

## STRESZCZENIA

Maciej CWYL, Katarzyna OSTAPSKA, Lesław KWAŚNIEWSKI:

### NUMERYCZNO – DOŚWIADCZALNA ANALIZA NOŚNOŚCI ZAKOTWIENŃ CIĘGIEN STOSOWANYCH W METALOWO - SZKLANYCH ŚCIANACH OSŁONOWYCH.

Ustroje metalowo – szklane projektuje się z zachowaniem odrębnego schematu statyczno – wytrzymałościowego względem podstawowej konstrukcji nośnej realizowanego budynku. Ściany osłonowe podlegają sprawdzeniom, według niezależnych (bardziej restrykcyjnych) warunków nośności i użytkowania (SGN i SGU). Szkielet metalowy ściany osłonowej nie powinien przenosić sił generowanych w trzonie budynku a jedynie w sposób właściwy przekazywać na konstrukcję obiektu oddziaływania od obciążeń klimatycznych, obciążeń stałych oraz technologicznych występujących w powłoce metalowo – szklanej. Szczególną rolę w tych układach konstrukcyjnych pełnią połączenia układów słupowo ryglowych i połączenia elementów usztywniających – cięgien. Są one jednym z podstawowych elementów zapewniających właściwą pracę konstrukcji nośnych ścian metalowo – szklanych. W przypadku systemowych rozwiązań odpowiednie własności i sposób pracy połączeń w układach stężających ścian zapewniają również spełnienie wymogów szczelności na przenikanie wody opadowej, szczelności na infiltrację powietrza i wielu innych cech warunkujących prawidłową pracę przegród. W niniejszym referacie rozpatrzono zastosowania układów cięgowych w konstrukcjach fasadowych i analizowano pracę wybranych detali cięgien, które wpływają na sztywność całych układów prętowych przeszkleń. W szczególności skupiono się na sposobie pracy i rozkładzie naprężeń na powierzchni gwintowanej połączenia zestawu cięgowego. Wyznaczono minimalną liczbę uzwojeń przenoszącą gwarantowaną przez producenta systemowych rozwiązań wartość siły osiowej i przedstawiono przebieg procesu zniszczenia elementu w uzwojeniu z poszczególnymi fazami ścięcia kolejnych skrajnych nitek uzwojenia. Dla przebiegu procesu zniszczenia wyznaczono wartości kolejnych, granicznych skoków siły niszczącej zakotwienie.

**Słowa kluczowe:** cięgna prętowe, zakotwienia metalowe, zakotwienia z gwintem wewnętrznym, połączenia sworzniowe, rektyfikacja cięgien, układy metalowo – szklane.

### NUMERICAL - EXPERIMENTAL ANALYSIS OF LOAD BEARING CAPACITY OF CABLE CONNECTIONS IN METAL - GLASS CURTAIN WALLS

#### Summary

Metal - glass structures such as curtain walls are designed to satisfy separate (more restrictive) strength and stiffness requirements independently to the main structure of the building. A special role in such systems plays a combination of beam to column systems with tendons used as connection stiffeners. Metal structural skeleton of the curtain wall should not transfer any forces generated in the core of the building but only transfer to the main structure the loading generated by environmental effects, dead loads and technological loading applied directly to the glass curtain walls. A special role in these systems is attributed to the girder - column subsystems and to the connections of the stiffeners - tendons. The system should also ensure compliance with the requirements of tightness in the rain water penetration, air infiltration leaks, and many other features determining proper operation of the partitions.

The paper presents applications of the tie rod cladding structures and numerical analyses of detailed elements affecting the structural stiffness of the system. The current research is focused on numerical analysis of local deformation and stress distribution in screw connections. The analyses are conducted using axisymmetric and 3D detailed finite element models equipped with nonlinear material characteristics and contact algorithms. The FE calculations are accompanied by a set of laboratory tests.

**Keywords:** rod ties, metal anchorage, screw connections, cable connections, rectification of connections, metal - glass structures.

DOI: 10.7862/rb.2013.14

Tomasz DOMAŃSKI:

## PROBABILISTYCZNA OCENA NOŚNOŚCI ŁĄCZNIKA W POŁĄCZENIU ZAKŁADKOWYM, W KLASIE NIEZAWODNOŚCI RC3, W TEMPERATURACH NORMALNYCH I POŻAROWYCH

W pracy przedstawiono probabilistyczną metodę wyznaczania nośności łącznika w zakładkowym stalowym połączeniu kategorii A dla obiektów o klasie niezawodności RC3. Obiekty te, takie jak hale sportowe, obiekty kultu religijnego, budynki wysokie, mosty o dużych rozpiętościach budowlane są projektowane z wyjątkowymi wymaganiami bezpieczeństwa definiowanymi w normie PN-EN 1990, w połączeniach tych wymagane jest przeniesienie obciążeń z założonym minimalnym prawdopodobieństwem awarii. Obiekty klasy RC3 wymagające podwyższonych wymagań bezpieczeństwa, definiowane są przez wskaźnik niezawodności  $\beta=4,3$  odpowiadający prawdopodobieństwu awarii  $p_f=8,54 \cdot 10^{-6}$ . W zaleceniach normowych PN-EN 1993-1-8 obliczeniową nośność łącznika w połączeniu zakładkowym kategorii A określa się jako wartość minimalną z obliczeniowych nośności na docisk i na ścinanie. W przedstawionym artykule traktuje się obie te wielkości jako losowe, opisywane probabilistycznymi rozkładami log-normalnymi. Zadaniem pracy jest określenie rozkładów prawdopodobieństwa dla minimów z tych wielkości, podstawowych parametrów probabilistycznych takich jak momentów zwykłych rzędu pierwszego, momentów centralnych rzędu drugiego oraz odpowiednich współczynników zmienności. Zostaną wyznaczone wartości charakterystyczne i obliczeniowe dla minimów nośności połączenia w temperaturach normalnych i pożarowych. Zastosowane zostaną klasyczne metody analizy probabilistycznej oraz metody symulacyjne Monte-Carlo. Istotnym zagadnieniem, które będzie poruszone w artykule jest stałość parametru zmienności w zmieniających się temperaturach pożarowych  $300^{\circ}\text{C}$ ,  $400^{\circ}\text{C}$ ,  $500^{\circ}\text{C}$ ,  $600^{\circ}\text{C}$ . Przeprowadzono badania laboratoryjne – próby rozciągania w każdej temperaturze dla dwóch gatunków stali S235JR, S355JR oraz dwóch asortymentów: kształtowników, prętów. Dla każdej „próby” statystycznej w badanych temperaturach wyznaczono odchylenia standardowe oraz współczynniki zmienności i zbadano ich stałość stosując statystyki Bartletta, które są zbieżne do rozkładu hi-kwadrat. Wyniki testów oraz wnioski przedstawiono na końcu artykułu.

**Słowa kluczowe:** połączenia na śruby, niezawodność, bezpieczeństwo pożarowe.

### RANDOM PARAMETERS OF STEEL FASTENERS SUBJECTED TO SHEAR IN CATEGORY A AND IN RC3 CLASS OF RELIABILITY IN NORMAL AND FIRE TEMPERATURES

#### Summary

The reliability class *RC3* is associated with the consequences class *CC3* [4] and is defined with the reliability index  $\beta = 4,3$ . The characteristic resistance of steel shear connection is obtained as minimum of two variables: bolts resistance and steel body resistance. The determination of partial safety factors within shear connections will be presented according to EN1990. More research is needed on the steel ultimate variance parameters in fire temperatures and on the assumption that the distribution of shear resistance is lognormal. Shear connections have to transfer forces between structural members – steel body and bolts with adequate degree of safety. The load-carrying mechanism of bolted shear connections is complex and analytical methods for predicting the shear resistance are not applicable. The characteristic resistance of steel shear connection was obtained as minimum of two variables: bolts resistance and steel body resistance. Probability functions of this minima were defined and described in this paper. Laboratory tests provide the only practicable basis for specifying safety margins for ultimate strength connections. The determination of partial safety factors within shear connections was presented according to EN1990. In this paper, the results of laboratory tests of strength, modulus of elasticity characteristics in fire temperatures ( $300^{\circ}\text{C}$ ,  $400^{\circ}\text{C}$ ,  $500^{\circ}\text{C}$ ,  $600^{\circ}\text{C}$ ) for two kinds of steel (S235JR, S355JR) and for two kinds of shapes (rolled cross sections) were presented. In order to create probability function of strength characteristics and consequently probability function of failure in fire temperatures the basic question to check is which variation parameter (variance or coefficient of variation) is constant in fire temperatures. The Bartlett's statistic "b" to verify hypothesis which is asymptotically convergent to chi-squared distribution was applied.

