

Walter WUWER

Wydział Budownictwa, Architektury i Sztuk Stosowanych, Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach
ul. Rolna 43, Katowice; e-mail: w.wuwer@wp.pl

Kamil SŁOWIŃSKI

Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków
e-mail: kamslow@agh.edu.pl

WSTĘPNE ZAŁOŻENIA DO AUTORSKIEGO SYSTEMU KONSTRUKCYJNEGO BUDYNKÓW Z KSZTAŁTOWNIKÓW GIĘTYCH Z POŁĄCZENIAMI NA ŁĄCZNIKI SWORZNIOWE

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono możliwość zastosowania łączników jednostronnych typu BOM w konstrukcjach budynków wykonanych z kształtowników giętych na zimno z blach. Zaletą konstrukcyjną proponowanego systemu prętowego jest możliwość wykorzystania w projektowaniu, kształtowników rurowych o przekrojach prostokątnych oraz racjonalnego kształtowania konstrukcji kratowych, z niewspółśrodkowym połączeniem prętów w węzłach bez blach węzłowych. Zaproponowana technologia połączeń gwarantuje łatwy i szybki montaż konstrukcji na placu budowy, z pojedynczych prętów. Przytoczono publikacje, umożliwiające projektantom zapoznanie się ze wzorami na nośność i sztywność dowolnego podatnego połączenia zakładkowego dwu blach o grubościach 4 i 5 mm – o dowolnych: liczbie łączników i ich rozmieszczeniu – poddanego złożonemu stanowi obciążeń. Omówiono także problematykę projektowania prętów złożonych blisko gałęziowych z podatnymi połączeniami gałęzi. Przedstawiono wyniki badań doświadczalnych tych prętów, wskazujące na konieczność uwzględniania w procedurze sprawdzania ich stateczności, przemieszczeń zachodzących w połączeniach gałęzi.

SŁOWA KLUCZOWE

łączniki jednostronne, kształtowniki gięte, pręty złożone, wzmacnianie, budownictwo zrównoważone

WPROWADZENIE

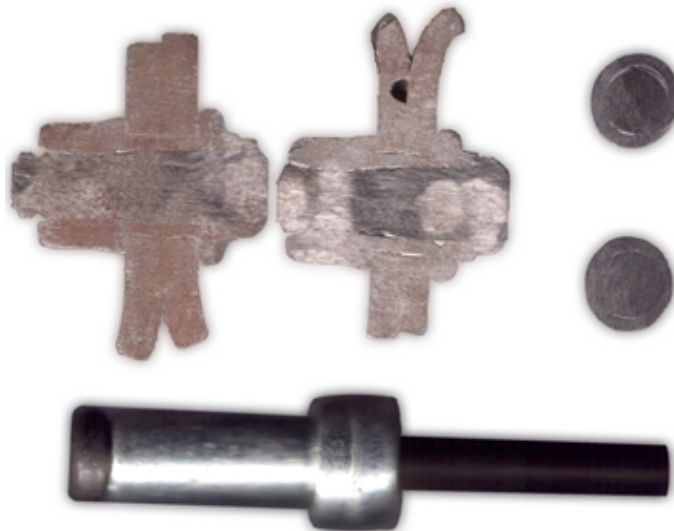
Brak na krajowym rynku budowlanym polskiego systemu konstrukcyjnego, zaprojektowanego z ekonomicznych kształtowników giętych na zimno z blach o przekrojach otwartych, półotwartych i zamkniętych – przy proponowanej przez huty w Polsce bogatej ofercie tych wyrobów – zainspirował autorów do poszukiwań tego typu lekkich rozwiązań konstrukcyjnych.

Do badań w tej dziedzinie zachęcały setki obiektów wznoszonych od ponad dwudziestu lat na terenie kraju [1], m.in. według szwedzkiego systemu hal Llentab, w całości zaprojektowanych z kształtowników giętych. Pojedyncze pręty, ocynkowane, z kształtowników o przekrojach otwartych i półotwartych są scalane w węzłach – na placu budowy – przy użyciu śrub M12 klasy 8.8, tworząc ramy kratowe oraz ramy z ryglami kratowymi. Grubości łączonych ścianek kształtowników wykonanych ze stali gatunku S350 GD wynoszą do 7 mm.

Obecnie, postulaty zrównoważonego rozwoju w dziedzinie budownictwa stalowego nakładają na projektantów obowiązek racjonalnego kształtowania konstrukcji nowych, a niejednokrotnie także wzmacniania obiektów istniejących. Przejawem dążeń do spełnienia obu wymienionych postulatów był m.in. program badawczy [2-6] realizowany w ostatnim dziesięcioleciu na

Politechnice Śląskiej w Gliwicach, w Katedrze Konstrukcji Budowlanych. Jego celem było prowadzenie badań analitycznych i eksperymentalnych w zakresie kształtowania lekkich konstrukcji z kształtowników giętych, których wyniki miały stanowić podstawy do opracowania systemu konstrukcyjnego ekonomicznych oraz łatwych w montażu hal stalowych. Wobec braku sprawdzonych doświadczalnie odpowiednich łączników sworzniowych, które pozwoliłyby łączyć zakładkowo ścianki kształtowników o grubościach $3\div 6$ mm, w tym także o przekrojach zamkniętych oraz projektować węzły scalające pręty tych konstrukcji, równocześnie zapewniając im efektywny i szybki montaż na placu budowy, wiele lat poświęcono poszukiwaniom racjonalnych połączeń. Początkowo badano doświadczalnie elementy próbne z połączeniami realizowanymi m.in. za pomocą wkrętów samowiercących i samogwintujących [7], a także przy użyciu dwu rodzajów łączników jednostronnych firmy HUCK, o średnicach nieprzekraczających 10 mm [8-10].

