

Elżbieta SZMIGIERA¹

WPLYW SPOSOBU PRZEKAZYWANIA OBCIĄŻENIA NA NOŚNOŚĆ SŁUPÓW STALOWO-BETONOWYCH

W referacie przedstawiono wyniki badań ściskanych osiowo dwugąłęziowych słupów stalowo-betonowych, złożonych z dwuteowników HEA 160, połączonych przewiązkami o różnym rozstawie. Przestrzeń między kształtownikami została wypełniona betonem. Przeprowadzona analiza dotyczyła wpływu sposobu przekazywania obciążenia na ich nośność i odkształcalność. Wcześniej podobne badania przeprowadzono w odniesieniu do całkowicie obetonowanych słupów zespolonych, których przekrój był złożony z dwuteownika HEA 160. W obu przypadkach, badaniom poddano elementy w naturalnej skali, klasyfikowane jako krępe. Stwierdzono, że w wyniku jednokrotnego obciążania aż do zniszczenia, sposób przekazywania siły na element nie ma znaczącego wpływu na jego nośność. Zmienia natomiast charakter jego zachowania oraz postać zniszczenia, powoduje także zerwanie przyczepności między stalą konstrukcyjną i betonem. Zatem w tym przypadku należy zastosować łączniki w strefie przekazywania obciążenia, zgodnie z zaleceniami EC4. Z badań wynika, że najbardziej niekorzystne jest przekazywanie siły przez samą część betonową przekroju. Zalecanym schematem jest natomiast obciążanie całego przekroju równomiernie lub, jeśli jest to niemożliwe, przez stalowe kształtowniki. Ten ostatni sposób wprowadzania siły jest dodatkowo korzystny ze względu na sprężysto-plastyczny charakter wykresów ścieżek równowagi tych słupów, uzyskany na podstawie pomiarów skróceń. Nośność elementów obciążanych przez kształtowniki, pomimo zerwania przyczepności między stalą i betonem, była znacznie większa niż samych słupów stalowych.

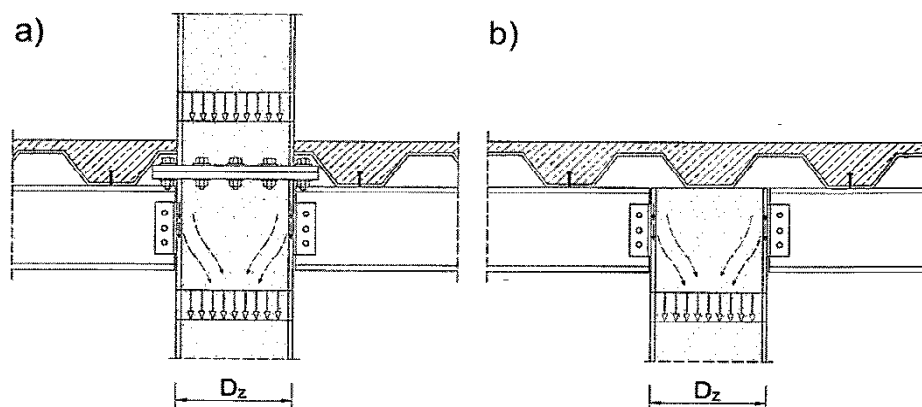
Słowa kluczowe: konstrukcje zespolone, dwugąłęziowe słupy stalowo-betonowe, nośność, przyczepność, odkształcalność, sposób obciążania

¹ Autor do korespondencji: Elżbieta Szmigiera, Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, ul. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, tel: + 48 692426472 e.szmigiera@il.pw.edu.pl

1. Wprowadzenie

W ściskanych elementach zespolonych, których przekrój jest złożony z dwóch materiałów konstrukcyjnych, w zależności od technologii a także precyzji wykonania węzła, obciążenie może działać na słup przez cały zespolony przekrój, albo przez jedną ze składowych części: stalową lub betonową.

Zgodnie z zasadą de Saint-Venanta można by założyć, że rozkład naprężeń w odpowiedniej odległości od obciążonej krawędzi będzie taki sam, niezależnie od sposobu przyłożenia siły ściskającej do przekroju. Należy jednak wziąć pod uwagę, że rozpatrywany przekrój nie jest jednorodny, ale złożony z dwóch różnych materiałów konstrukcyjnych, które współpracują ze sobą w przenoszeniu naprężeń dzięki siłom przyczepności. Trzeba także pamiętać, że na rozkład i wartość sił przyczepności, a także rozkład odkształceń w stali i betonie istotny wpływ ma sposób ukształtowania przekroju zespolonego, a więc także wzajemne usytuowanie obu materiałów konstrukcyjnych. W praktyce, w przypadku na przykład słupów typu CFST (rur stalowych wypełnionych betonem), obciążenia ze stropów w budynkach są najczęściej przekazywane na te słupy przez płaszcz stalowy (rys.1). Rozkład tego obciążenia na wysokości słupa zależy od stopnia zespolenia stalowej rury i wypełniającego ją betonu.