**Keywords:** bolted connection, reliability, fire safety  
DOI: 10.7862/rb.2013.15

Marian A. GIŻEJOWSKI, Albashir Ali K. SALEH, Wioleta  
BARCEWICZ, Jacek UZIAK:

## **EFFECT OF POSTLIMITING BEHAVIOUR OF ISOLATED BEAM-TO-COLUMN JOINTS OBSERVED IN FORCE CONTROLLED EXPERIMENTS**

It has been observed that steel and composite steel-concrete beam-to-column joints exhibit in general three main regions of their behaviour, namely a quasi-elastic region at which the joint initial stiffness can be conveniently measured, an inelastic region at which the joint stiffness degrades from its initial value to that corresponding to the joint quasi-plastic moment resistance, and finally a postlimiting region at which the joint stiffness maintains its low value but sufficiently high in order to allow for the joint to reach its ultimate moment resistance. The results of experimental moment-rotation characteristics are used in the Continuous Stiffness Degradation model (CSD model) in which the functions describing the joint moment-rotation characteristic and its first derivative (tangent stiffness) are continuous and take into account the effect of joint postlimiting behaviour modelling of joint characteristics. The accuracy of such modelling is herein examined and discussed. An analytical formulation is presented together with its limitations with regard to adequacy of experimental data available from the force controlled tests conducted at the Warsaw University of Technology. The scope of these tests included three groups of specimens with isolated beam-to-column joints and with a different reinforcement ratio in the hogging region of the reinforced concrete slab.

**Key words:** steel joint, steel-concrete joint, moment-rotation characteristic, post-limit behaviour

## **EFEKT NADWYTRZYMAŁOŚCI WYIZOLOWANYCH WĘZŁÓW BELKA-SŁUP OBSERWOWANY W BADANIACH STEROWANYCH OBCIĄŻENIEM**

### **Streszczenie**

Badania doświadczalne węzłów stalowych i zespolonych stalowo-betonowych wykazały, że charakterystykę moment-obrót węzła można podzielić na trzy zasadnicze zakresy zachowania się, mianowicie: zakres quasi-sprężysty, w którym trwałe odkształcenia lokalne mogą być zignorowane i początkowa sztywność wyznaczona, zakres niesprężysty, w którym następuje sukcesywna redukcja sztywności węzła aż do osiągnięcia nośności węzła rozumianej jako nośność quasi-plastyczna oraz zakres pograniczny, rozumiany jako stan objawiający się nadwytrzymałością węzła. W pracy przedstawiono dyskusję tej problematyki i propozycję modelu obliczeniowego (model CSD), w którym funkcje opisujące charakterystykę węzła w postaci krzywej moment – obrót i jej pierwsza pochodna (sztywność sieczna) są ciągłe i uwzględniają efekt nadwytrzymałości. Wyniki modelowania analitycznego porównano z wynikami badań doświadczalnych przeprowadzonych w Politechnice Warszawskiej. Zakres tych badań obejmował trzy serie elementów badawczych z wyizolowanymi podatnymi węzłami stalowymi i zespolonymi stalowo – betonowymi, łączącymi fragmenty rygli do słupów za pomocą doczołowych połączeń śrubowych ze zlicowanymi i wystającymi blachami czołowymi. Poszczególne serie badawcze były zróżnicowane pod względem stopnia zbrojenia (średnicy prętów zbrojeniowych) płyty stropowej w obszarze działania momentu ujemnego. Z porównania charakterystyk moment – obrót uzyskanych doświadczalnie z charakterystykami otrzymanymi na podstawie przedstawionego w niniejszym opracowaniu modelu CSD, z uwzględnieniem skalibrowanych parametrów modelu, uzależnionych od stopnia zbrojenia płyty stropowej w strefie przywęzłowej, wynika, że model ten dobrze odzwierciedla zachowanie się węzłów stalowych i zespolonych.

**Słowa kluczowe:** węzeł stalowy, węzeł stalowo-betonowy, charakterystyka moment-obrót, nadwytrzymałość

DOI: 10.7862/rb.2013.16

---

Marian A. GIŻEJOWSKI, Aleksander SZWED, Albashir Ali K. SALEH,  
Wioleta BARCEWICZ:

## JOINT MOMENT-ROTATION CHARACTERISTIC IN LIGHT OF EXPERIMENTAL SIMULATIONS OF FRAME COLUMN LOSS

Aspects related to robustness of steel frameworks with semi-rigid steel and steel-concrete composite joints are dealt with. Experimental investigations were carried out for sub-frames fabricated in technical scale. Pushdown tests for steel sub-frames simulated the joint ability to transfer the bending moment and axial force under a column loss scenario. Tests on composite sub-frames were arranged in two stages. The first one was related to a service stage when the slab was under a gravity load and the column to be removed supported. The gravity load was sustained in the second stage when a column loss scenario was simulated. Experiments have shown that composite flush end-plate joints may not be robust enough since their low strength under sagging bending, despite of good ductility, does not allow for the redistribution of internal forces in order to achieve the equilibrium in the residual state after static column removal. Contrary, symmetrical steel and composite joints with extended end-plates on both sides of beam flanges seem to be more robust, despite of their lesser ductility. Robust bending behaviour is possible because extended end-plate joints exhibit a better balance between the strength and rotation capacity that allows to achieve the equilibrium state in case of a static column loss event.

**Keywords:** steel joint, composite joint, sub-frame test, column loss, catenary action, joint ductility, robustness

## CHARAKTERYSTYKA MOMENT-OBROT WĘZŁÓW W ŚWIETLE BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH SYMULUJĄCYCH UTRATĘ NOŚNOŚCI SŁUPA RAMY

### Streszczenie

W pracy rozważano zagadnienia odporności na zagrożenie katastrofą postępującą stalowych konstrukcji ramowych z podatnymi węzłami stalowymi i zespolonymi stalowo-betonowymi. Przeprowadzono badania doświadczalne podukładów ramowych w skali naturalnej. Badania dotyczyły zachowania się węzłów ram stalowych pod wpływem oddziaływania wymuszonego przemieszczeniem, symulującego zdolność węzłów do przeniesienia obciążeń przez zginanie z udziałem sił rozciągających pojawiających się w wyniku utraty nośności słupa ramy. Badania doświadczalne ram z węzłami zespolonymi stalowo-betonowymi przeprowadzono w dwóch etapach. Etap pierwszy dotyczył zachowania się podukładu w stanie użytkowania poprzedzającym zdarzenie wyjątkowe, gdy słup pełnił rolę elementu nośnego, stropy zaś były obciążone kombinacją oddziaływań grawitacyjnych stałego i trwałej części użytkowego. W drugim etapie, podukład z obciążeniem grawitacyjnym jak w etapie pierwszym poddano oddziaływaniom wymuszonym przemieszczeniem słupa symulującym statyczną utratę jego nośności. Na podstawie badań stwierdzono, że zespolone węzły ze zlicowanymi blachami czołowymi nie są wystarczająco odporne na postępującą katastrofę ze względu na niską wytrzymałość przy zginaniu momentem dodatnim i mimo dobrej ciągliwości, nie pozwalają na redystrybucję sił wewnętrznych po statycznej utracie słupa. Natomiast węzły stalowe i zespolone z symetrycznie wystającą blachą czołową wykazują zadowalający poziom odporności na katastrofę postępującą, mimo niższej ciągliwości. Węzły te wykazują lepszy balans pomiędzy nośnością a zdolnością do obrotu, który pozwala uzyskać stan równowagi w przypadku utraty słupa.

**Słowa kluczowe:** węzeł stalowy, węzeł zespolony, badania podukładu ramowego, utrata słupa, ciągliwość węzła, odporność na zagrożenie katastrofą postępującą

DOI: 10.7862/rb.2013.17

---

## TO ADVANCED MODELLING OF END PLATE JOINTS

The behaviour of end plate can be described using various analytical models. The most common analytical approach is component method. However this method can be used only for the joints with specific geometry and specific loading. This method gives reliable results for common endplate joints. On the other hand numerical methods, especially finite element method, can be used for the design of the joints with any geometry and any loading. Many works have been published on the modelling of joints using finite element method. This research have been focused on creating the most accurate numerical models using solid elements. Such models are not applicable for practical design. The aim of author's research is to create rules and recommendations for design of joints using simple elements like shell and beam elements only so that this model can be applied for practical design. Absence of guidelines for creation of numerical model using shell and beam elements and for assessment of the joint components limits using of the numerical methods. The aim of Author's research is creation of guidelines for modelling and assessment of end plate of bolted joints. This paper presents results of experimental and numerical investigation of T-stub, which usually simulate behaviour of the end plate. Two different specimens were prepared and experimentally investigated. Numerical models were created on the base of experimental results.