Spośród badanych zakładkowych połączeń jednociętych, najlepiej rozeznano zachowanie się połączeń wykonanych przy użyciu nowoczesnych łączników jednostronnych typu BOM R16 [11], które spełniały, zdaniem autorów, współczesne wymagania ekonomiczne, montażowe i eksploatacyjne. Pierwsze wyniki badań doświadczalnych i analitycznych opublikowano w czasopiśmie krajowych [12], [13] i zagranicznych [14], [15]. Istotne było określenie sztywności badanych połączeń podczas przekazywania w węzłach konstrukcji prętowej sił podłużnych oraz momentów zginających [16-19], najczęściej występujących równocześnie w racjonalnie zaprojektowanym ustroju [20]. Pomimo bowiem szczelnego wypełnienia otworów w łączonych ściankach przez materiał tulejki (rys. 1), tworzącej wraz z trzpieniem konstrukcję łącznika, stwierdzono konieczność uwzględniania w obliczeniach statycznych wpływu podatności połączeń w węzłach na zachowanie się układu prętowego, np. kratowego. Przekonano się o tym w przypadku kilku ram kratowych, dla których sporządzono odpowiednie obliczenia statyczne [21], [22].



Rys. 1. Stan wypełnienia otworu w ściankach przez trzpień i tulejkę sworznia [2]

Fig. 1. Filling of the hole in the walls by the pin and the sleeve [2]

Zagadnieniom podatności badanych analitycznie i doświadczalnie połączeń poświęcono szereg opracowań. W badaniach uwzględniono europejskie wytyczne w tym zakresie [25] oraz wymagania norm [26], [27]. W rozważaniach analitycznych opisujących zachowanie się badanych połączeń jednociętych uwzględniono, przede wszystkim, zależności zamieszczone w normie [27] w odniesieniu do tzw. metody składnikowej. Opracowano wzory na obliczanie sztywności dowolnego połączenia [28], [29], wprowadzając w nich m.in. wartość sztywności początkowych $S_{j,ini}$, uzyskanych na drodze badań doświadczalnych, odmiennych dla poszczególnych grubości łączonych ścianek, średnic łączników oraz gatunków stali.

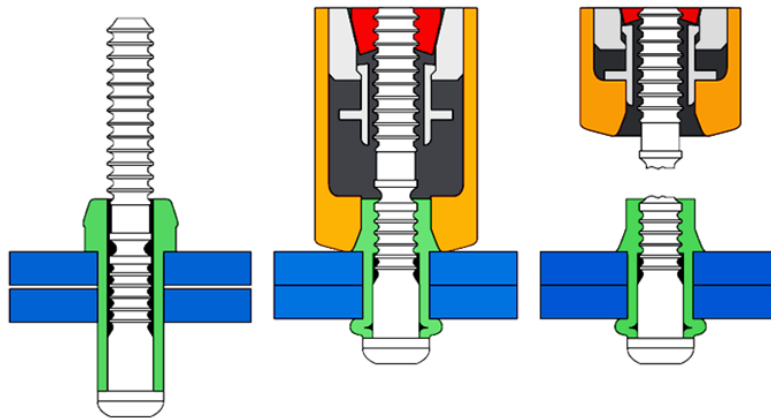
Jednym z ważnych elementów poszukiwanego systemu konstrukcyjnego było opracowanie algorytmu projektowania prętów złożonych bliskogałęziowych, z zakładkowymi połączeniami na łączniki jednostronne przylegających do siebie ścianek gałęzi na ich długości. Praktyczne

zastosowanie złożonych przekrojów prętów okazało się racjonalne zarówno w nowoprojektowanych obiektach, jak też w przypadku konieczności wzmacniania elementów prętowych w konstrukcjach istniejących [4], [30], [31].

1. Charakterystyka badanych połączeń

Łączniki BOM składają się z trzpienia oraz tulejki (rys. 2). Instalacja tych łączników w otworach odbywa się przy użyciu osadzaka (por. rys. 2) [11] i, co warto podkreślić, nie wymaga wysokich kwalifikacji pracownika wykonującego scalanie ścianek. Proces osadzania łączników BOM w otworach charakteryzuje szybkość, powtarzalność oraz niezawodność wykonanych połączeń. Inspekcja wymiarów łączników oraz średnic wykonanych otworów, jak również poprawności wykonanych połączeń, prowadzona jest przy użyciu prostych w obsłudze narzędzi. W uzasadnionych przypadkach możliwe jest usunięcie łącznika z wadliwie wykonanego złącza, przy użyciu przeznaczonej do tego systemowej końcówki.

Technologię osadzania sworzni jednostronnych typu BOM, w otworach wywierconych w łączonych ściankach kształtowników szczegółowo omówiono, m.in. w artykułach [23], [24].



Rys. 2. Etapy osadzania łącznika BOM w otworach [11]

Fig. 2. Steps of the installation process of the BOM fastener in the hole [11]

2. Sztywności podatnych połączeń zakładkowych

Pierwsze wyniki badań doświadczalnych elementów próbnych z połączeniami zakładkowymi dwu blach o grubościach 3,0 oraz 4,0 mm [7], [8], [9] świadczyły o znacznej ich podatności w wyniku pojawiających się – pod obciążeniem – luzów pomiędzy trzpieniami osadzanych łączników i ściankami w otworach. Wyniki te zainspirowały do sprawdzenia zachowania się pewnej ramy – istniejącej wówczas w ofercie krajowego rynku budowlanego – zaprojektowanej z kształtowników giętych o grubości ścianek 2,5 mm, z montażowymi węzłami w narożach i kalenicy, skręcanymi na placu budowy za pomocą śrub M16 klasy 4.8, osadzanych w otworach ϕ 18 mm [16], [32]. Rama nie spełniała, jak wykazały obliczenia sprawdzające, warunków stanu granicznego użyteczności w odniesieniu do ugięć poziomych – na wysokości naroży oraz pionowych – w przęśle rygla.

W wyniku poszukiwań łączników wyłoniono ostatecznie, do dalszych szczegółowych badań, sworznie jednostronne typu BOM, jako powodujące mniejszą odkształcalność w jednoczętych połączeniach zakładkowych (por. rys. 1).