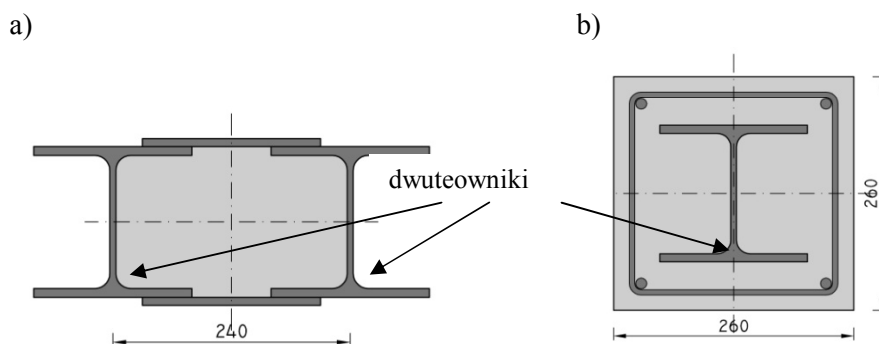
Rys.1. Przykłady przekazywania obciążenia na słupy zespolone typu CFST: a) w stropach międzykondygnacyjnych, b) w stropie nad ostatnią kondygnacją wg [1]

Fig. 1. Examples of force applying on the CFST columns acc. to [1]

Małek i Kupina w [1] przeprowadzili analizę numeryczną, dotyczącą wpływu sposobu przyłożenia siły osiowej na nośność słupów krępych typu CFST. Obliczenia przeprowadzono dla trzech schematów obciążenia, działającego na cały przekrój, wyłącznie na płaszcz stalowy oraz tylko na rdzeń

betonowy, przy założeniu pełnej przyczepności między stalą i betonem, częściowego zespolenia (siły tarcia) oraz braku zespolenia. Analiza numeryczna wykazała, że przy zachowaniu pełnej przyczepności, sposób przyłożenia siły nie ma wpływu na nośność badanych słupów. Natomiast brak lub niepełne zespolenie wpływa znacząco na obniżenie nośności rur wypełnionych betonem, obciążanych jedynie przez jeden z materiałów składowych przekroju. Spadek nośności wynosił od 40 % do 60 %.

Podobnymi zagadnieniami, jak opisane w [1], zajęła się także autorka referatu, przedstawiając wyniki badań doświadczalnych oraz analizę wpływu sposobu obciążania na nośność i odkształcalność dwugąłzowych słupów stalowych wypełnionych betonem. Stalowa część przekroju składała się z kształtowników HEA160, połączonych przewiązkami (rys. 2a). W referacie przedstawiono także porównanie otrzymanych wyników z przeprowadzoną przez autorkę w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku analizą, dotyczącą zachowania się słupów całkowicie obetonowanych, obciążanych przez wystający stalowy dwuteownik (rys.2b).



Rys.2. Przekroje badanych słupów: a) dwugąłzowych, b) całkowicie obetonowanych

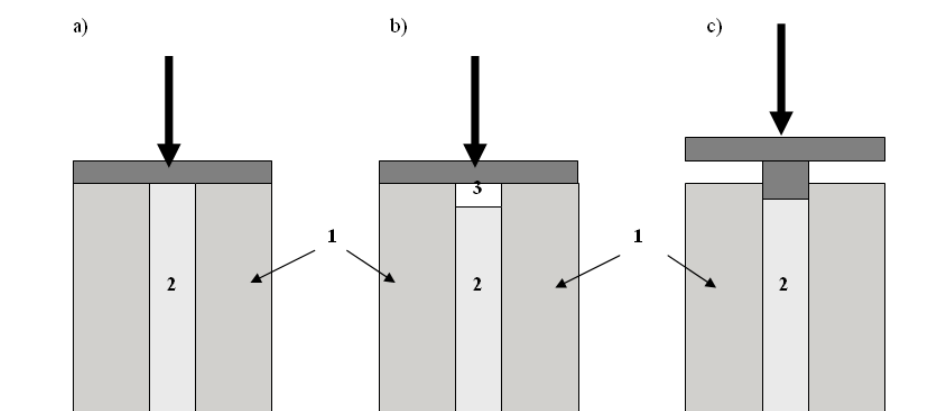
Fig. 2. The cross-sections of the tested columns

2. Opis przeprowadzonych badań

Badania doświadczalne dwugąłzowych słupów stalowo-betonowych przeprowadzono w Laboratorium Instytutu Inżynierii Budowlanej Politechniki Warszawskiej na elementach w skali naturalnej o wysokości 2500 mm. Zastosowanie kształtowników HEA 160 wynikało z faktu, że wcześniej prowadzono analizę pracy całkowicie obetonowanych słupów zespolonych, w których również wykorzystano ten rodzaj dwuteownika [4], [5].

W celu zbadania wpływu sposobu przyłożenia siły na pracę słupów dwugąłzowych, zastosowano trzy schematy obciążeń, przedstawione na rysunku 3.

Elementy poddano działaniu obciążenia doraźnego jednokrotnego w prasie hydraulicznej DB 600 pierwszej klasy dokładności. W dwóch seriach badań, siła działająca na elementy była przyłożona przez wystające stalowe kształtowniki (patrz rys.3b). Natomiast słupy jednej z serii obciążano przez sztywną stalową płytę o grubości równej 60 mm i wymiarach, odpowiadających polu powierzchni części betonowej przekroju słupów (rys. 3c). W ten sposób działająca na element siła przenoszona była jedynie przez betonowy rdzeń. Wykonano także badania serii porównawczej, w której słupy były obciążane równomiernie przez cały przekrój (rys. 3a).