**Key words:** endplate joint, finite element method, component method, T-stub, complex geometry

## ZAAWANSOWANY MODEL DOCZOŁOWEGO POŁĄCZENIA ŚRUBOWEGO

### Streszczenie

Zachowanie się blachy czołowej może być opisane za pomocą różnych modeli analitycznych. Najczęściej podejściem analitycznym jest metoda składnika. Jednak ta metoda może służyć tylko do połączeń o określonej geometrii i sprecyzowanym obciążeniu. Metoda ta daje wiarygodne wyniki dla wielu połączeń doczołowych. Z drugiej strony metody numeryczne, a zwłaszcza metoda elementów skończonych, może służyć do projektowania węzłów z dowolną geometrii oraz poddanych dowolnemu obciążeniu. Wiele prac zostało poświęconych modelowaniu połączeń metodą elementów skończonych. Badania koncentrowały się na tworzeniu najbardziej dokładne numeryczne modeli za pomocą elementów bryłowych. Takie modele nie są stosowane jednak do stosowania w praktyce projektowej. Celem prac autorów jest stworzenie zasad i zaleceń dotyczących projektowania węzłów przy użyciu prostych elementów jak powłokowych czy belkowych, możliwych do zastosowania w praktyce projektowej. Brak wytycznych dotyczących tworzenia modelu numerycznego przy użyciu elementów belkowych i powłokowych ogranicza użycie metod numerycznych. Celem prac autorów jest stworzenie wytycznych w zakresie modelowania i oceny blachy czołowej w połączeniu śrubowym. W artykule przedstawiono wyniki badania eksperymentalne i modeli numerycznych króćców teowych, które zazwyczaj służą symulacji zachowania się blachy czołowej. Zostały przedstawione wyniki badań doświadczalnych dwóch różnych próbek. Na podstawie wyników badań doświadczalnych zostały stworzone modele numeryczne.

**Słowa kluczowe:** węzeł doczołowe, metoda elementów skończonych, metoda składnikowa, króciec T, złożonej geometria

## **ANALIZA WĘZŁÓW ŚWIETLIKÓW HALI WYKONANYCH WADLIWIE ORAZ POPRAWNIE Z RUR PROSTOKĄTNYCH**

Przedstawiono wadliwą konstrukcję węzłów świetlików podłużnych hali przemysłowej, wykonanych z rur prostokątnych. Efektem tego były pękające w nich szyby. Analizie poddano pracę statyczną świetlików jako konstrukcji przestrzennych, współpracujących z konstrukcją dachu. Siły wewnętrzne w konstrukcji świetlików wyznaczono programem SOFiSTiK. Otrzymane w ten sposób siły ściskające lub rozciągające w ryglach świetlików, stanowiły odpowiednie obciążenia węzłów. Analizowano ponadto, z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES), zachowanie się pod wpływem wyżej wymienionych obciążeń, węzłów wykonanych z rur prostokątnych: wadliwie, poprawnie, a także według proponowanego sposobu naprawy. Było to konieczne, gdyż omawiane w pracy węzły konstrukcji świetlików, nie są ujęte w normie PN-EN 1993-1-8:2006 (/AC:2009 oraz /Ap2:2011). Węzły wykonane wadliwie pokazano na rys. 1., poprawnie – na rys. 8., a zgodnie z propozycją naprawy – na rys. 11. Natomiast zachowanie się węzłów wadliwych pokazano na rys. 6. i 7., poprawnych – na rys. 9. i 10., a wzmocnionych według wdrożonej koncepcji – na rys. 12. Referat zakończono wnioskami i zaleceniami odnośnie do naprawy i poprawnego konstruowania tego typu węzłów.

**Słowa kluczowe:** konstrukcja stalowa, świetlik hali, węzeł, rura prostokątna.

## **ANALYSIS OF FAULTY AND PROPER INDUSTRIAL SKYLIGHTS JOINTS MADE OF HOLLOW SECTIONS**

### **S u m m a r y**

Faulty structure of joints in longitudinal skylights in industrial building made of structural hollow sections is presented. Static analysis is taken into consideration as spatial construction and cooperating with roof structure. Internal forces in skylight bars were determined using SOFiSTiK software. Obtained in that way, compressive and tensional forces were used as proper nodal loads. Moreover, joints were modelled in commercial software Abaqus using finite element method (FEM) to obtain the behaviour under mentioned nodal loads made of rectangular hollow sections: faulty, correctly and according to proposed overhaul. It was necessary, because discussed skylight joints are not referenced to Eurocode PN-EN 1993-1-8:2006 (/AC:2009 and /Ap2:2011). Faulty joints are presented on Fig. 1, proper – on Fig. 8, according to proposed overhaul – on Fig. 11. On the other hand the behaviour of faulty joints is shown on Fig. 6 and 7, proper – on Fig. 9 and 10, according to proposed strengthened – on Fig. 12. Paper ends with conclusions and recommendations about repair and proper construction of that kind of joints.

**Key words:** steel structures, skylights, joint, hollow section.

DOI: 10.7862/rb.2013.19

---

Marcin GÓRSKI, Aleksander KOZŁOWSKI:

## PODATNOŚĆ PODPARCIA PŁATWI NA PODPORZE A JEJ MOMENT KRYTYCZNY

Przedstawiono analizę podatności trzech najczęściej stosowanych w praktyce rodzajów połączeń płatwi z dźwigarem oraz wpływ tych podatności na moment krytyczny płatwi. Badania dotyczyły płatwi wykonanych z kształtowników dwuteowych, o schemacie statycznym belki ciągłej. Każde z połączeń analizowane było w trzech wariantach, różniących się między sobą wysokością zamocowania łączników płatwi do dźwigara. Otrzymane wyniki porównano z teoretycznym założeniem tzw. podparcia widełkowego, stosowanego w obliczeniach projektowych. Podatność połączeń określano na dwa sposoby: za pomocą badań doświadczalnych oraz poprzez analizę modeli połączeń metodą elementów skończonych. Wartości momentu krytycznego również wyznaczano kilkoma drogami. Wykorzystano w tym celu zarówno podstawowy wzór wyprowadzony z teorii sprężystości, jak również programy MES: LTBeam i Autodesk Simulation Multiphysics. Programy te różniły się między sobą stopniem zaawansowania, a także sposobem modelowania płatwi oraz uwzględniania podatności połączeń w obliczeniach momentu krytycznego. Badania doświadczalne i analizy obliczeniowe pozwalają stwierdzić jak zmienia się wartość momentu krytycznego w zależności od zastosowanego typu połączenia. Badania wykazują wzrost odporności na zwichrzenie wraz ze zwiększaniem wysokości zamocowania łączników płatwi do dźwigara. Jednocześnie różnice w wartościach momentu krytycznego dla różnych rodzajów połączeń nie przekraczają 10%. Analiza wykazuje również, że wzór analityczny, stosowany powszechnie w projektowaniu, znacząco zaniża rzeczywiste wartości momentu krytycznego płatwi wieloprzęsłowej, co może powodować niepotrzebne przewymiarowanie konstrukcji.

**Słowa kluczowe:** pław, zwichrzenie, podparcie widełkowe, połączenia, metoda elementów skończonych

## FLEXIBILITY OF THE PURLIN SUPPORT VERSUS CRITICAL MOMENT

### Summary

Analysis of the support flexibility of the three most frequently used in practice types of connections purlins with the girder and their influence on the critical moment of the purlins has been presented. The study focused on I-beam purlins with static scheme of continuous beam. Each connection was analyzed in three options, differing in height of purlin connector attachment to the girder. The results were compared with the theoretical assumption of the fork support which is used in design calculation. Connections flexibility was obtained in two ways: by experimental research and by analysis of connection model using finite element method. The values of critical moment were also determined in several ways. A basic formula derived from the theory of elasticity and programs LTBeam and Autodesk Simulation Multiphysics were used. These programs differed in advancement and the modeling process and also in the way of including the connections' flexibility in calculation of a critical moment. The analysis leads to the observation how the value of a critical moment is changing according to adopted type of connection. Studies show an increase in resistance to lateral-torsional buckling with increasing of height of purlin connector attachment to the girder. Simultaneously the differences in the values of a critical moment for various types of connections do not exceed 10%. Moreover the analysis shows that analytical formula significantly underestimated the actual value of a critical moment for multi-span purlins which may result in unnecessary oversizing of the construction.