W pracy [2] przeprowadzono analizę teoretyczną wyężenia jednoczętego połączenia sworzniowego, obciążonego równocześnie siłą podłużną i momentem zginającym. Sformułowano układ równań równowagi opisujący zachowanie się tak obciążonego dowolnego połączenia, który następnie z wynikiem pozytywnym zweryfikowano na drodze doświadczalnej. Z kolei w pracach [3] przedstawiono wzory teoretyczno-doświadczalne, które pozwalają obliczać zależności zachodzące między momentem zginającym M i kątem obrotu ϕ w zakładkowych połączeniach na sworznie jednostronne typu BOM R16 oraz ustalać wartości tzw. sztywności

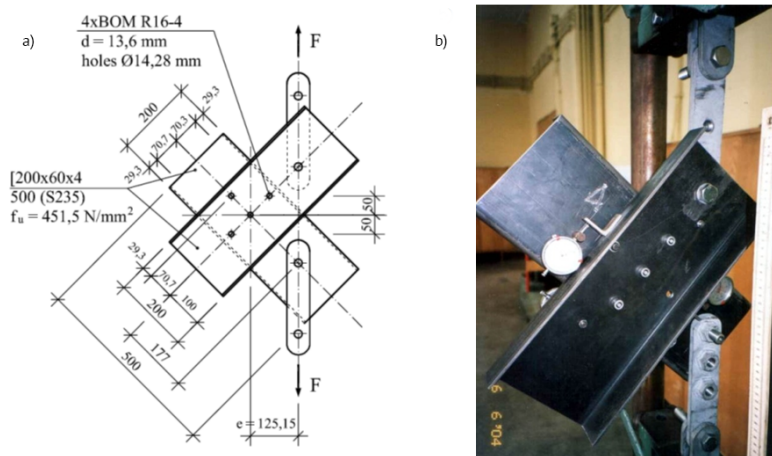
chwilowych tych połączeń. Badano szereg elementów próbnych z połączeniami zakładkowymi, poddanych rozciąganiu mimośrodowemu, pod kątem nieliniowo zmieniającej się sztywności połączeń. Obserwowano zachowanie się połączeń jednociętych z dwoma, trzema (rys. 3), czterema oraz pięcioma sworzniami [19]. Porównywano następnie wartości sztywności obrotowych, w tym sztywności początkowych $S_{j,ini}$, z wynikami uzyskanymi na drodze rozwiązania układu równań równowagi opisujących zachowanie się danego połączenia. Wyniki doświadczalne odnoszono także do wielkości obliczonych na podstawie wzorów zaproponowanych w pracy [3].

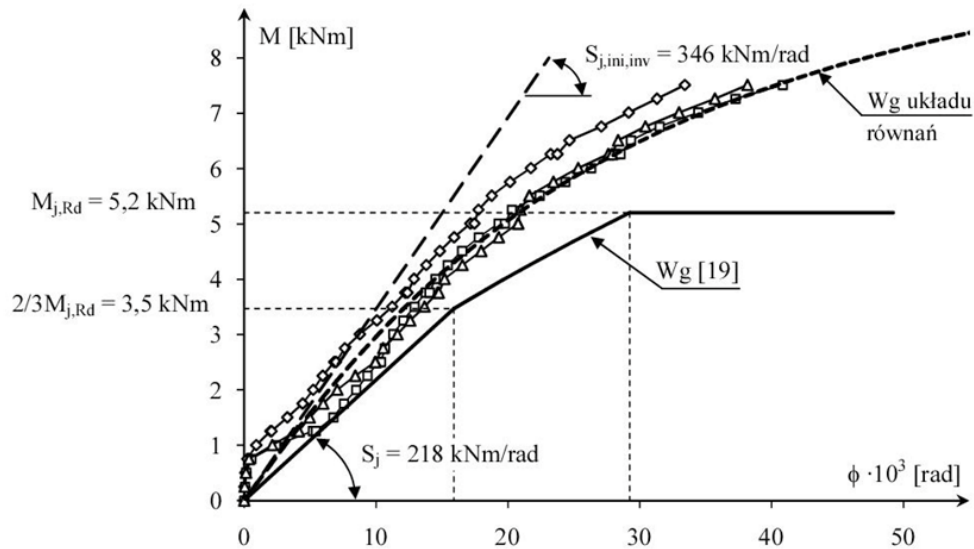


Rys. 3. Elementy próbne z jednociętymi połączeniami rozciągany mimośrodowo: a) na trzy sworznie, b) na dwa sworznie; środki obrotu w połączeniach wyznaczają naklejone paski [19]

Fig. 3. Test elements with single-cut connections in eccentric tension: a) with three fasteners, b) with two fasteners; points of the rotation are marked by glued strips

Badano także niesymetryczne połączenie na cztery sworznie (rys. 4), poddane również mimośrodowemu rozciąganiu [2],[3],[33]. Układ równań opisujący zachowanie się tego połączenia uzupełniono dodatkowo o wyrazy uwzględniające wpływ tarcia obrotowego na wzajemny obrót łączonych ścianek kształtownika ceowego, które istnieje w osi każdego sworznia w połączeniu jednocześnie ścinanym i zginanym [3, 33]. Powoduje ono powstanie momentów skrętnych, które przejmują część obciążenia zewnętrznego momentem $M = F \cdot e$ (por. rys. 4a). Wartości momentów skrętnych ustalono na podstawie odrębnych badań doświadczalnych [6].





Rys. 4. Element próbny „V-4/4”: a) konstrukcja i wymiary, b) element w maszynie wytrzymałościowej, c) zależności $M-\phi$ według: badań doświadczalnych [2], układu równań opisujących zachowanie się połączenia [6] oraz EC3 [27]

Fig. 4. Test element „V-4/4”: a) the construction and dimensions, b) the element in the testing machine, c) $M-\phi$ relations according to: experimental investigations [2], the set of equations describing behavior of the connection [6] and EC3 [27]

Na wykres zależności $M-\phi$ (por. rys. 4c) naniesiono wyniki badania trzech jednakowych elementów próbnych w postaci obwiedni ścieżek równowagi statycznej (ŚRS). Te trzy krzywe dowodzą, że trójodcinkowa linia łamana, uzyskana przy wykorzystaniu opracowanych w [19] wzorów, bezpiecznie opisuje rzeczywiste zachowanie się połączenia. Korzystnie także wypada porównanie wyników doświadczalnych z krzywą uzyskaną na drodze rozwiązania układu równań równowagi [2], co świadczy o poprawności modelu obliczeniowego. Można więc stwierdzić, że przyjmując do obliczeń statycznych sztywność rozważanego połączenia 4-sworzniowego, zmieniającą się według linii łamanej, postępuje się zdecydowanie bezpiecznie.