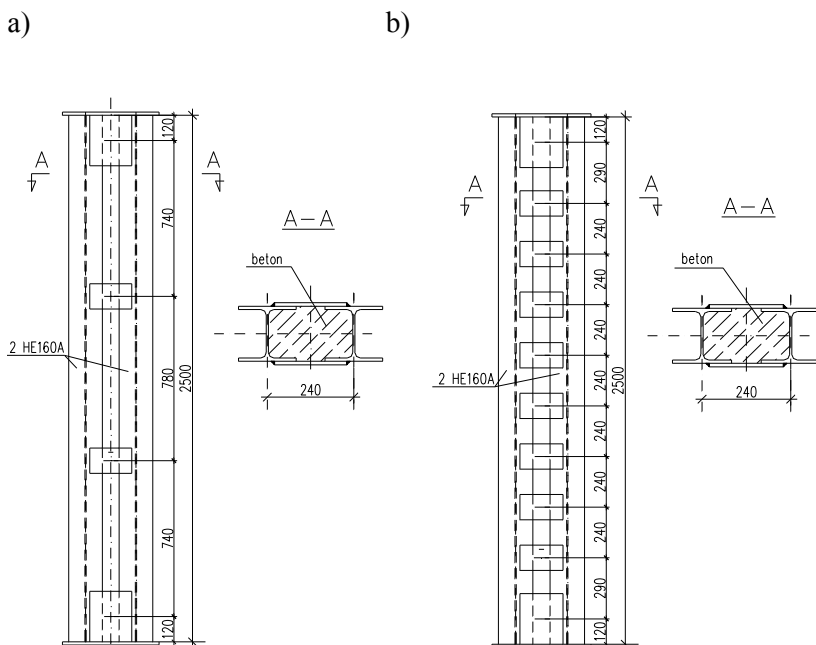
Rys.3. Schematy obciążeń i sposób ich realizacji: a) obciążenie przez cały przekrój, b) obciążenie przez stalowe dwuteowniki, c) obciążenie przez część betonową przekroju;
1 - dwuteowniki, 2 – beton, 3 – pionowy występ dwuteowników równy 50 mm

Fig. 3. Methods of forces applying and their execution: a) through the whole cross-section, b) through the steel shapes, c) through the concrete part of cross-section

Badane słupy dwugałęziowe przedstawiono na rysunku 4.

Słupy obciążane przez kształtowniki badano w dwóch seriach, w których elementy różniły się rozstawem przewiązek. Wszystkie elementy były wypełnione takim samym betonem, którego wytrzymałość na ściskanie (określona podczas przeprowadzania badań) wynosiła 54,4 MPa. Dolna i górna granica plastyczności stali konstrukcyjnej wynosiła, odpowiednio 290 MPa i 293 MPa. W każdej z opisywanych serii zbadano po trzy słupy tego samego typu.

Podczas badań, poza wartością siły niszczącej, mierzono odkształcenia podłużne i poprzeczne stali i betonu w trzech przekrojach: przy górnej krawędzi, w środku wysokości oraz w dolnej części elementu. Pomiarów dokonywano przy pomocy czujników elektrooporowych. Skrócenie pionowe słupów mierzono natomiast czujnikami indukcyjnymi, rozmieszczonymi w czterech punktach na obwodzie słupów.



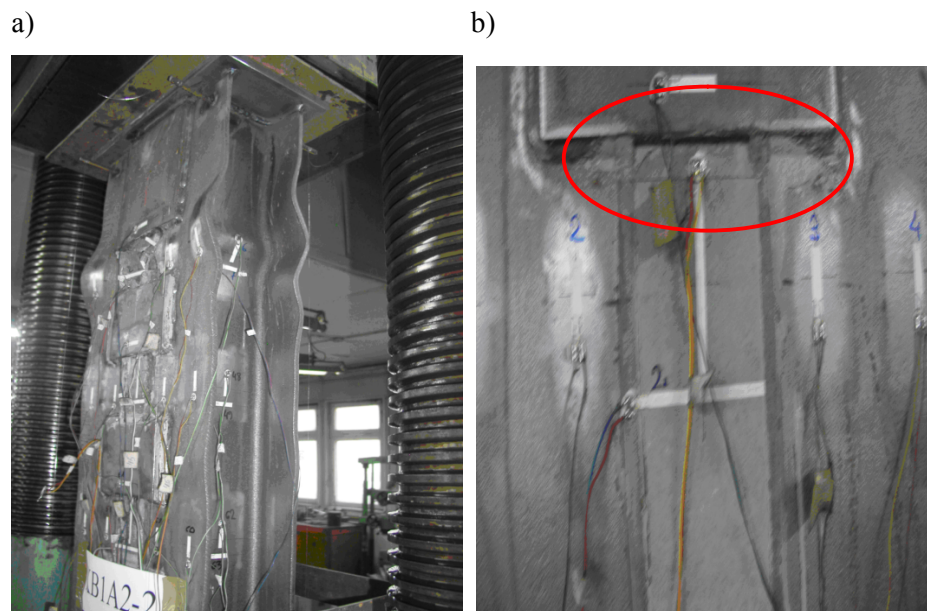
Rys. 4. Badane słupy dwugałęziowe typu: a) B1A1/P, BB1A1 i KB1A1, b) KB1A2.

Fig. 4. The tested two-chord steel columns filled with the concrete, types: a) B1A1/P, BB1A1 and KB1A1, b) KB1A2.

3. Analiza wyników badań

Wyniki badań wpływu sposobu obciążania na nośność dwugałęziowych słupów stalowych wypełnionych betonem umieszczono w tabelicy 1. Natomiast na rysunku 5 przedstawiono postać zniszczenia słupów, obciążanych przez kształtowniki i przez betonowy rdzeń.

Na podstawie wyników badań, przedstawionych w tabelicy 1 można stwierdzić, że obciążanie dwugałęziowych słupów przez wystające kształtowniki nie spowodowało znaczącego obniżenia siły niszczącej, w stosunku do słupów, w których siła była przyłożona do całego przekroju. Jest to szczególnie widoczne w przypadku elementów o większym rozstawie przewiązek. Potwierdza to wcześniejsze spostrzeżenia autorki referatu, że zastosowanie betonu o relatywnie wysokiej wytrzymałości powoduje, że rozstaw przewiązek nie ma wpływu na nośność badanych słupów dwugałęziowych, nawet przy obciążeniu działającym tylko przez kształtowniki. Wyraźne obniżenie wartości siły niszczącej, w stosunku do słupów typu B1A1/P, otrzymano natomiast w elementach, obciążanych jedynie przez betonową część przekroju.



