

# Badania podatności wspornika stalowego do mocowania płatwi lub rygli ściennych



dr inż.  
**JAN GIERCZAK**  
Politechnika Wroclawska,  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego,  
Katedra Konstrukcji Budowlanych  
**ORCID: 0000-0003-3219-1844**



dr inż.  
**RAJMUND L. IGNATOWICZ**  
Politechnika Wroclawska,  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego,  
Katedra Konstrukcji Budowlanych  
**ORCID: 0000-0003-3663-0170**

W artykule przedstawiono wyniki badań tzw. siodełka przeznaczonego do mocowania płatwi dachowych i rygli ściennych. Wykonano analizy numeryczne badanego elementu, wykorzystując oprogramowanie (SOFiSTiK) oparte na metodzie elementów skończonych.

Elementy obudowy hali w postaci płatwi dachowych lub rygli ściennych są mocowane do konstrukcji głównej za pomocą tzw. siodełek. „Siodełka” to krótkie stalowe wsporniki, które mocuje się za pomocą śrub do pasa górnego rygla lub pasa zewnętrznego słupa ramy. Pełnią one bardzo ważną funkcję, zabezpieczając bowiem przed obrotem i przemieszczeniem z płaszczyzny płatwi lub rygli w miejscu mocowania oraz przekazując siły pochodzące od stabilizacji układu poprzecznego (rys. 4.). Odpowiednia sztywność oraz nośność takiego elementu jest szczególnie ważna w przypadku, gdy płatwie lub rygle pełnią rolę elementów stabilizujących przed zwichrzeniem układu poprzecznego hali. Wiele prac badawczych podejmuje problem analizy zwichrzenia samych płatwi dla różnych konfiguracji obciążenia, nie rozpatrując wpływu podatności podpory z płaszczyzny zginania płatwi [1], [2], [21]. Współczesne badania skupiają się na określeniu wpływu rozwiązania konstrukcyjnego połączenia płatwi z poszyciem dachu na nośność elementu [3],

[4]. Autorzy w ramach większych prac badawczych wykonali badania doświadczalne w skali naturalnej podatności i nośności typowych elementów do mocowania płatwi dachowych lub rygli ściennych, tzw. siodełek. Elementy do badań w postaci krótkich wsporników zakończonych blachą czołową (gr. 12 mm, S235) wykonano z profili formowanych na zimno o przekroju ceowym C 160 × 60 × 5 mm ( $f_y = 390 \div 420$  MPa). Elementy były badane na zginanie z wymuszeniem przemieszczeń i rejestracją wartości obciążenia.

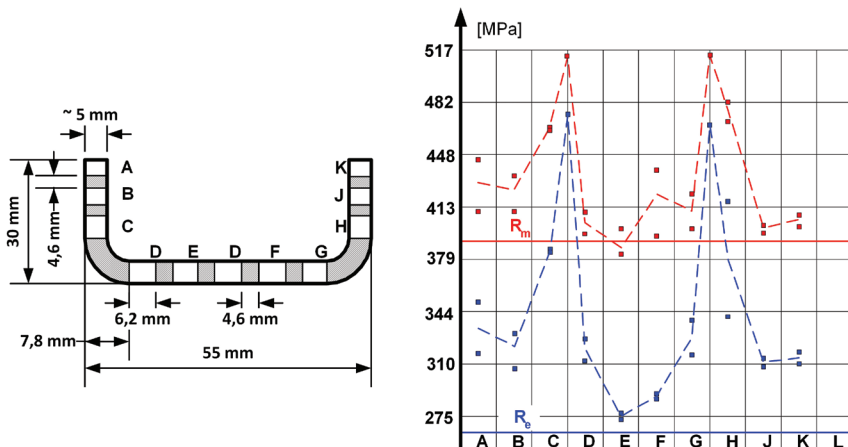
## Właściwości mechaniczne kształtowników formowanych na zimno

Przedmiotem badań doświadczalnych były elementy wspornikowe wykonane z profilu formowanego na zimno C 160 × 60 × 5 mm ( $f_y = 390 \div 420$  MPa). Kształtowniki formowane na zimno charakteryzują się tym, że są zaliczane do profili cienkościennych oraz nabywają pewne cechy strukturalne i materiałowe

po zakończeniu procesu formowania na zimno. Do najciekawszych należy zaliczyć naprężenia własne [5] oraz efekt wzmocnienia materiału w narożu uformowanym przez stopniowe zaginanie blachy na zimno. Z uwagi na niewielkie gabaryty elementu autorzy poświęcili więcej uwagi drugiemu z wymienionych efektów, czyli umocnieniu materiału w narożu.