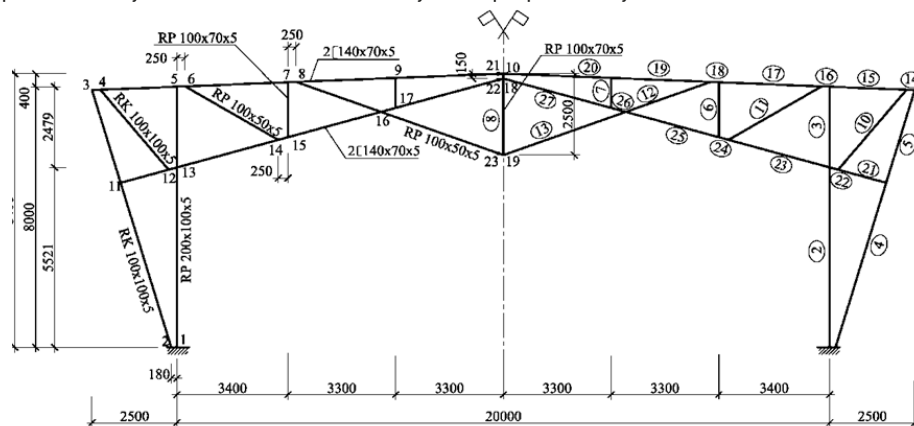
Charakterystycznym zjawiskiem w badanych połączeniach 1-ciętych jest występowanie chwilowego środka obrotu, którego pomierzone podczas badania współrzędne (por. rys. 3) w sposób zadowalający pokrywały się z wartościami wyznaczonymi na podstawie układu równań równowagi [2].

Trójodcinkowa linia łamana dla zależności $M-\phi$ z pierwszym odcinkiem – tożsamym ze sztywnością początkową $S_{j,ini}$ obliczoną wg [19], drugim zaś – wynikającym z propozycji normy [27] w przedziale momentów $2/3M_{j,Rd} \leq M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$ oraz poziomym odcinkiem trzecim – odpowiadającym wartości $M_{Ed} = M_{j,Rd}$, dokładnie opisuje rzeczywistą sztywność badanego połączenia w porównaniu z propozycją w pracy [34], w której zależność $M-\phi$ opisano za pomocą jednej tylko linii prostej. Linie łamane precyzyjnie odzwierciedlają zachowanie się badanych połączeń zakładkowych, gwarantując bezpieczną rezerwę nośności w stosunku do wielkości rzeczywistych. Przekonano się o tym wielokrotnie, analizując podobnie połączenia na dwa, trzy oraz pięć sworzni [19].

Warto w tym miejscu odnieść się do pracy [35], w której także dokonano porównania sztywności połączeń, uzyskanych w wyniku badań doświadczalnych, wykonanych w różnych ośrodkach naukowych Europy, z wartościami sztywności określonymi na podstawie metody składnikowej podanej w Eurokodzie [27]. Badania dotyczyły wprawdzie połączenia doczołowego na śruby, lecz jego sztywność na zaprezentowanych licznych wykresach $M-\phi$ opisano także trójodcinkowymi liniami łamanymi.

3. Wpływ podatnych połączeń na zachowanie się ramy kratowej

Aby przekonać się o wpływie – nieliniowo zmieniających się pod obciążeniem – sztywności podatnych połączeń jednoczętych na zachowanie się konstrukcji prętowej, poddano analizie statycznej szereg ram [21], [22], [36] m.in. ramę kratową jak na rys. 5. Słupki i krzyżulce połączone w węzłach niewspółśrodkowo za pomocą sworzni jednostronnych BOM R16, bez blach węzłowych, przy mimośrodkach sięgających 0,25 m [2], [19]. Wartości sztywności poszczególnych połączeń prętów w węzłach, zróżnicowanych pod względem liczby i rozmieszczenia sworzni, ustalono na podstawie wyników badań doświadczalnych i zaproponowanych wzorów

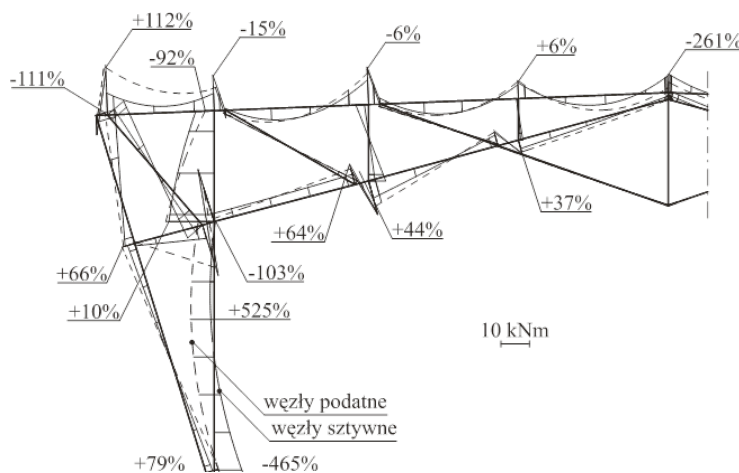


Rys. 5. Schemat ramy kratowej o rozpiętości 20,0 m ze wspornikami 2,5 m [2], [19]

Fig. 5. Scheme of the lattice frame with a span of 20.0 m, with 2.5 m cantilevers [2], [19]

W obliczeniach uwzględniono podstawowe kombinacje obciążeń biorąc pod uwagę ciężar własny ramy i obudowy, obciążenie instalacjami, śniegiem i wiatrem działającym z jednego kierunku. Z uwagi na przyjętą – w procedurze projektowania ramy – nieliniową charakterystykę podatności węzłów obliczenia wykonano iteracyjnie, uzyskując wystarczającą dokładność wyników po sześciu krokach.