Rys. 5. Postać zniszczenia badanych słupów: a) lokalna utrata stateczności dwuteowników w słupach obciążanych przez kształtowniki typu KB1A2, b) widoczne „wysuwanie się” betonu spod przewiązek w słupach obciążanych przez beton, typu BB1A1

Fig. 5. The form of destruction of tested columns: a) loaded through steel shapes type KB1A2, b) loading through concrete type BB1A1

Tablica 1. Charakterystyki badanych słupów i wyniki ich badań

Table 1. The characteristics of tested columns and the results of tests

Typ słupa	Sposób obciążania	Rozstaw przewiązek [mm]	Siła niszcząca N_n [kN]	Relacja siły [%]	Skrócenie pionowe* [mm]	
					końcowe	przy 60% N_n
1	2	3	4	5	6	7
B1A1/P	przez cały przekrój	780	3600	-	6	2,4
BB1A1	przez beton		2967	18	2,3	1,0
KB1A1	przez kształtownik i		3570	1	40-50	4,0
KB1A2		240	3200	11	35-50	2,5

* skrócenie pionowe słupów mierzono na górnych krawędziach kształtowników

Interesująca wydaje się analiza wielkości pionowego skrócenia poszczególnych typów badanych słupów. Z tablicy 1 wynika, że największemu skróceniu uległy elementy, obciążane przez kształtowniki (kol. 6 i 7), co związane jest ściśle z postacią ich zniszczenia (patrz rys. 5a). Można też zauważyć, że w przypadku słupów typu KB1A2, z mniejszym rozstawem przewiązek, skrócenie jest nieco mniejsze niż w elementach typu KB1A1. Zwiększenie liczby przewiązek nie wpłynęło zatem na wzrost nośności badanych słupów, ale spowodowało zmniejszenie skrócenia tych elementów przy obciążeniu równym sile niszczącej. Należy zauważyć, że chociaż wartości końcowego skrócenia słupów, obciążanych przez kształtowniki, są znacznie większe niż w przypadku pozostałych badanych elementów, to przy sile odpowiadającej wartości użytkowej obciążenia, różnice nie są już tak duże (patrz tab.1, kol.7).

Pomierzone wartości pionowego skrócenia słupów, a szczególnie przebieg zależności siła – skrócenie, są ściśle związane z zaobserwowanym podczas badań zachowaniem elementów pod wpływem wzrastającego obciążenia oraz charakterem ich zniszczenia. Z przeprowadzonych badań wynika bowiem, że chociaż sposób obciążania nie wpłynął istotnie na wartość siły niszczącej, wyraźnie zmienił charakter pracy badanych elementów.

W słupach porównawczych typu B1A1/P, obciążanych przez cały przekrój, do wartości siły równej 3000 kN nie zaobserwowano wyraźnych zmian na powierzchni elementów. Dopiero po przekroczeniu tego obciążenia, następowało zarysowanie betonu wzdłuż krawędzi kształtowników, a także lokalne miażdżenie betonu pomiędzy półkami dwuteowników. Na podstawie odczytów uzyskanych dla elementów tego typu można stwierdzić, że największe wartości odkształceń pionowych w stali zarejestrowano w górnych przekrojach. W tych przekrojach odkształcenia w betonie były nieco mniejsze i rosły wolniej niż w stali. W pozostałych przekrojach pomiarowych (środkowym i dolnym) zaobserwowano większą zgodność przebiegu wykresów odkształceń obu materiałów. Analiza pomiarów wykazała też, że odkształcenia poprzeczne betonu w górnych przekrojach słupów typu B1A1/P były bliskie zeru, natomiast w środku wysokości elementów osiągały większą wartość. Z kolei w górnej części badanych słupów zarejestrowano największe wartości odkształceń poprzecznych stali. Jednocześnie we wszystkich przekrojach były one nieco większe niż w betonie.

Charakter pracy słupów, obciążanych przez stalowe dwuteowniki (KB1A1 i KB1A2) był dla obu rozstawów przewiązek podobny. Wzrastające obciążenie powodowało lokalną utratę stateczności zewnętrznych i wewnętrznych półek obu kształtowników, co można było obserwować jako powstawanie symetrycznego falowania stalowych gałęzi elementu (rys. 5.a). Deformacji kształtowników towarzyszyło zarysowanie i miażdżenie betonu pomiędzy przewiązkami. Początek uszkodzeń obserwowano przy obciążeniu słupa siłą równą około 2600 kN – 2800 kN, co stanowi około 80% siły niszczącej.

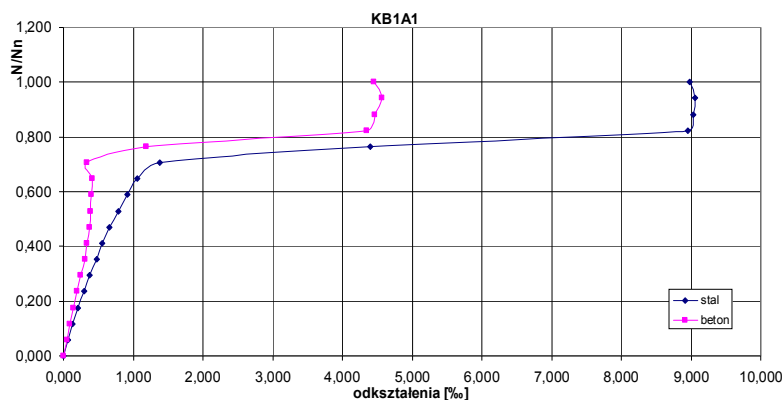
Obserwowane podczas badań zachowanie słupów oraz wykresy odkształceń świadczą o tym, że działająca tylko na dwuteowniki siła powoduje utratę przyczepności między stalą i betonem i stopniowe zsuwanie się górnej części kształtowników wzdłuż betonowego rdzenia. Stąd też dla tych elementów uzyskano największą wartość pionowego skrócenia.