**Keywords:** purlin, lateral torsional buckling, fork support, connections, finite element method

DOI: 10.7862/rb.2013.20

---

Paweł KAWECKI, Jan ŁAGUNA, Aleksander KOZŁOWSKI:

## **ANALIZA NOŚNOŚCI DOCZOŁOWEGO STYKU BELKI DWUTEOWEJ Z WIELOMA SZEREGAMI ŚRUB**

Przedstawiono analizę porównawczą MES i metody składnikowej w przypadku zginanego doczołowego połączenia z wieloma szeregami śrub. Analiza obejmuje styk belki dwuteowej o przekroju W760x265x220 z jednym szeregiem śrub na zewnątrz pasa i ośmioma szeregami śrub między pasami. Przyjęto gatunek stali S355 i śruby M24 klasy 10.9. Obliczeniową nośność na zginanie obliczono na podstawie PN-EN 1993-1-8, dla trzech styków z blachami czołowymi o grubości 14 mm, 18 mm i 36 mm, jak dla połączeń sztywnych i podatnych o niepełnej nośności. Te same stany graniczne nośności obliczeniowych na zginanie były analizowane w trzech modelach MES dla połączeń sprężonych i niesprężonych w programie ABAQUS. Właściwość modelowania MES została sprawdzona w przypadku połączenia, które było badane eksperymentalnie. Jako wyniki analizy przedstawiono rozkład sił na poszczególne szeregi śrub w obliczeniowym stanie nośności połączenia na zginanie. Wyznaczono wartości sił w śrubach, sił docisku blach i sił efektywnych przenoszących obciążenie zewnętrzne. Odształcenia plastyczne blach czołowych okazały się niewystarczające dla wyrównania sił w poszczególnych szeregach śrub. Największe wartości sił w śrubach w modelach MES (z wyjątkiem styku niesprężonego z blachami czołowymi o grubości 14mm) były większe od obliczeniowej nośności śrub na rozciąganie. Wykazano różnice między oceną nośności styku metodą składnikową według PN-EN 1993-1-8/6.2.7.2.(9), a nośnością wynikającą z rozkładu sił w szeregach śrub uzyskaną w wyniku analizy MES.

**Słowa kluczowe:** doczołowe połączenie śrubowe, analiza MES, połączenie zginane, metoda składnikowa.

## **ANALYSIS OF THE MOMENT RESISTANCE OF I-BEAM END PLATE CONNECTION WITH MULTIPLE BOLT ROWS.**

### **S u m m a r y**

The comparative analysis FEM and component method of multiple bolt rows end-plate moment connection has been presented. Investigated extended end-plate splice of W760x265x220 beam have one row extended and eight internal bolt rows between beam flanges. Steel S355 and bolts M24-10.9 class are assumed. Design moment resistances of the splice are calculated according to EN 1993-1-8 rules for three connections with end-plate thicknesses 14mm, 18mm, 36mm, as a partial strength, rigid and semi-rigid joints. The same limit states of design moment resistance were analyzed in three FEA models of prestressed and not prestressed connections in ABAQUS program. The adequacy of FEA model was checked through the comparison with other experimental test results. As the results bolt forces distribution in all bolt rows at the design moment resistances of the connections are presented. The main determined results are: internal forces distributions, values of bolt forces, bearing contact forces and effective bolt forces carrying external bending moment. The plastic deformation of the end-plate not sufficiently equalized the bolt forces in all rows. Maximal values of bolt forces in FEA models, except not prestressed splice with 14mm end-plate, was greater than design bolt tension resistance. Differences are pointed out between design moment resistance calculated accordingly to component method in EN 1993-1-8/6.2.7.2.(9) and based on more realistic forces in bolt-rows obtained from FEA models.

**Key words:** end-plate bolted connection, FEM analysis, bending connection, component method.

DOI: 10.7862/rb.2013.21

---



Paweł KAWECKI, Wojciech KAWECKI, Jan ŁAGUNA:

## WYKORZYSTANIE WŁAŚCIWOŚCI POŁĄCZEŃ PŁYT WARSTWOWYCH NA WKRETY W OBLICZENIACH WSPÓŁPRACY POSZYCIA Z ELEMENTAMI KONSTRUKCJI

Przedstawiono właściwości połączeń płyt warstwowych na wkręty samowierzące, w oparciu o wyniki badań i prace wykonane na Politechnice w Karlsruhe. Celem referatu jest pokazanie wykorzystania właściwości połączeń w praktyce inżynierskiej. Płyty warstwowe są powszechnie stosowane jako elementy obudowy dachów i ścian. Mają one dużą sztywność w swojej płaszczyźnie, która może być wykorzystywana przy zabezpieczaniu przed utratą stateczności elementów konstrukcji wsporczych – płatwi dachowych, rygli i słupów ścian. Pokrycia z płyt warstwowych mogą być również traktowane jako przepony tarczowe w szkieletach konstrukcyjnych, szczególnie w budynkach małych lub tymczasowych. W połączeniach płyt są stosowane wkręty wiercone przez całą grubość płyty do konstrukcji wsporczej. Połączenia wkrętami są najsłabszymi i najmniej sztywnymi punktami tych konstrukcji. W obliczeniach przepon wykorzystuje się nośność połączeń na docisk i ich sztywność w odniesieniu do wewnętrznej oraz zewnętrznej ścianki płyty. Sposób obliczeń opiera się na regułach dotyczących stabilizacji elementów konstrukcji wsporczych przez przepony z płyt warstwowych, podanych w Normach Europejskich i Wytycznych ECCS. Przepony z płyt warstwowych i ich połączenia powinny mieć zapewnioną trwałość na cały okres eksploatacji obiektu. Autorzy polecają wykorzystywanie przepon z płyt warstwowych jako stężeń bocznych elementów zginanych lub ściskanych, a także jako ścinanych przepon tarczowych w konstrukcjach. Zastosowanie przepony z płyt warstwowych do stabilizacji płatwi z dwuteowników walcowanych objaśniono na przykładzie.

### BEHAVIOUR OF SANDWICH PANEL SCREW FASTENINGS AND USE IN ANALYSIS OF SHEAR DIAPHRAGM BRACINGS OF SUBSTRUCTURE MEMBERS.

#### Summary

This paper presents the behaviour of sandwich panels screw self-drilling fastenings, on the background of test results and works performed at the Karlsruhe University of Technology. The purpose of this paper is to take advantage of the fastenings behaviour to design substructure members in engineering practice. The sandwich panels are commonly used as a roof and walls decking elements. The high in-plane stiffness of this plates may be taken in to account for lateral bracings of supporting members - roof purlins, wall rails and posts. Sandwich panel systems can also be used as a shear diaphragms in building structures, especially in a small and temporary buildings. Self drilling screws drilled through the plate to substructure elements are used as the fasteners. The fastenings are the weaken points of this structure because of small stiffness and small load bearing capacity. In the design shear panels the bearing resistance and stiffness of internal and external sheet fastenings are most impotent. The design method is supported on the rules for stabilizing substructure elements by sandwich panel diaphragm, according to the European Standards and ECCS Recommendations. Shear sandwich panels and fixings shall have durability for the construction live. Authors recommends shear sandwich panels for the diaphragm lateral bracings of bending or compression elements and also for structural shear diaphragms. The use of shear sandwich panels to stabilize I-section purlins is explained on the example.