Zmiany wartości sił wewnętrznych w prętach ramy z węzłami podatnymi, w porównaniu do sił w ramie z węzłami sztywnymi, okazały się istotne (rys. 6). Przykładowo, moment zginający w przęśle pionowej gałęzi słupa (por. rys. 5 - pręt 2) wzrósł aż o 525 % (por. rys. 6), przy jednoczesnym spadku siły osiowej o 2% i siły poprzecznej o 3%. W niektórych prętach siły osiowe wzrosły, np. w pręcie 20 pasa górnego o ponad 10%, przy równoczesnym spadku wartości momentu zginającego o 30%.



Rys. 6. Wykresy momentów zginających w prętach ramy kratowej z węzłami sztywnymi i podatnymi dla kombinacji trzech obciążeń [2], [19]

Fig. 6. Distribution of bending moments in the bars of the lattice frame with rigid and flexible nodes for the combination of three loads [2], [19]

Wartości przemieszczeń w ramie z węzłami podatnymi okazały się, jak należało przypuszczać, większe aniżeli w ramie z węzłami sztywnymi. Przykładowo, poziome przemieszczenie węzła narożnego wzrosło o prawie 140%, a pionowe w osi symetrii rygla o ponad 80%. Przemieszczenia te są jednak mniejsze od wartości granicznych, przyjętych jako 1/250 wysokości słupa i rozpiętości rygla.

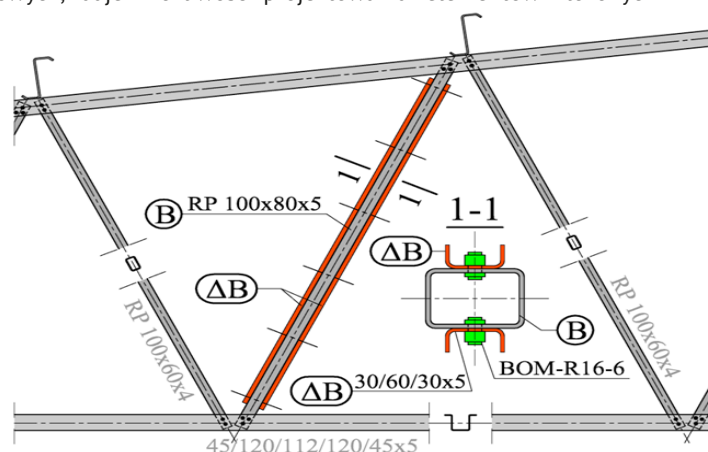
Analizując wyniki wymiarowania poszczególnych prętów ramy oraz przyjęte przekroje rurowe i ceowe (por. rys. 5), można podjąć się próby modyfikacji zaproponowanej konstrukcji i jej bardziej ekonomicznego zaprojektowania, zastępując niektóre proste elementy jednogąździowe z pojedynczych rur elementami złożonymi bliskogąździowymi. Przykładowo, przekrój RP 200x100x5 słupa na odcinku 1-13 (por. rys. 5) można zastąpić mniejszym przekrojem rurowym, odpowiednio wzmocnionym symetrycznie, między węzłami 1 i 13, za pomocą dwóch ceowników, poprawiając tym samym warunki jego stateczności. Wprowadzona zmiana przekroju słupa wpłynie zapewne na modyfikację niektórych połączeń, a w konsekwencji zmianę ich sztywności. Przylegające wtedy do siebie ścianki trzech gąździ proponuje się połączyć na długości pręta odpowiednią liczbą łączników BOM. Zachowanie się tak skonstruowanego elementu trójgąździowego opisano teoretycznie w pracy [4]. Zaproponowany model analityczny, uwzględniający podatność wprowadzonych na długości pręta połączeń, został zweryfikowany na drodze doświadczalnej [4].

4. Pręty bliskogąździowe

Zastosowanie prętów bliskogąździowych uzasadnione jest w aspekcie racjonalnego kształtowania lekkich ustrojów nośnych, szczególnie w sytuacji, gdy zachodzi potrzeba poprawienia warunków stateczności wybranego elementu konstrukcji.

Łączenie wzmacnianego, ściskanego osiowo krzyżulca (rys. 7) z krótszymi gąździami wzmacniającymi, daje możliwość efektywnego kształtowania elementów złożonych o wymaganych charakterystykach geometrycznych. Nie zachodzi wtedy potrzeba doprowadzania gąździ wspomagających do węzłów podporowych pręta wzmacnianego (por. rys. 7) i wprowadzania kłopotliwych zmian konstrukcyjnych w tych węzłach. Transfer sił tnących w zakładkowych połączeniach gąździ powoduje włączenie się gąździ wzmacniających do współpracy z prętem wzmacnianym, w przenoszeniu ściskającej siły osiowej [4]. Realizacja wzmocnienia wiąże się zatem ze zwiększeniem promienia bezwładności przekroju pręta wzmacnianego, ale także sztywności osiowej elementu wzmacnianego.

Podstawową zaletą prezentowanego rozwiązania jest łatwy i szybki montaż konstrukcji na placu budowy, wykonywany przy użyciu łączników jednostronnych typu BOM (prod. HUCK) [11]. Zastosowanie łączników BOM do wykonywania zakładkowych połączeń gąździ prętów bliskogąździowych, daje możliwość projektowania elementów złożonych z kształtowników



Rys. 7. Kształtowanie pręta bliskogąździowego w kratownicy

Fig. 7. Shaping of a closely spaced bar in a lattice girder

Źródło: opracowanie własne

o przekrojach otwartych, jak również zamkniętych (por. rys. 7) – wykorzystywanych na szeroką skalę, głównie w spawanych konstrukcjach wiązarów kratowych. W typowych realizacjach, tj. zgodnych z zaleceniami producenta łączników BOM, liczbę łączników w połączeniach dobiera się w taki sposób, aby uzyskać złącza cienne w stanie granicznym nośności połączenia. Badania doświadczalne 1-ciętych połączeń, wykonanych przy użyciu łączników BOM-R16 dowiodły jednak, że możliwe jest – w pewnych okolicznościach – wykorzystanie znaczących rezerw nośności, sztywności i ciągliwości testowanych złączy, występujących przy ich wyężeniu przy docisku [2], [3].