Obciążanie przez rdzeń betonowy elementów typu BB1A1 zmieniło znacząco ich zachowanie, w porównaniu z pozostałymi typami słupów. Spowodowało również największy spadek nośności (patrz tab. 1). Już przy wartości siły równej około 1400 kN obserwowano pierwsze oznaki ścinania pomiędzy betonem i stalą. Wzrost obciążenia do około 2600 kN spowodowało powstanie podłużnych rys wzdłuż krawędzi dwuteowników. Rysy te stawały się coraz dłuższe i szersze, wskazując na zerwanie przyczepności między stalą i betonem. Poniżej przewiązek pojawiała się niewidoczna przedtem warstwa betonu, świadcząca o przemieszczaniu się części betonowej przekroju wzdłuż stalowej części słupa (rys. 5b).

Wpływ sposobu obciążania słupów dwugałęziowych na ich globalną odkształcalność ilustrują najlepiej wykresy przebiegu odkształceń stali i betonu, obliczonych jako średnie wartości z całej długości badanych elementów, przedstawione na rysunkach 6, 7.

Obciążanie elementów przez stalowe kształtowniki spowodowało, że gradient przyrostu odkształceń stali na całej długości obu typów elementów (KB1A1 i KB1A2) był znacznie większy niż w betonie. Przy obciążeniu, równym około 80% siły niszczącej, w słupach z rzadkimi przewiązkami (KB1A1), odkształcenia w stali były już dwukrotnie większe niż w betonie i wynosiły 9‰ (rys. 6). Przy kolejnym wzroście obciążenia, aż do zniszczenia elementu, wartość odkształceń w obu materiałach była prawie stała. W słupach z gęstymi przewiązkami natomiast, przy poziomie obciążenia, odpowiadającym 80% siły niszczącej, wartości odkształceń w stali i betonie wyrównały się i wynosiły 3‰ - 4‰. Następnie aż do zniszczenia słupa, linie wykresów odkształceń obu materiałów prawie pokrywały się ze sobą (rys. 7), a maksymalne wartości tych odkształceń wyniosły niespełna 7‰. Widać zatem, że obciążanie przez kształtowniki słupów o mniejszym rozstawie przewiązek, powoduje znaczne zmniejszenie odkształceń w stali.

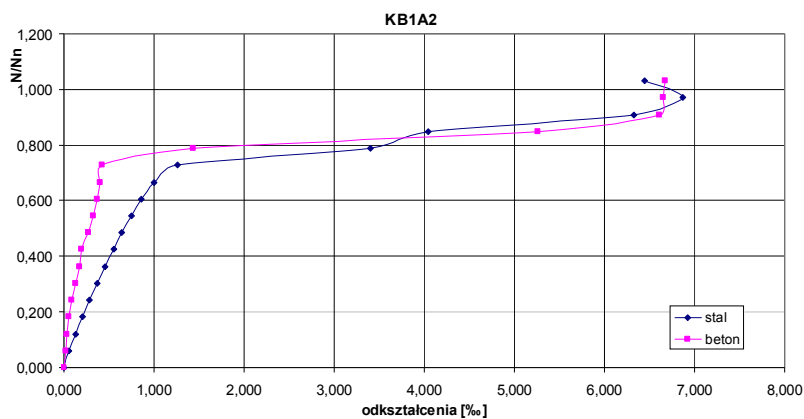
Zdaniem autorki, wykresy na rysunkach 6 i 7 mogą świadczyć o tym, że przy poziomie obciążenia równym 0,8 siły niszczącej, na skutek odkształceń kształtowników, nastąpiło wyrównanie górnych krawędzi dwuteowników i rdzenia betonowego. Od tego momentu słupy były obciążane równomiernie przez cały przekrój.



Rys. 6. Odkształcenia słupów obciążanych przez kształtowniki, rozstaw przewiązek 780 mm

Fig. 6. The strains in columns loaded through steel shapes, distance between battens 780 mm

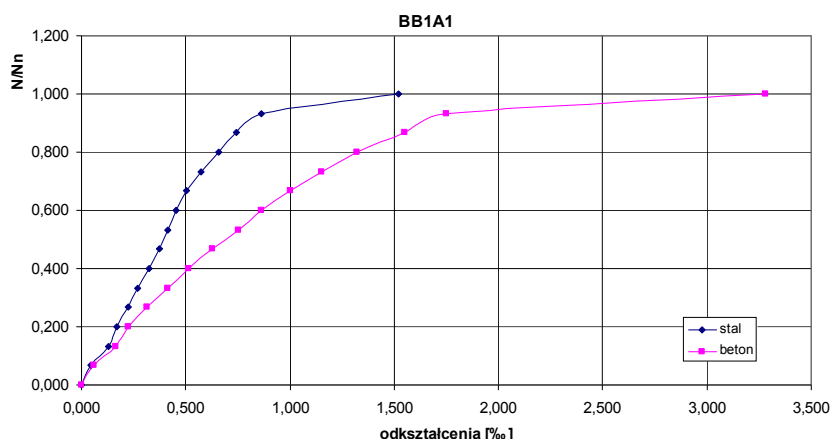
Interesujący jest także przebieg wykresu odkształceń w betonie. Widać wyraźnie, że obciążanie słupa dwugałęzowego przez stalowe kształtowniki powoduje, że odkształcalność betonu ma charakter bardziej zbliżony do materiału sprężysto-plastycznego. Można zatem wnioskować, że w tym przypadku, mimo niepełnej współpracy rdzenia betonowego z kształtownikami, stal w pewien sposób „wymusza” na betonie zachowanie zbliżone do tego, jakie charakteryzuje materiał sprężysto-plastyczny, czyli stal.



