozwiązań



Rys. 10. Rzeczywista geometria płyty P 50 – model WQ 500



Rys. 11. Model WQ 500 wady wykonawcze

Tabela 3. Wyniki badań modeli stropów Delta oraz WQ z uwzględnieniem korekt

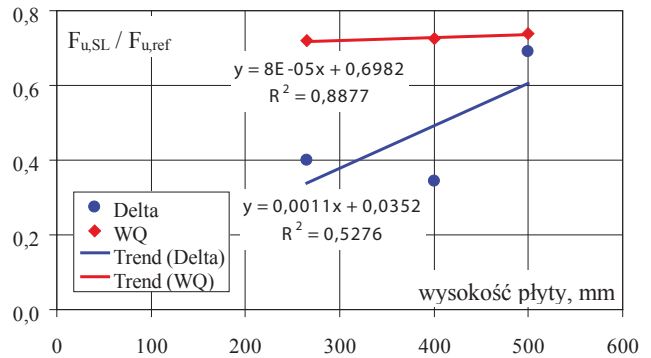
Model	$F_{u,SL}$ kN	$F_{u,Ref}$ kN	η_{cor}	$F_{u,cor}$ kN	$F_{u,cor}/F_{u,Ref}$
WQ 265	166,1	230,5	1	230,5	0,72
Delta 265	114,6	283,9	1	283,9	0,40
WQ 400	293,6	516,3	1,15	337,6	0,65
Delta 400	200,0	419,5	0,65	130,0	0,32
WQ 500	269,6	650,7	1,75	471,8	0,73
Delta 500	366,9	529,4	1	529,4	0,69

stosowanych w typowych stalowych belkach kapeluszowych i tylko dzięki takiej modyfikacji uzyskano większe siły niszczące, niż we wcześniejszych modelach.

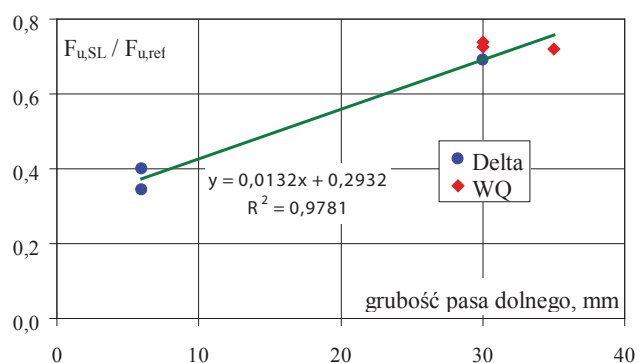
5. Podsumowanie

Przeprowadzona na podstawie wyników badań modeli stropów typu Slim Floor analiza nośności płyt kanałowych ułożonych na podporach podatnych w postaci belek stalowych typu WQ oraz Deltabeam wykazała, iż:

- nośność na ścinanie sprężonych płyt kanałowych na podporach podatnych jest w dużej mierze powiązana z warunkami podparcia płyty na kształtowniku stalowym,
- bezpośrednie podparcie dolnej krawędzi płyty HC na stalowym pasie dolnym o dużej sztywności (belki typu WQ) powoduje zmniejszenie nośności na ścinanie płyt, o około 30% w odniesieniu do podpory niepodatnej,
- pośrednie podparcie płyty poprzez wypełnienie betonem łączy pomiędzy czołem płyty i skośnym środkiem belki typu Deltabeam i „przenoszenie sił przez łuk naprężeń” powoduje dwukrotnie większe zmniejszenie nośności płyt HC, czyli aż o 60% w odniesieniu do podpory niepodatnej,
- wyeliminowanie tego niekorzystnego zjawiska możliwe jest jedynie poprzez zastosowanie sztywnego pasa dolnego w belkach Deltabeam i bezpośrednie podparcie na nim płyt HC, co jest technicznie równoważne elementom typu WQ,
- w sytuacji wyjątkowej, np. pożaru, belki typu Deltabeam bez zastosowania dodatkowych zabezpieczeń ppoż. nie zapewniają właściwego podparcia dla sprężonych płyt kanałowych i tym samym odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa konstrukcji,
- zdaniem autora producent elementów typu Deltabeam, jako podmiot wprowadzający te elementy do obrotu, powinien



Rys. 12. Skorygowana nośność sprowadzona stropów w zależności od wysokości płyt HC



Rys. 13. Nośność sprowadzona stropów w zależności od grubości pasa dolnego

jednoznacznie określić warunki podparcia płyt HC na belkach tego typu i podać wynikające z tego tytułu zmniejszenie nośności płyt kanałowych na ścinanie,

- projektant płyt kanałowych ze względu na brak pełnych informacji nie jest w stanie ocenić, jak warunki podparcia na belkach typu Deltabeam wpłyną na nośność na ścinanie płyt HC.

Ze wskazanych powyżej powodów dokładne zasady konstruowania połączeń płyt z belkami Deltabeam przedstawia aproba ta wydana dla tych elementów w Niemczech [8]. Z dokumentu tego wynika jednoznacznie, że ze względu na warunki oparcia płyt na belce Deltabeam zastosowanie płyt kanałowych w stropach wymagających zapewnienia określonej odporności ogniowej jest niemożliwe bez wykonania dodatkowego zabezpieczenia ppoż. poprzez malowanie lub obłożenie pasa dolnego materiałem ogniochronnym.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Pajari M., Koukkari H., Shear resistance of PHC slabs supported on beams I: Tests. J. Struct. Eng., 1998
- [2] Pajari M., Shear resistance of PHC slabs supported on beams II: Analysis. J. Struct. Eng., 1998
- [3] PN-EN 1168+A3 Prefabrykaty z betonu – Płyty kanałowe
- [4] AT-15-8053/2014: Aprobata Techniczna. Stalowe belki stropowe Deltabeam
- [5] Deltabeam Belka zespolona, Broszura Techniczna Wersja: PL 09/2016
- [6] FIB Bulletin no 6 Special design considerations for precast hollow core floors. International Federation for structural Concrete (fib), styczeń 2000
- [7] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu
- [8] Deltabeam Verbundtraeger. Zulassung Z-26.2-49. DIBt Berlin 23.03.2017
- [9] Pajari M., Prestressed hollow core slabs supported on beams. Finnish shear tests on floors in 1990-2006. VTT 2010
- [10] Bodzak P., Wpływ sprężystego podparcia na nośność sprężonych płyt kanałowych, Inżynieria i Budownictwo 12/2016