Uwzględnienie w projektowaniu elementów złożonych bliskogałęziowych dociskowej fazy pracy złączy, wiąże się ze znaczącymi korzyściami ekonomicznymi. Korzyści te wynikają głównie z możliwości ograniczenia – w stosunku do typowych realizacji – liczby łączników potrzebnych do scalenia ścianek współpracujących gałęzi. Zmniejszeniu ulega zatem także zakres prac związanych z obróbką gałęzi w warsztacie lub bezpośrednio w obiekcie, co przekłada się na szybszy i łatwiejszy montaż konstrukcji na placu robót – szczególnie istotny w przypadku prowadzenia prac wzmacniających w obiektach istniejących, w trakcie ich użytkowania.

Zakładkowe połączenia gałęzi – z uwagi na dociskowy charakter wyężenia – charakteryzuje jednak zauważalny stopień podatności translacyjnej [2], [3]. Jak wykazały doświadczalne badania prętów trójgałęziowych krępych, ściskanych osiowo [5], podatność ta nie zapewnia pełnego, tj. wynikającego ze sztywności osiowej przekrojów, udziału gałęzi wzmacniających w przenoszeniu obciążenia, a rozdział sił wewnętrznych na współpracujące ze sobą gałęzie uzależniony jest w sposób istotny od charakterystyk sztywnościowych zastosowanych połączeń zakładkowych.

Zagadnienia dotyczące sposobów analitycznego ujęcia wpływu podatności połączeń na nośność i sztywność prętów bliskogałęziowych nie znalazły jak dotąd ujęcia w normach krajowych i zagranicznych. Uzasadnione było zatem podjęcie stosownych działań zmierzających do uzupełnienia wiedzy na temat zachowania się rozważanych elementów złożonych pod obciążeniem.

5. Badania doświadczalne prętów bliskogałęziowych

Celem badań doświadczalnych było ustalenie obliczeniowej nośności na wyboczenie ściskanych osiowo prętów złożonych trójgałęziowych. Należało przy tym ocenić wpływ podatności translacyjnej połączeń ścianek gałęzi, wykonanych przy użyciu łączników jednostronnych BOM, na stopień współpracy pręta wzmacnianego i dwóch gałęzi wzmacniających, w przenoszeniu obciążenia ściskającego.

Gałąz pręta wzmacnianego, do której przykładane było obciążenie w węzłach podporowych, zaprojektowano z kształtownika zamkniętego, walcowanego na gorąco RP 100×60×4, o długości 3000 mm, ze stali S355J2H (rys. 8). Dwie nie dochodzące do węzłów podporowych gałęzie wzmacniające – każda o długości 2960 mm – wykonano z kształtownika profilowanego na zimno U30/60/30×4, ze stali S355 (por. rys. 8).

Współpraca każdej z dwu wzmacniających gałęzi ceowych z prętem wzmacnianym-rurowym realizowała się za pośrednictwem ośmiu połączeń, wykonanych przy użyciu łączników BOM-R16-4, rozmieszczonych co 408 mm na długości elementu złożonego (por. rys. 8). Ważnym kryterium doboru liczby i rozstawu połączeń gałęzi było ograniczenie, potrzebnych do scalenia gałęzi, nakładów pracy, czasu i kosztów.

Pręty złożone badano w maszynie wytrzymałościowej o napędzie hydraulicznym. Osiowe przekazywanie siły ściskającej z maszyny wytrzymałościowej na element próbny uzyskano poprzez głowice podporowe, zapewniające również przegubowe podparcie badanego pręta [4].



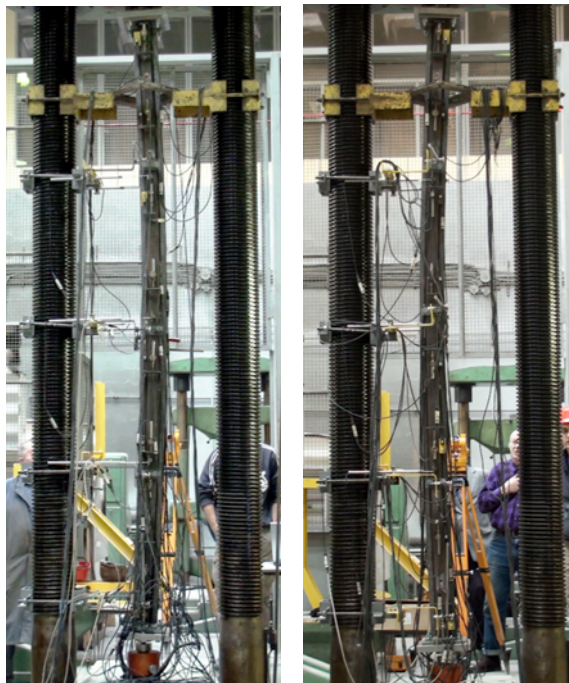
Rys. 8. Badany pręt złożony – przed instalacją łączników BOM

Fig. 8. Investigated built-up bar – before installation of the BOM fasteners

Źródło: opracowanie własne

W trakcie obciążania elementu próbnego rejestrowano zależności między przyrostem siły osiowej i ugięciem poziomym elementu. Pomiaru ugięć zachodzących w płaszczyznach dwóch głównych osi bezwładności przekroju pręta złożonego, dokonywano w trzech miejscach na długości elementu próbnego przy użyciu czujników indukcyjnych [4].

Stan graniczny nośności wszystkich elementów próbnych – o długości teoretycznej 3140 mm – osiągnięty został na skutek wyboczenia giętnego względem osi z przekroju (rys. 8, 9). Wyznaczona obliczeniowa nośność na wyboczenie badanych prętów bliskogałęziowych stanowiła ok. 185% nośności wyboczeniowej samej tylko gałęzi rurowej, obliczonej wg [26]. Jednocześnie, z uwagi na podatne połączenia ścianek gałęzi, nośność obliczeniowa elementów próbnych jest na poziomie ok. 70% nośności pręta o takim samym przekroju złożonym, ustalonej wg [26] przy zapewnieniu pełnej współpracy trzech gałęzi (co wymagało by zastosowania znacząco większej liczby połączeń ścianek na długości gałęzi).