Rys. 7. Odkształcenia słupów obciążanych przez kształtowniki, rozstaw przewiązek 240 mm

Fig. 7. The strains in columns loaded through steel shapes, distance between battens 240 mm

Opisane zjawisko można potwierdzić, analizując wykresy siła-średnie odkształcenia, w słupach obciążanych przez betonowy rdzeń (rys. 8). Widać wyraźnie, że w tym przypadku przyrost odkształceń zarówno betonu jak i stali jest taki, jak w elementach wykonanych tylko z betonu. Wynika stąd, że stal „traci” nieco swoje właściwości sprężysto-plastyczne.

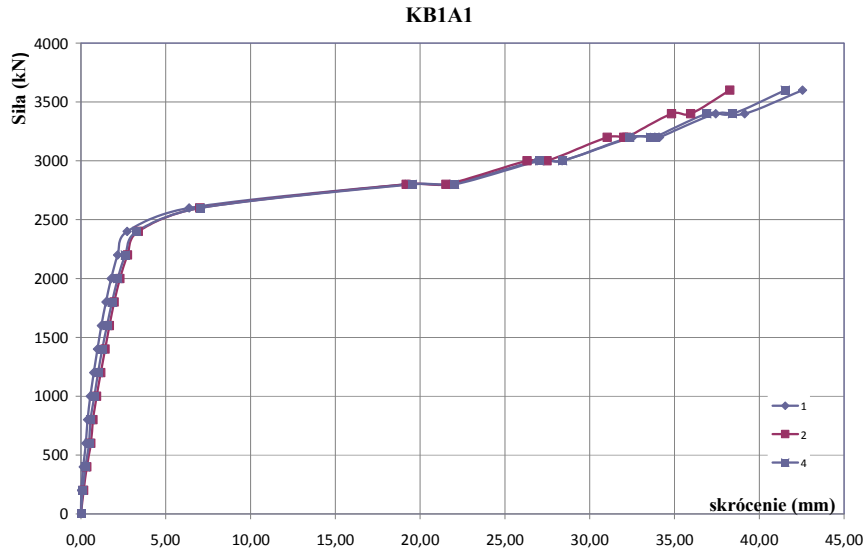


Rys. 8. Średnie odkształcenie słupów, obciążanych przez beton, rozstaw przewiązek 780 mm

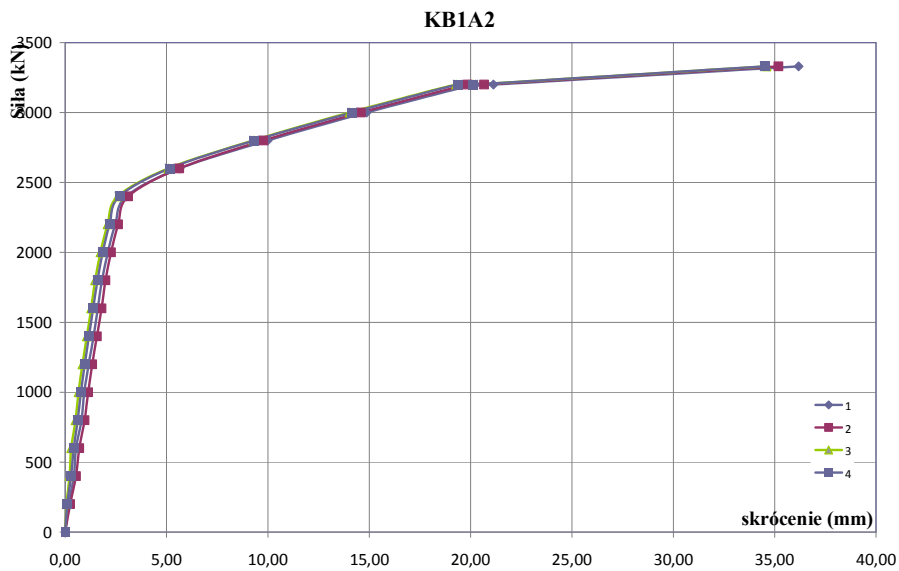
Fig. 8. The strains in columns loaded through concrete, distance between battens 780 mm

Wnioski otrzymane na podstawie analizy wykresów odkształcalności badanych słupów, potwierdzają ścieżki równowagi statycznej, przedstawione na rysunkach 9 - 11.