**Key words:** Screw connections, Sandwich panels, Shear diaphragm bracings, Lateral bracings.

DOI: 10.7862/rb.2013.22

---

## **BADANIA PODATNYCH WĘZŁÓW ZACZEPOWYCH RYGIEL-SŁUP W STALOWYCH REGAŁACH MAGAZYNOWYCH WYSOKIEGO SKŁADOWANIA**

Stalowe regały magazynowe wysokiego składowania są jedną z najczęściej spotykanych i coraz powszechniej stosowanych szkieletowych konstrukcji cienkościennych. Typowy regał paletowy składa się z ramownicowych układów słupowych, połączonych skratowaniem, zapewniającym wymaganą sztywność w kierunku poprzecznym (Rys.1). W kierunku podłużnym konstrukcja nie jest w żaden sposób sztywna, zaś odpowiednia sztywność układu jest zagwarantowana poprzez sztywność samych słupów, sztywność połączenia słupów nośnych z posadzką oraz sztywność podatnych węzłów zaczepowych rygiel-słup. W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych na jednostronnych węzłach rygiel-słup typowego, niestężonego, systemowego rozwiązania regału paletowego. Próbom poddano dwie grupy rygli, z pełną oraz częściową spoiną łączącą blachę czołową połączenia zaczepowego z rygłem. Zależność pomiędzy momentem zginającym a kątem obrotu dla badanych grup ma dość podobny charakter, jednakże elementy z częściową spoiną przenoszą istotnie mniejszy moment zginający, a zniszczenie ma znacznie gwałtowniejszy charakter. Wartości sztywności określone dla poszczególnych grup węzłów na podstawie różnych dokumentów o charakterze normatywnym wykazują dość istotne różnice. Wskazuje to na konieczność przeprowadzenia dalszych badań oraz doprecyzowania procedury dotyczącej sposobu określania nośności i sztywności węzłów, gdyż znajomość tych parametrów jest niezbędna do prawidłowego zaprojektowania tego typu konstrukcji. Niezawodność

**Słowa kluczowe:** magazynowe regały paletowe, węzły podatne, badania doświadczalne, nośność i sztywność węzłów

## **EXPERIMENTAL TESTS ON SEMI-RIGID BEAM-TO-COLUMN JOINTS IN STEEL STORAGE PALLET RACKS**

### **S u m m a r y**

Steel high storage pallet racks are one of the most common and more widely used skeletal thin-walled structures. A typical pallet rack consists of columnar structural systems, consisting of two separate columns connected with the set of diagonals, that provides the required stiffness in the transverse direction. In the longitudinal direction it is typical sway-frame structure not braced in any way, and the appropriate rigidity of the system is guaranteed by the rigidity of the columns themselves, and the stiffness of the column-to-floor and the beam-to-column semi-rigid joints. In this paper the results of series of experimental tests carried out on unilateral semi-rigid beam-to column joints applied in the typical pallet rack system solution are presented and discussed. The study involved two groups of beams, with full and partial weld seam connecting the front plate of the hooking joint. The relationship between the bending moment and the angle of rotation for the analyzed groups are similar in nature, but the elements with only a partial weld seam transfer substantially smaller bending moment. Stiffness defined for each group of joints based on various normative documents show quite significant differences. This points to the need for further studies to clarify the procedure on how to correctly determine the load capacity and stiffness of this type of joints, the knowledge of which is essential for the proper design of this type of construction. Reliability of the analysed joints affect the safety of the whole structure, which is particularly important because of the increasing use of steel storage racks systems in public areas of huge stores, supermarkets and malls.

**Key words:** storage pallet racks, semi-rigid joints, experimental tests, capacity and stiffness of joints

DOI: 10.7862/rb.2013.23

---

## ANALIZA NOŚNOŚCI I SZTYWNOŚCI BELEK ZESPOLONYCH W ZALEŻNOŚCI OD STOPNIA ZESPOLENIA

Artykuł prezentuje analizę porównawczą nośności i sztywności belek zespolonych stalowo-betonowych w budownictwie powszechnym, w zależności od stopnia ich zespolenia. Celem artykułu jest przybliżenie zasad projektowania belek z uwzględnieniem wpływu stopnia zespolenia na ich nośność i sztywność. Zwrócono uwagę na znaczenie podparcia montażowego kształtownika stalowego w stadium realizacji konstrukcji. Przykłady belek przyjętych do analizy dotyczą podstawowego zakresu zastosowań stropów zespolonych. W obliczeniach uwzględniono belki o rozpiętościach 8,0m, 12,0m i 16,0m w rozstawie 2,5m, zespolone z płytą betonową, o całkowitej grubości 110mm, wykonaną na poszyciu z blachy profilowanej Florstrop. Do zespolenia przyjęto łączniki sworzniowe ciągliwe. Rozpatrywano trzy warianty stopnia zespolenia:  $\eta = 1,0$ ,  $\eta = 0,75$  i  $\eta = 0$ . Ciężar warstw wykończeniowych stropu i jego obciążenie użytkowe przyjęto jednakowe. Nośność belek określono z wykorzystaniem plastycznego rozkładu naprężeń w przekrojach. Sztywność belek zespolonych określono z wykorzystaniem teorii przekroju zastępczego, stowarzyszonego ze sprężystym rozkładem naprężeń. Wpływ efektów reologicznych, to jest, pełzania betonu na ugięcia belek zespolonych, uwzględniono poprzez zastosowanie efektywnego modułu sprężystości betonu według zaleceń normy PN-EN1994-1-1 oraz redukcję przekroju betonu określoną stosunkiem modułów sprężystości stali i betonu. Wyniki obliczeń pozwalają na sformułowanie wniosków wskazujących na przewagę zalet belek zespolonych zaprojektowanych z pełnym zespoleniem w stosunku do rozwiązań o zespoleniu częściowym. Treść rozważań, jak i zaprezentowane w pracy wnioski dotyczą rozwiązań najczęściej stosowanych w praktyce, to jest, belek o schemacie statycznym wolno podpartym.

**Słowa kluczowe:** konstrukcje stalowo-betonowe, belki zespolone, zespolenie częściowe, stopień zespolenia, nośność przekrojów częściowo zespolonych

## ANALYSIS OF THE RESISTANCE AND THE STIFFNESS OF THE COMPOSITE BEAMS, DEPENDING ON THE DEGREE OF SHEAR CONNECTION

### Summary

The paper presents comparative analysis of the resistance and stiffness of the composite beams in the general building, depending on the degree of the shear connection. The aim of the article is presentation of the rules of designing beams, considering the influence of the degree of shear connection on their resistance and stiffness. Special attention was paid to the importance of propping steel sections during erection. The examples of beams examined consider the basic range of composite floors used. The calculations taken into account concerned beams of nominal span 8,0m, 12,0m and 16,0m in equal spacing 2,5m with the concrete slab of the total thickness 110mm. Composite slab was performed with profiled steel sheeting type Florstrop. Composite beams with the use of ductile headed shear connectors have been taken. There were three kinds of degree of connection considered:  $\eta = 1,0$ ;  $\eta = 0,75$  and  $\eta = 0$ . The weight of the final layers of floors and their useful load taken, were the same. The resistance of beams was determined by the use of plastic stress distribution in sections. The stiffness of composite beams was determined by the use of the theory of the equivalent section, associated with elastic stress distribution. The influence of rheology effects, i.e. creeps of the concrete on deflection of beams one took into account across the use of the effective module of the elasticity of the concrete, according to recommendations of the standard PE-EN 1994-1-1. The reduction of the section area of the concrete was determined by ratio of modules of the elasticity of the steel and concrete. Results of calculations lead to conclusion indicative of the advantage of beams designed of the full shear connection in relation to solutions of the partial shear connection. The analysis and presented conclusions concern most general solutions applied in practice i.e. free supported beams.

**Keywords:** steel-concrete structures, composite beams, partial shear connection, degree of shear connection, resistance of sections with partial shear connection

DOI: 10.7862/rb.2013.24

---

Mariusz MAŚLAK, Małgorzata SNELA:

## **REDYSTRYBUCJA SIŁY PODŁUŻNEJ W STALOWYM RYGLU O NARASTAJĄCEJ W POŻARZE ZDOLNOŚCI DO WYDŁUŻENIA**

W pracy dokonano oceny wpływu, jaki na zachowanie się w pożarze rozwiniętym stalowego rygla ramowego ustroju nośnego ma narastająca ze wzrostem temperatury podatność więzów. Celem analizy jest opis redystrybucji termicznie indukowanej siły podłużnej, zatem do badania wybrano rygiel przegubowo połączony ze słupami. W ten sposób węzły zachowują pełną swobodę obrotu przez cały czas pożaru i nie następuje przekazywanie na belkę momentów zginających słupy. W początkowej fazie pożaru w ryglu generowana jest siła ściskająca, rozpychająca węzły. Jeżeli nie ma nałożonego niezależnego ograniczenia na ugięcia, to ich gwałtowny przyrost wraz z rozwojem pożaru powoduje przeciwny efekt ściągnięcia podpór. W wyniku takiej interakcji oddziaływań, przy zredukowanej sztywności giętnej, rygiel pracuje jak poprzecznie obciążone wiotkie ciągnio, a zatem miarodajnym w ocenie bezpieczeństwa staje się warunek nośności na rozciąganie. Malejąca w pożarze sztywność słupów ograniczających rygiel zwiększa jego zdolność do efektywnego wydłużenia, przez co generowana termicznie siła osiowa jest wyraźnie mniejsza. Jest to równoznaczne z odpowiednio większą odpornością ogniową. Prezentowany przykład pokazuje, że zaniedbywanie w tradycyjnych obliczeniach statycznych, odniesionych do wyjątkowej sytuacji pożaru, faktu zmieniającej się wraz ze wzrostem temperatury elementów podatności więzów prowadzi do niemiarodajnych oszacowań realnego poziomu bezpieczeństwa konstrukcji i jej użytkowników. Obserwowany efekt ciągnia będzie jednak możliwy do realizacji jedynie w konstrukcji z odpowiednio skonstruowanymi węzłami, zwłaszcza tymi, które łączą rygle ze słupami. Muszą one bezpiecznie przenosić obciążenia przy relatywnie dużych deformacjach, a przez to zapewniać wystarczającą zdolność do odkształceń całej ramy.