Rys. 9. Wyboczenie elementów próbnych Bz-1 i Bz-6

Fig. 9. Flexural buckling of the tested elements Bz-1 and Bz-6

Źródło: opracowanie własne

6. Zakończenie

W Eurokodzie 3 nie podano wzorów na obliczanie sztywności translacyjnej i obrotowej połączeń zakładkowych. W artykule przytoczono więc publikacje, umożliwiające projektantom zapoznanie się z wzorami opisującymi sztywność (nośność) dowolnego podatnego połączenia zakładkowego dwu blach o grubościach 4 i 5 mm – o ustalonej liczbie nowoczesnych łączników jednostronnych typu BOM i dowolnym ich rozmieszczeniu – poddanych złożonemu stanowi obciążeń.

Zadowolająca zgodność wartości sztywności połączeń, obliczonych na podstawie zaproponowanych wzorów, z wartościami uzyskanymi na drodze badań doświadczalnych oraz na podstawie układu równań równowagi opisującego zachowanie się tych połączeń, upoważnia do korzystania w praktyce projektowej z zaprezentowanej metody postępowania.

Kierując się wynikami wielu dotychczas przebadanych połączeń jednoczętnych na łączniki BOM R16 można stwierdzić, że przyjęcie w obliczeniach statycznych układu prętowego z takimi połączeniami, sztywności oszacowanych przy zastosowaniu normowej metody składnikowej, zapewni konstrukcji rzeczywistej bezpieczne użytkowanie.

Uzasadnionym i racjonalnym rozwiązaniem w projektowaniu konstrukcji prętowych z kształtowników giętych na zimno z blach mogą być elementy bliskogałęziowe skonstruowane z trzech gałęzi. W procedurze sprawdzania ich stateczności należy uwzględnić wpływ przemieszczeń zachodzących w połączeniach zakładkowych, występujących między przylegającymi do siebie ściankami, które powodują redukcję jego nośności obliczeniowej o około 30% w stosunku do nośności normowej analogicznego przekroju w przypadku pełnej współpracy gałęzi wzmacniających z gałęzią wzmacnianą.

Istotną zaletą konstrukcyjną, opracowywanego systemu prętowego z kształtowników giętych na zimno z blach, jest możliwość wykorzystania w projektowaniu kształtowników rurowych o ekonomicznych przekrojach prostokątnych i kwadratowych oraz zastosowania w połączeniach – dostępnych na rynku krajowym – nowoczesnych łączników jednostronnych typu BOM. Nie bez znaczenia jest też możliwość racjonalnego a zarazem architektonicznego kształtowania konstrukcji kratowych, która wynika z niewspółśrodkowego połączenia prętów w węzłach, jak w przykładowej ramie, eliminującego blachy węzłowe.

Zaproponowana technologia połączeń gwarantuje łatwy i szybki montaż konstrukcji prętowej na placu budowy, z pojedynczych prętów ocynkowanych, w dowolnych warunkach atmosferycznych.

Literatura:

- [1] Piekarczyk M., Pięciórak E.: O zastosowaniach kształtowników profilowanych na zimno jako podstawowych elementów nośnych w halach. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 12/2005, 695÷698.
- [2] Wuwer W.: Podatne połączenia na sworznie jednostronne w prętowych konstrukcjach cienkościennych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej: Budownictwo* z 105, Gliwice, 2006.
- [3] Swierczyna S.: Nośność i sztywność jednociętych połączeń sworzniowych w konstrukcjach z kształtowników giętych. *Rozprawa doktorska*. Gliwice, 2011.
- [4] Słowiński K.: Badanie nośności ściskanych osiowo elementów bliskogałęziowych z podatnymi połączeniami. *Rozprawa doktorska*. Gliwice, 2013.
- [5] Słowiński K., Wuwer W.: Investigations of closely spaced built-up bars with flexible joints. The 6th International Conference on Thin Walled Structures, September 2011, Timisoara, Romania, Organized by The "Politechnica" University of Timisoara and Romanian Academy – Timisoara Branch in co-operation with European Convention For Constructional Steelwork (ECCS).
- [6] Swierczyna Sz., Wuwer W.: Journal friction in bolted lap joints in a complex state of load. The 6th International Conference on Thin Walled Structures, September 2011, Timisoara, Romania, Organized by The "Politechnica" University of Timisoara and Romanian Academy – Timisoara Branch in co-operation with European Convention For Constructional Steelwork (ECCS).
- [7] Wuwer W.: O obliczaniu podatnych połączeń zakładkowych na wkręty samowierzące. *Inżynieria i Budownictwo*, Nr 7/2001, s. 415÷419.
- [8] Wuwer W.: Wpływ podatności węzłów na pracę statyczną ramy wykonanej z elementów cienkościennych. *Roczniki Inżynierii Budowlanej, Zeszyt 2/2001*, s. 89÷102, Komisja Inżynierii Budowlanej, Oddział PAN w Katowicach.
- [9] Wuwer W.: Flexible Nodes in Calculations of Thin-Walled Structures. 3rd European Conference on Steel Structures, Proceedings, Volume II, p. 1187÷1198, Coimbra, Portugal, 2002.
- [10] Wuwer W.: Investigations of the lap-joints with blind bolts of cold-formed sections. COST C12 Final Conference: Improving buildings' structural quality by new technologies. University of Innsbruck, Austria, 2005, Proceedings, pp. 725÷732.
- [11] Boltimex: Huckbolt – technologia trwałych nieluzujących połączeń dowolnych konstrukcji. *Katalog produktów*, Katowice
- [12] Wuwer W.: Investigations and calculation of lap-joints with special blind bolts. *Archives of Civil Engineering, Polish Academy of Sciences, Warszawa, LI, 2*, 2005, pp. 253÷280.
- [13] Wuwer W.: Experimental verification of the method of calculation lap-joints in thin-walled constructions. *Archives of Civil Engineering, Polish Academy of Sciences, Warszawa, LIII, 4*, 2007, pp. 663÷681.
- [14] Wuwer W.: Behavior and work of single-cut lap-joints with blind bolts. 4th European Conference on Steel and Composite Structures, Research – Eurocodes – Practice, Eurosteel 2005, Maastricht, The Netherlands, 2005, Proceedings Volume A, pp. 1.2-85÷1.2-92.
- [15] Wuwer W., „The behaviour and design of lap-joints in thin-walled bar constructions“. *Advanced*