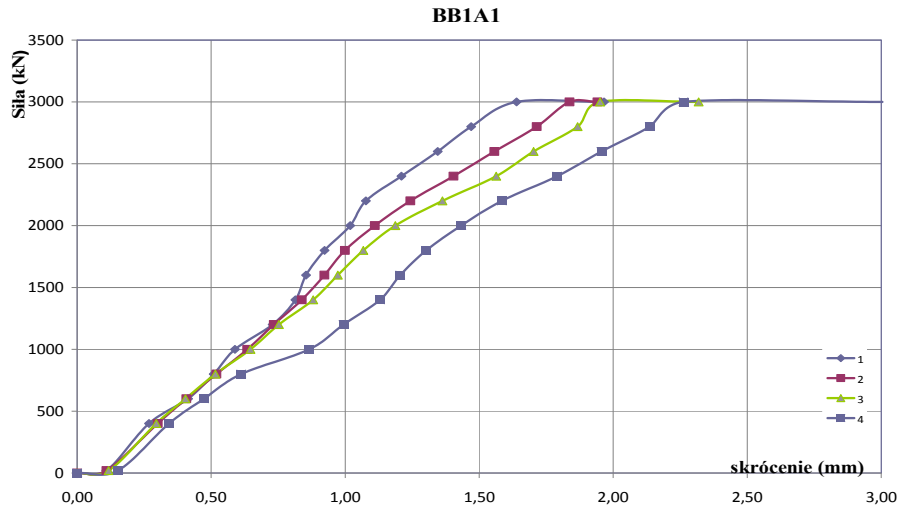
Wykresy zależności siła-skrócenie pionowe odzwierciedlają różnice w zachowaniu słupów, w zależności od sposobu ich obciążania. Widać wyraźnie, że w przypadku słupów obciążanych przez kształtowniki, przebieg zależności odpowiada modelowi przyjętemu dla ciała sprężysto-plastycznego (rys. 9 i 10). Do wartości odpowiadającej sile niszczącej nie zauważa się wpływu imperfekcji i nie osiowości przyłożenia siły. Analiza wykresu wykazuje także, że po osiągnięciu przez siłę wartości równej 2600 kN, następuje duży przyrost skrócenia słupa typu KB1A1, przy każdym kolejnym wzroście obciążenia. Podczas badań, przy tym poziomie obciążenia obserwowano lokalną utratę stateczności stalowych kształtowników.



Rys. 9. Ścieżka równowagi słupa obciążanego przez kształtowniki, rozstaw przewiązek 780 mm
 Fig. 9. The dependence force-shortening for column loaded through steel shapes, distance between battens 780 mm

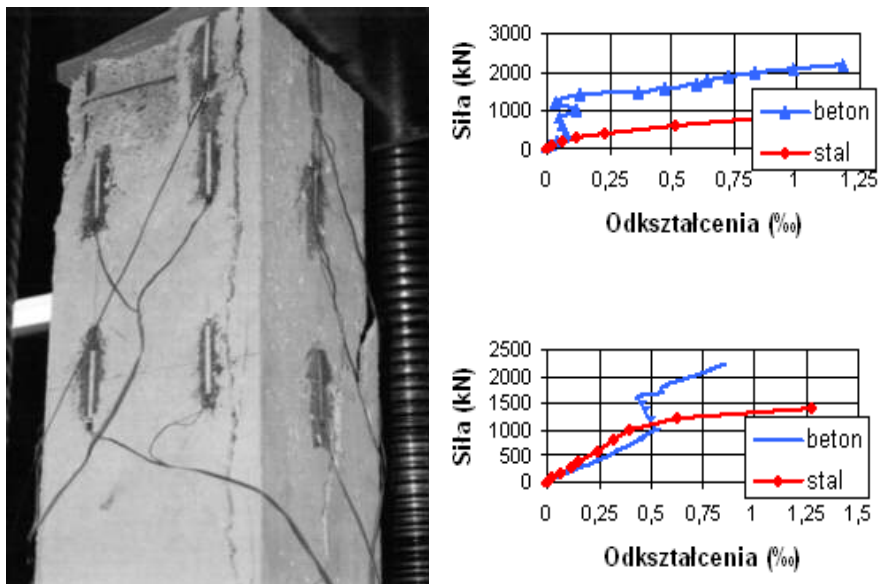


Rys. 10. Ścieżka równowagi słupa obciążanego przez kształtowniki, rozstaw przewiązek 240 mm
 Fig. 10. The dependence force-shortening for column loaded through steel shapes, distance between battens 240 mm



Rys. 11. Ścieżka równowagi słupa obciążanego przez beton, rozstaw prężewiązek 780 mm

Fig. 11. The dependence force-shortening for column loaded through concrete, distance between battens 780 mm



Rys. 12. Postać zniszczenia obetonowanego słupa zespolonego, obciążanego przez dwuteownik oraz odsztalcenia w stali i betonie [2], [3]

Fig. 12. The form of destruction of fully encased composite column loaded through steel shape and the strains of steel and concrete in upper and middle cross-section [2], [3]

Przedstawiona analiza wpływu sposobu obciążania na pracę słupów dwugałęziowych jest potwierdzeniem wcześniejszych wyników badań, prowadzonych przez autorkę na słupach zespolonych, złożonych z pojedynczego, całkowicie obetonowanego dwuteownika (rys. 12).

Również w tym przypadku, obciążanie słupów przez kształtownik nie spowodowało znaczącego obniżenia ich nośności, natomiast wpłynęło na postać zniszczenia i przebieg odkształceń w betonie i stali. Dużo wcześniej przed uzyskaniem siły niszczącej, w słupach został osiągnięty stan graniczny użyteczności, związany z pojawieniem się długich, szerokich rys. Z wykresów odkształceń wynika, że taki sposób obciążania, powoduje zerwanie przyczepności między stalą i betonem, nawet w środkowym przekroju słupów (patrz rys.12).