**Słowa kluczowe:** rygiel, słup, rama, pożar, temperatura, siła osiowa, odporność ogniowa, podatność.

## **AXIAL FORCE REDISTRIBUTION IN STEEL BEAM WITH THERMAL ELONGATION CAPABILITY INCREASING IN FIRE**

### **S u m m a r y**

In the article the evaluation is made of the influence of beam thermal elongation capability, increasing with rising temperature of adjoining members, on behaviour of steel framed loadbearing structure under fire conditions. The internal axial force is induced in considered beam as a result of thermal strains constraint, since the limit state condition specified typically for beam-column case becomes conclusive in structural fire resistance assessment. Such compressive force is greater for higher steel temperature; however, this conclusion is usually accurate only for the initial phase of fully developed fire. Having reached the maximum value it starts decrease because of the rapid beam deformation growth, and finally only the tensile force is generated when the beam flexural stiffness becomes insufficient to carry any bending moment. As a result of such redistribution of internal forces the considered beam behaves like transversely loaded flaccid tie and the conclusive limit state is connected with the pure tension. The stiffness of the columns adjoining the examined beam decreases under fire conditions, so the capability of beam thermal elongation in such circumstances is monotonically increasing with the growth of the temperature of structural members. Conclusively, the thermally generated axial force is reduced, then the fire resistance of the whole frame becomes higher. Such catenary effect, discussed in the article, gives the loadbearing structure additional reserve related to its resistance. However, this reserve is possible to be available only when the analysed frame is sufficiently ductile, which means that the significant plastic deformations, induced in the loadbearing structure, can be safely carried.

**Keywords:** beam, column, frame, fire, temperature, axial force, fire resistance, flexibility.

DOI: 10.7862/rb.2013.25

---

## ANALIZA DŁUGOŚCI WSPÓLPRACUJĄCYCH KRÓCCÓW TEOWYCH

Rozwój metod teorii plastyczności i ich zastosowanie w modelach analitycznych oszacowania charakterystyk węzłów spowodował zasadniczą zmianę w metodach projektowania połączeń stalowych. Metoda składnikowa zawarta w normie PN-EN 1993-1-8 stosowana jest do określania nośności i sztywności węzłów. Procedury metody składnikowej nie definiują dokładnie zasad określania zdolności węzłów do obrotu. Ilościowa ocena tej wielkości zależy od kilku czynników, z których długość efektywna krócca teowego jest elementem którego dalsza walidacja jest konieczna. W artykule przedstawiono wyniki analizy MES w odniesieniu do połączeń rozciąganych oraz obciążonych momentem zginającym. Dla nieuźebrowanych rozciąganych połączeń doczołowych opracowano plan eksperymentu numerycznego oparty na planie Hartleya (PS/DS-P:Ha3). Zakresy zmienności czynników badanych przyjęto następująco: grubość blachy czołowej  $t_p$  (6-16 mm), rozstaw śrub  $p$  (80-140 mm), odległość śrub od krawędzi środka  $m$  (30-50 mm). Wpływ usztywnienia blachy czołowej na sposób kształtowania się linii załomów plastycznych sprawdzono w odniesieniu do połączeń usztywnionych jednym i dwoma żebrami. Analizę połączeń doczołowych obciążonych momentem zginającym przeprowadzono dla połączeń z jednym, dwoma oraz trzema szeregami śrub. Zbadano sposób kształtowania się załomów plastycznych połączeń sprężanych i niesprężanych. Opracowany zakres badawczy połączeń jest materiałem pozwalającym na określenie zależności pomiędzy długością efektywną krócca teowego a jego stanem odkształcenia. Długość efektywna krócców teowych jest czynnikiem decydującym w ocenie zdolności węzłów do obrotu.

**Słowa kluczowe:** długość współpracująca, połączenia doczołowe sprężane, krócce teowe

## ANALYSIS OF THE EFFECTIVE LENGTH OF T-STUBS

### Summary

Development of plastic theory and software supporting analysis in steel structure joints caused fundamental change in steel structure connection design methods. Component method included in PN-EN 1993-1-8 is used to define resistance and stiffness of the joints. Procedures of component method do not define exactly rules how to assess rotation capacity of the joints. Quantitative assessment of this parameter depends on many factors, from which T-stub effective length is the one which requires further validation. In the paper, results of analysis by finite elements method in relation to tensioned and bending moment connection are shown. In the executed by finite element method analyses impact of bolt spacing and end plate thickness on forming plastic mechanism has been checked. For tensioned connection without stiffeners plan of numerical experiment based on Hartley's plan (PS/DS-P:Ha3) has been prepared. Range of studied factor was established as follows: front plate thickness  $t_p$  (6-16 mm), bolts spacing  $p$  (80-140 mm) and distance of bolts from the the edge of web  $m$  (30-50 mm). Effect of end plate stiffening on forming of plastic mechanism has been checked for connections stiffened by one and two ribs. Analysis of end plate connections loaded by bending moment has been executed for connections with one, two and three rows of bolts. The way of forming plastic mechanism for prestressed and not prestressed connections has been investigated. Developed scope of research allows to define relation between collaboration length of T-stub and state of deformation. Effective length of t-stubs is determining factor in assessing the rotation capacity of the joints.

**Keywords:** effective length, prestressed end-plate connections, t-stubs.

DOI: 10.7862/rb.2013.26

---

Zdzisław PISAREK:

## OBLICZANIE DOCZOŁOWYCH POŁĄCZEŃ ŚRUBOWYCH ZGINANYCH UKOŚNIE

Połączenia doczołowe śrubowe są najczęściej stosowane w konstrukcjach ramowych. W tych konstrukcjach poddane są one zazwyczaj zginaniu w płaszczyźnie ramy. Jednak w konstrukcjach przestrzennych dosyć często mogą występować momenty zginające połączenie w dwóch płaszczyznach. Ze względu na swoje rozmieszczenie, łączniki w takich węzłach mogą być obciążone dodatkowymi siłami wynikającymi z sumowania się momentów, lub przeciwnie, moment działający z płaszczyzny ramy odciąża łączniki lub wpływ tego momentu może być pominięty. Reguły projektowe zawarte w normie PN-EN 1993-1-8 [1] odnoszą się jedynie do połączeń doczołowych obciążonych jednokierunkowo. Projektanci często stają przed problemem jak uwzględnić wpływ momentu w drugorzędno na nośność połączenia w płaszczyźnie ramy. Najczęściej stosowane są dodatkowe łączniki, które mają przenosić moment zginający z płaszczyzny ramy. Ze względu jednak na konfigurację połączenia, łączniki te mogą być dodatkowo obciążone momentem w płaszczyźnie ramy, a wypadkowe siły w łącznikach mogą przekroczyć ich nośność. W referacie przedstawiono propozycję obliczania doczołowych połączeń śrubowych obciążonych momentami w dwóch płaszczyznach. Przedstawiono dwie metody obliczania takich połączeń; metodę wypadkowego momentu zginającego i metodę sumowania sił. Zaproponowane modele analityczne są łatwe do zastosowania, gdyż opierają się na preferowanej przez obecnie obowiązującą normę [1] metodzie składnikowej. W celu weryfikacji założeń w rozważnych modelach analitycznych, wyniki obliczeń porównano z dostępnymi w literaturze wynikami badań doświadczalnych.