- Steel Construcion, an International Journal. Vol. 4, No. 1, March 2008, pp. 59÷83.
- [16] Wuwer W.: Sztywność zginanych zakładkowych połączeń elementów cienkościennych na łączniki mechaniczne. Inżynieria i Budownictwo, Nr 12/2000, s. 683÷688.
- [17] Wuwer W.: The rigidity of flexible lap-joints subjected to complex loads. Progress in Steel, Composite and Aluminium Structures, 2006 Taylor & Francis Group, London, ISBN 0-415-40120-8, pp. 192-193.
- [18] Wuwer W., Kowolik B.: Sztywność naroża w ramie z kształtowników giętych. Roczniki Inżynierii Budowlanej, Komisja Inżynierii Budowlanej, Oddział PAN w Katowicach, Zeszyt 5/2006, s. 84÷87 (współautor: Bernard Kowolik).
- [19] Wuwer W., Zamorowski J., Swierczyna Sz.: Lap joints stiffness according to Eurocode EC3 and experimental investigations results. Archives of Civil and Mechanical Engineering (ACME17). Elsevier 2012, pp. 95÷104.
- [20] Wuwer W., Walentyński R.: Analysis of a lap-joint in a thin-walled structure under combined bending and shearing load. Architecture Civil Engineering Environment, Vol. 3 No. 2/2010, pp. 71÷81. The Silesian University of Technology.
- [21] Wuwer W., Swierczyna Sz.: Rama kratownicowa z kształtowników cienkościennych połączonych sworzniami. Konstrukcje Stalowe, 3/2007, s. 22÷24.
- [22] Wuwer W., Kowolik B.: Projektowanie połączeń jednociętych w ramach z kształtowników giętych na zimno. Konstrukcje Stalowe, nr 2/2009, s. 34÷40.
- [23] Wuwer W., Swierczyna S., Słowiński K.: Nowoczesna technologia sworzniowych połączeń prętów z kształtowników giętych. Materiały Budowlane, Nr 7/2012.
- [24] Słowiński K., Wuwer W.: Technologia wzmacniania stalowych prętów ściskanych o przekrojach zamkniętych i otwartych. Nowoczesne Hale, nr 9/2014, s. 50-54.
- [25] Recommendations for Steel Construction, ECCS-TC7: The Design and Testing of Connections in Steel Sheeting and Sections. Constrado, No. 21, 1990.
- [26] PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [27] PN-EN 1993-1-8 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-8: Projektowanie węzłów (Polish standard). Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: design of joints.
- [28] Słowiński K., Swierczyna Sz., Wuwer W., Zamorowski J.: Podatność połączeń zakładkowych w konstrukcjach stalowych z kształtowników giętych. Inżynieria i Budownictwo, Nr 5-6/2010, s. 327÷331.
- [29] Wuwer W., Zamorowski J., Swierczyna Sz.: Zastosowanie metody składnikowej według PN-EN 1993-1-8 do oceny sztywności połączeń zakładkowych. Inżynieria i Budownictwo, Nr 11/2011, str. 602÷606.
- [30] Słowiński K., Wuwer W.: Badania złożonego elementu cienkościennego z podatnymi połączeniami sworzniowymi. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej (Folia Scientiarum Univesitatis Technicae Resoviensis), Nr 276, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, zeszyt 58, nr 1/2011, str. 409÷420.
- [31] Słowiński K., Wuwer W.: Buckling resistance of closely spaced bars with semi-rigid joints under axial compression. Proceedings of the 7th European Conference on Steel and Composite Structures EUROSTEEL 2014, Napoli.
- [32] Wuwer W.: Ocena podatności połączeń zakładkowych w realizowanych rozwiązaniach konstrukcji z profili giętych na zimno. International Symposium: Semi-Rigid Joints in Metal and Composite Structures, Proceedings, p. 271÷282, Warszawa, 2000.
- [33] Wuwer W., Walentyński R.: Eccentrically loaded lap-joints of thin-walled sections. 3rd International Conference: New Trends in Statics and Dynamics of Buildings, Slovak University of Technology in Bratislava, 2004.
- [34] Zamorowski J., „An assessment of the possibility to analyze latticed towers with joints of curbs susceptible to shifts”. Proceedings Jubilee International Scientific Conference VSU'2008, 29may÷30 may, 2008 Sofia. Vol. I, S. II-87-92.
- [35] Weynand K., Jaspert J.P., Steenhuis M., “The Stiffness of revised Annex J of Eurocode 3”. Connections in Steel Structures III, Ed. by Colson and Zandonini, Pergamon. Oxford, UK, 1996, pp. 441÷452.
- [36] Swierczyna S., Wuwer W.: Kratowa rama cienkościenna z podatnymi połączeniami sworzniowymi. XII Międzynarodowa konferencja naukowo-Techniczna: Konstrukcje Metalowe. Wrocław, czerwiec 2011.

PRELIMINARY ASSUMPTIONS FOR THE AUTHORS' STRUCTURAL SYSTEM FOR BUILDINGS MADE FROM COLD-FORMED SECTIONS WITH PIN JOINTS

ABSTRACT

The paper presents the possibility of application of blind bolts BOM in constructions of building structures made from cold-formed sections. The advantage of the proposed structural system is the possibility of using in the design process tubular sections with rectangular section and also rational shaping of lattice structures with eccentrically connected bars in the nodes, without gusset plates. The proposed technology ensures easy and quick assembly of the construction on building site, using individual bars. The publications were quoted, which enable designers to familiarize themselves with the formulas for the resistance and stiffness of any flexible, overlap connection of two sheets with thickness of 4 and 5 mm – of any: the number of fasteners and their arrangement – subjected to the complex state of load. The issue of designing built-up closely spaced bars with flexible connection of the branches was also discussed. Presented results of experimental studies indicate the necessity of taking into account displacements occurring in the connections of the branches, in the procedure of checking of stability of the bars under consideration.

KEYWORDS

flexible lap joints, blind bolts, cold-formed sections, built-up bars, strengthening, sustainable building