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań, uwzględniających różne sposoby przekazywania obciążenia na dwugałęziowe słupy stalowo-betonowe, można stwierdzić że:

- sposób obciążania nie wpływa istotnie na wartość siły niszczącej słupy, zmienia jednak wyraźnie charakter pracy tych elementów; ma to istotny wpływ na przebieg odkształceń podłużnych w stali i betonie oraz wielkość pionowego skrócenia badanych elementów,
- wpływ sposobu przyłożenia obciążenia na przebieg i wartość odkształceń podłużnych jest największy w górnym przekroju badanych elementów; w tym przekroju maksymalne wartości odkształceń występują w materiale, przez który realizowane jest obciążenie słupa; sposób obciążania ma natomiast niewielki wpływ na wartości i przebieg zależności siła – odkształcenia poprzeczne
- wykresy zależności siła- odkształcenie i siła-przemieszczenie w słupach obciążanych przez kształtowniki mają ten sam charakter, co wykresy dla samej stali konstrukcyjnej
- charakter pracy słupów obciążanych przez kształtowniki powoduje, że przy sile niszczącej, elementy te ulegają znacznemu skróceniu pionowemu; jednocześnie przy wartości siły odpowiadającej obciążeniu użytkowemu w sytuacji trwałej, różnice w skróceniu badanych elementów nie są już tak duże i można je porównać do wartości w słupach obciążanych przez cały przekrój
- rozstaw przewiązek w elementach obciążanych przez kształtowniki ma wpływ na charakter przebiegu zależności siła-odkształcenie; zagęszczenie przewiązek powoduje prawie liniowy i równomierny wzrost odkształceń w stali i betonie

- przyłożenie obciążenia jedynie do kształtowników lub betonowej części przekroju powoduje zerwanie zespolenia między stalą i betonem; przyczepność jest zachowana w dolnej części słupów, szczególnie w elementach, w których siła ściskająca działała przez betonową część przekroju
- pomimo stwierdzonej utraty przyczepności między stalą i betonem na długości elementu, siła niszcząca słupy obciążane przez stalowe dwuteowniki była znacznie większa, niż uzyskana wcześniej w badaniach dla samych słupów stalowych. Siła ta wynosiła, odpowiednio, w elementach o rzadkich i gęstych przewiązkach: 2160 kN i 2140 kN

W wyniku przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że ze względu na charakter pracy, zalecanym schematem jest obciążanie całego przekroju równomiernie lub, jeśli jest to niemożliwe, przez stalowe kształtowniki.

Wspomniana na wstępie referatu zasada de Saint-Venanta jest w rzeczywistości równoważna stwierdzeniu, że samorzównoważony układ sił, działający na małą część ciała, powoduje jedynie lokalny rozkład naprężenia. Podczas badań stwierdzono, że w przypadku słupów, obciążanych przez kształtowniki lub betonowy rdzeń, nawet w środkowych przekrojach badanych elementów (znajdujących się w odległości równej nawet kilkukrotnego poprzecznego wymiaru) przebieg odkształceń stali i betonu różni się znacznie od siebie. Można przypuszczać, że jest to efekt braku przyczepności między oboma materiałami konstrukcyjnymi, praktycznie na całej długości słupa. Zatem, gdy nie można zrealizować równomiernego rozkładu obciążenia na cały przekrój, należy zastosować łączniki w strefie przekazywania siły na słup, zgodnie z zaleceniami, zawartymi w EC4 [6].

Literatura

- [1] Małek E., Kupina: O wpływie sposobu przyłożenia obciążenia na nośność krępego słupa zespolonego stalowo-betonowego, *Inżynieria i Budownictwo*, nr 12, 2011, s. 664-666.
- [2] Szmigiera E.: Strengthening of steel columns by concrete and fiber concrete casing, 8th Int. Conf. "Modern Build Materiale, Structures and Techniques", Vilnius, 2004, s.299, abstract.
- [3] Szmigiera E.: Influence of concrete and fiber concrete on the load-carrying capacity and deformability of composite steel-concrete columns, *Journal of Civil Engineering and Management*, nr 13(1), 2007, s. 55-61.
- [4] Żółtowski W., Szmigiera E.: Badania modelowe ściskanych osiowo słupów stalowych wzmocnionych przez obetonowanie, *Konstrukcje stalowe*, nr 2, 2003, s. 38-41
- [5] Żółtowski W., Szmigiera E., Kosmalski S.: Untersuchungen Und theoretische Modelle von druckbeanspruchten Stalstützen in Verbundbauweise, *Stahlbau*, Ernst & Sohn, nr 3, 2004, s. 175-183.
- [6] PN-EN 1994-1-1: 2008 Eurokod 4: Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

INFLUENCE OF METHOD OF LOAD APPLICATION ON THE CAPACITY OF TWO - CHORDS STEEL - CONCRETE COLUMNS

Summary

The paper presents the experimental analysis of two-chords battened steel columns filled with concrete. The steel part of the cross-sections consists of I-shapes HEA 160. The first step of tests, started since the nineties of twenty century, concerned the elements consisted of the same fully encased steel shape. All columns were tested in technical scale. During tests three methods of the force application were used: through whole cross-section, through the steel shapes and through concrete only. The aim of experiments was to analyzing the influence of these methods on the bearing capacity and deformability of steel-concrete columns. The results obtained from the tests show that the method of load application does not influence on the value of destructive force, but changes the column's behavior. Important conclusion, announced by the author, especially concerns cases of two methods of force applying: through the steel shapes only and through the concrete part of the cross section. In the first method of load application, the stress-strain relationship of columns has an elastic-plastic characteristic. When the force is applied through the concrete only, the behavior of the whole steel-concrete columns is similar to the pure concrete compression elements. It results from the tests that two solutions are recommended to the practical application: force acting through whole composite cross-section and, if it is impossible, only through steel shapes. Analysis of stress-strain dependence for steel and concrete shows that if the load is applied only through one of materials, the bond between them doesn't appear. However the destructive forces for these two-chords composite columns obtained during tests were significantly higher than for steel elements only.

In the author opinion the results obtained from experimental and theoretical analysis have the practical applications for designing of composite columns and composite joints.

Keywords: composite structures, two-chords steel-concrete columns, method of force application, load-bearing capacity

DOI: 10.7862/rb.2013.30

Przesłano do redakcji: w kwietniu 2013 r.

Przyjęto do druku: w lipcu 2013 r.