**Słowa kluczowe:** połączenia śrubowe doczołowe, zginanie dwukierunkowe, metoda składnikowa, projektowanie.

## CALCULATION OF THE BOLTED END-PLATE JOINTS SUBJECTED TO TWO AXIS BENDING

### Summary

End plate bolted connections are most often applied in frame structures. Normally they connecting H or I sections. In these structures joints are designed for in-plane bending only. However in spatial structures often appear both in-plane and out – of- plane bending moments. Bolts in such joints due to its location can be loaded with additional forces resulting from the aggregation of the moments in and out of plane or the moment working out of plane deload connectors or impact of this moment can be omitted. Design rules contained in the standard PN-EN 1993-1-8 [1], related only to end plate connections subjected to in-plane bending. Designers often face the problem of how to take account of the influence of the secondary moment on resistance of a connection in the plane of the frame. Most commonly are used additional connectors to transfer from the plane of the frame. However, due to the configuration of the joint, these bolts can be subjected to load a moment in the plane of the frame, and the resultant force in the connector can exceed their strength.

In the paper the proposal method of calculation of the end plate joints H or I section subjected to in-plane and out-of-plane bending are introduced. The proposal method is based on component method preferred in Eurocode. Comparison of calculations results according to presented method with an numerical analysis of MES method is also presented.

**Keywords:** bolted end-plate connections, two axis bending, component method, design.

DOI: 10.7862/rb.2013.27

---

Bogdan STANKIEWICZ:

## **PARAMETRYCZNA ANALIZA PODATNOŚCI ŚRUBOWYCH STYKÓW DOCZOŁOWYCH DWUTEOWYCH BELEK STALOWYCH METODĄ ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH**

Dokładność obliczeń sił wewnętrznych w układach prętowych można zwiększyć uwzględniając rzeczywistą sztywność połączeń. Charakterystyki połączeń można wyznaczyć wykonując obliczenia komputerowe z wykorzystaniem modeli MES. W referacie przedstawiono analizę styków belek wykonaną metodą elementów skończonych. Celem analizy było uzyskanie krzywych moment zginający – kąt obrotu. Po utworzeniu modelu MES wykonano obliczenia śrubowych styków doczołowych dwuteowych belek walcowanych. Przyjęto kształt styków i ich wymiary w sposób typowy dla styków belek stropowych. Modele styków utworzono wykorzystując program metody elementów skończonych ADINA. Program ADINA umożliwia uwzględnienie nieliniowości materiałowych i geometrycznych oraz modelowanie stref kontaktowych wraz z wpływem tarcia. Spełnia więc wszystkie podstawowe wymagania, aby z jego pomocą analizować doczołowe połączenia śrubowe. Największym problemem przy modelowaniu połączeń doczołowych jest stworzenie wystarczająco dokładnego modelu śruby. Dużą trudność stanowi modelowanie gwintu śruby i nakrętki w obszarze ich kontaktu. W użytym modelu do wykonania prezentowanej analizy śrubę modelowano tak, aby jej podatność przy obciążeniach osiowych odpowiadała podatności śrub określonej na podstawie badań eksperymentalnych. Wymagało to dostosowania parametrów modelu materiałowego w obszarze kontaktu gwintów śruby i nakrętki. Model utworzono w sposób umożliwiający łatwą zmianę parametrów geometrycznych i materiałowych charakteryzujących połączenie. Wykonano obliczenia styków belek wykonanych z dwuteowników IPE240, IPE 270 i IPE300, stal S235. Grubości blach doczołowych wynosiły 12 i 20mm, w styku zastosowano po cztery śruby M20 klasy 10.9 bez wstępnego sprężenia i w pełni sprężone. Wartość maksymalnego sprężenia ustalono zgodnie z zaleceniami Eurokodu. Zamieszczono podstawowe wyniki obliczeń pozwalające na ich praktyczne zastosowanie: wykresy krzywych moment zginający – kąt obrotu. Wyniki można wykorzystać w zaawansowanych obliczeniach statycznych belek uwzględniających podatności połączeń.

**Słowa kluczowe:** konstrukcje stalowe, połączenia śrubowe, połączenia doczołowe, metoda elementów skończonych

## **PARAMETRIC ANALYSIS OF STIFFNESS OF BOLTED END-PLATE CONNECTIONS OF I BEAMS USING FINITE ELEMENT METHOD**

### **S u m a r y**

The accuracy of analysis of structures consisted of beams and columns can be increased by considering a real rigidity of connections. Characteristic of the joints can be found using FEM models. The objective of the analysis was to find moment-rotation curves. The analysed splices were shaped considering typical recommendations for such connections. A computer model was developed using finite element program ADINA. The program ADINA enables considering of material and geometrical nonlinearities and modelling contact regions between components of the connection with the influence of friction, so it can be use to model bolted connections. Three dimensional finite elements were used to model I-beams, end-plates and bolts. A big problem in FEM modelling of bolted connections is creation of accurate enough model of bolts. It pertains modelling of the threads in the contact zone. The principal criterion for modelling of bolts was obtaining compliance with the results of experimental test of bolts subjected to axial loads. This involved adapting the material model parameters of the threads of the screw and the nut in the contact zone. The FEM model can be easy changed in order to consider other dimensions and materials. Results show moment –rotation curves for IPE240, IPE270 and IPE300 I-beams, the thicknesses of end-plates were 12mm and 20mm. Considered elements were made of S235 steel, M20 bolts of class 10.9 were used. Analysis was done for non-preloaded and preloaded bolts. The results can be used in advanced structural analysis of beams and frames.

**Keywords:** steel structures, bolted connections, end-plate connections, finite element method

DOI: 10.7862/rb.2013.28

-----

Szymon SWIERCZYNA, Walter WUWER:

## WSTĘPNE BADANIA NOŚNOŚCI NA DOCISK ZAKŁADKOWYCH POŁĄCZEŃ NA SWORZNI JEDNOSTRONNE

W referacie przedstawiono badania doświadczalne, których celem było określenie nośności na docisk jednociętych połączeń sworzniowych ścianek kształtowników giętych na zimno z blach. Złącza wykonano za pomocą sworzni jednostronnych HUCK BOM o wysokiej wytrzymałości, które po osadzeniu szczelnie wypełniają uprzednio wywiercony otwór. Ścianki elementów próbnych o jednakowych grubościach 3, 4 i 5 mm wykonano ze stali tego samego gatunku tj. S235, jednak dla każdej grubości blach ustalono odmienne parametry wytrzymałościowe. Do łączenia ścianek grubości 3 mm użyto sworzni BOM R10 i R16 o średnicach, odpowiednio, 8,5 mm oraz 13,6 mm, a do łączenia ścianek o grubościach 4 i 5 mm użyto sworzni BOM R16. Łącznie przebadano 24 elementy próbne. W referacie przedstawiono przebieg badania oraz sposób zniszczenia połączeń. Wyniki zilustrowano na wykresach zależności między obciążeniem pojedynczego sworznia siłą ścinającą i wzajemnym przemieszczeniem łączonych ścianek. Zachowanie się złączy opisano za pomocą funkcji wykładniczej. Ze względu na znaczną odkształcalność połączeń, jako kryterium nośności przyjęto wartość obciążenia, któremu odpowiada wzajemne graniczne przemieszczenie równe 3,0 mm. Zaproponowano wzory, za pomocą których nośność połączenia na docisk dla dowolnej wartości przemieszczenia granicznego można obliczyć na podstawie wytrzymałości na rozciąganie stali łączonych ścianek ich grubości oraz średnicy łącznika. Uzyskano dobrą zgodność wyników doświadczalnych z wartościami uzyskanymi na podstawie proponowanych wzorów.

**Słowa kluczowe:** połączenia zakładkowe, sworznie jednostronne, nośność na docisk

## PRELIMINARY INVESTIGATION ON BEARING RESISTANCE OF BLIND BOLT LAP-JOINTS

### Summary

The paper presents an experimental investigation, which aim was to determine the bearing resistance of the single cut bolt joint of cold-formed steel sections. Joint were made by means of high strength blind fasteners HUCK BOM, which after embedding tightly fill the previously drilled hole. The walls of test elements with same thicknesses 3, 4 and 5 mm, were made of the same steel grade, ie S235, but for each plate thickness different set of strength parameters were determined. To connect walls 3 mm thick BOM R10 and R16 bolts were used with diameters, respectively, 8.5 mm and 13.6 mm, and to connect walls 4 and 5 mm thick BOM R16 bolt was used. A total of 24 elements were tested. This paper presents the conduct of the tests and failure mode of the joint. The results are illustrated on the diagrams of the relationship between the shearing force acting on a single bolt and mutual displacement of joined walls. The behaviour of the joints was described by an exponential function. Because of the large deformability of connections, as a criterion for the bearing resistance the load corresponding to the mutual deformation equal to 3.0 mm was taken. The formulas was purposed, by which the bearing resistance can be calculated basing on the tensile strength of the steel plates, their thickness and diameter of the fastener for any value of deformation limit. A good consistency of the experimental results with the values obtained on the basis of the proposed formulas was achieved.

**Keywords:** lap joints, blind bolts, bearing resistance

DOI: 10.7862/rb.2013.29

---



Elżbieta SZMIGIERA:

## 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

## 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

---

Lucjan ŚLĘCZKA:

## ZACHOWANIE ŚRUBOWYCH WĘZŁÓW DOCZOŁOWYCH OBCIĄŻONYCH W SPOSÓB POWTARZALNY

Współczesne normy projektowania konstrukcji metalowych zalecają uwzględniać w analizie układów ramowych wpływ zachowania się węzłów. Podstawą opisu takiego zachowania jest charakterystyka moment-kąta obrotu  $M-\phi$ , której głównymi parametrami są nośność przy zginaniu węzła  $M_{j,R}$ , początkowa sztywność obrotowa  $S_{j,ini}$  oraz zdolność do obrotu  $\phi_C$ . Ocena właściwości strukturalnych węzłów obciążonych w sposób monotoniczny może zostać przeprowadzona za pomocą tzw. metody składnikowej, której główne zasady zawarte są w normie PN-EN 1993-1-8. Tymczasem rzeczywisty charakter obciążeń jest sumą oddziaływań stałych i zmiennych. Najczęściej występującymi obciążeniami zmiennymi w przypadku obiektów budownictwa ogólnego są oddziaływania wiatru, śniegu i obciążeń użytkowych. Pomijając obciążenie wiatrem, które jest najczęściej przenoszone przez kratowy układ stężający, łączny skutek obciążeń stałych i zmiennych, takich jak śnieg czy obciążenie użytkowe wobec ich stałego (grawitacyjnego) zwrotu działania powoduje przeważnie powstanie tętniącej zmienności oddziaływań, niezminiającej znaku. Praca przedstawia analizę zachowania się śrubowych węzłów doczołowych poddanych różnym typom oddziaływania powtarzalnego, przy sterowaniu wartością kąta obrotu. Rozpatrzono trzy węzły z blachą wpuszczoną, o niepełnej nośności. Parametry geometryczne dobrano w nich tak, aby o nośności monotonicznej decydowały różne mechanizmy zniszczenia blachy czołowej i śrub rozciąganych. Oprócz obciążenia monotonicznego rozpatrzono trzy typy historii obciążenia zmiennego. Wyniki wskazują, że w przypadku niedużego zakresu zmienności obciążenia zachowanie węzłów w drugim i kolejnych cyklach obciążeń jest już czysto sprężyste, w przypadku zaś większych zakresów zmienności mogą pojawiać się w nich zjawiska degradacji nośności i sztywności.

**Słowa kluczowe:** węzły ram, połączenia podatne, metoda składnikowa, obciążenia powtarzalne

## BEHAVIOR OF BOLTED END-PLATE JOINTS SUBJECTED TO REPEATED ACTIONS

### Summary

Modern structural codes recommend to take into account the effects of the behaviour of the joints on the distribution of internal forces and moments in frame structures. The structural properties of beam-to-column joints are expressed in the form of moment-rotation relationship ( $M-\phi$ ) and can be effectively predicted by the component method. But such prediction is valid only in case of monotonic loading. Under variable actions (cyclic or repeated) structural properties of joints can deteriorate in terms of strength, stiffness and energy dissipation capacity, and the effects of this deterioration influence the distribution of forces and moments and overall global behaviour of structure. The paper presents analysis of steel bolted end-plate joints, subjected to different histories of repeated actions, with control of rotation range. There were considered three partial-strength flush end-plate joints. Their geometrical parameters were differentiated in such a way, so that the three failure modes of end-plate in bending and bolt in tension, distinguished by EN 1993-1-8, were possible. Apart from monotonic loading, there were considered three types of repeated loading histories. Results shows, that in case of actions characterised by small range of variation, behaviour of joint is pure elastic in second and next cycles of loading, but in case of actions characterised by greater range of variation, deterioration of strength and stiffness can occur.

**Keywords:** frame joints, semi-rigid joints, component method, repeated actions

DOI: 10.7862/rb.2013.31

---

Izabela TYLEK, Krzysztof KUCHTA:

## WPLYW PODATNOŚCI WĘZŁÓW NA PRZECHYŁ ZASTĘPCZY W POZASPRĘŻYSTEJ ANALIZIE SZKIELETÓW STALOWYCH

Zgodnie z zaleceniami współczesnych norm projektowania stalowych konstrukcji prętowych imperfekcje wprowadza się do modelu obliczeniowego już na etapie analizy statycznej. Najczęściej są to zastępcze imperfekcje geometryczne w postaci zastępczego przechyłu wstępnego szkieletu stalowego oraz zastępczego wygięcia wstępnego pręta ściskanego, które pozwalają pośrednio uwzględnić także imperfekcje różne od geometrycznych. W niniejszej pracy zagadnienia dotyczące imperfekcji analizowano przy zastosowaniu podejścia statystycznego, wykorzystując prętowo-tarczowy model szkieletu wielokondygnacyjnego wraz ze statystycznie uzasadnionymi imperfekcjami geometrycznymi. Wykorzystano model efektywnego losowego zastępczego przechyłu wstępnego sformułowanego przez Machowskiego na podstawie analizy statystycznej losowych przechyłów wstępnych słupów dla populacji szkieletów stalowych mających cechy próby reprezentatywnej. Celem pracy była wstępna analiza wpływu podatności węzłów na wartość statystycznie uzasadnionego zastępczego przechyłu wstępnego szkieletu w kontekście obowiązujących norm polskich. Obliczenia porównawcze przeprowadzono na przykładzie 9. kondygnacyjnego budynku o szkielecie stalowym, dla którego przyjęto dwuwymiarowy model prętowy o regularnej siatce dyskretyzacji. Konstrukcja była analizowana w zakresie sprężysto-plastycznym, model konstrukcji uwzględniał nieliniowość materiałową oraz nieliniowości geometryczne w postaci dużych przemieszczeń (tj. dużych translacji i dużych obrotów) oraz efekt wzmocnienia naprężeniowego. Zachowując nieodkształconą geometrię układu do modelu wprowadzono zastępcze poziome obciążenie imperfekcyjne związane zastępczymi losowymi przechyłami wstępnymi poszczególnych pięter lub zastępczym przechyłem wstępnym całego szkieletu. Jako kryterium wyznaczenia wyznaczania zastępczego losowego przechyłu wstępnego całego szkieletu przyjęto warunek zachowania przyrostu pracy

**Słowa kluczowe:** przechył zastępczy, szkielety stalowe, analiza pozasprężysta, węzły podatne

## INFLUENCE OF JOINTS RIGIDITY ON STEEL BUILDING FRAMES EQUIVALENT TILT IN POST-ELASTIC ANALYSIS

### Summary

According to contemporary standard recommendations for design of steel structures imperfections are taken into account in the stage of static analysis. Most often these are equivalent geometrical imperfections in the form of equivalent initial tilt of frame as a whole and equivalent initial bow of compressed bar which indirectly allow to take into consideration also imperfections other than geometrical. In this paper imperfection problems were analyzed with the use of statistical approach, utilizing bar-disk model of multistory building frame and statistically based geometrical imperfections. Model of effective random equivalent initial tilt formulated by Machowski on the basis of steel skeleton column initial tilts statistical analysis was used.

The aim of this paper was analysis influence of joints rigidity on statistically based frame equivalent initial tilt value in the context of Polish standards currently in force. Comparative calculations were conducted for exemplary 9-story steel building frame. Two-dimensional bar structure model with regular mesh and elastic-plastic (bilinear) model of material was assumed. Large displacements (translations and rotations) and effect of stress stiffening were taken into account. Random initial tilts of column or whole structure were introduced in the form of random horizontal equivalent forces. Random equivalent initial tilt for frame as a whole was determined according to criterion of imperfectional forces work increase for limit point on equilibrium path. In analyzed case values of frame random equivalent initial tilts turned out to be dependent on joint rigidity what indicates need of further analysis of described phenomenon.

**Keywords:** equivalent tilt, steel skeletons, post-elastic analysis, semi-rigid joints

DOI: 10.7862/rb.2013.32

---