Odształcenie na zimno w czasie formowania profilu poprzez rozciąganie lub zagięcie zmienia właściwości mechaniczne w strefie odształconej, powodując tzw. zgniot materiału stali [6], [7], [8], [9], [10]. Zmniejsza się wydłużalność zmierzona w próbie na rozciąganie. Technologia formowania kształtownika wpływa na wielkość i rozkład odształceń w przekroju poprzecznym. Formowanie na prasie krawędziowej nie powoduje odształceń plastycznych ścian płaskich kształtownika; efekt zgniotu koncentruje się w narożu. Natomiast profilowanie na giętarcie rolkowej powoduje pewne odształcenia ścianek płaskich, oczywiście największe odształcenia plastyczne występują w narożu.

W przypadku gdy występuje wydłużenie blachy w jednym kierunku, to dodatkowe wydłużenie materiału w tym samym kierunku, w którym materiał został poprzednio rozciągnięty plastycznie, powoduje wzrost granicy plastyczności  $f_y$  i nieco mniejszy przyrost wytrzymałości doraźnej  $f_u$ . Dodatkowe skrócenie w kierunku poprzedniego wydłużenia podnosi nieznacznie granicę plastyczności  $f_y$  – w literaturze nazwano to efektem Bauschinger'a. Dodatkowe skrócenie w kierunku prostopadłym do uprzedniego rozciągania powoduje wyraźne podniesienie granicy plastyczności  $f_y$ , zaś dodatkowe wydłużenie w kierunku prostopadłym do uprzedniego wydłużenia wprowadza niewielkie zmiany granicy plastyczności  $f_y$  albo nie zmienia



Rys. 1. Rozkład granicy plastyczności i doraźnej wytrzymałości na rozciąganie wg Karrena [11]

jej wcale – nazwano to odwrotnym efektem Bauschinger'a.

Karren i Winter [11], [12], jako jedni z pierwszych, wyznaczyli charakterystyki wytrzymałościowe w narożach kształtowników formowanych na zimno. Rozpatrywali trzy sposoby formowania: kształtowanie na giętarce rolkowej, kształtowanie w prasie do gięcia i kształtowanie przez wytłaczanie. Stwierdzili, że obróbka na zimno zwiększa granicę plastyczności  $f_y$  i wytrzymałości doraźnej  $f_u$  oraz zmniejsza wydłużalność stali. Charakter tych zmian przypisywali do następujących czynników: skład chemiczny stali, historia procesu formowania, typ i wielkość deformacji plastycznych. W efekcie tych badań Karren [11] zaproponował wyrażenie do obliczania granicy plastyczności w narożu:

$$f_{y,naroże} = B_c \times f_y \times \frac{1}{\left(\frac{r}{t}\right)^k} \quad (1)$$

gdzie:  $B_c = 3,69 \cdot (f_u/f_y) - 0,819 \cdot (f_u/f_y)^2 - 1,79$ ;  $k = 0,192 \cdot (f_u/f_y) - 0,068$ ,  $t$  – grubość ścianki,  $r$  – wewnętrzny promień zagięcia naroża. Równanie (1) jest prawdziwe przy założeniach:  $r/t < 7$  i  $f_u/f_y < 1,2$  i kąt zagięcia naroża nie większy niż  $120^\circ$ .

Podobne badania prowadzili Abdel-Rahman i Sivakumaran [13]. Badali oni naroża ceowników giętych na zimno o wymiarach przekroju  $200 \times 12,5$  mm,  $200 \times 6,25$  mm,  $200 \times 1,91$  mm,  $101,5 \times 1,22$  mm. Zauważali, że wartości wyznaczone wg wzoru (1) są średnio większe o 26% – 51% od wartości otrzymanych w badaniach doświadczalnych, dlatego wprowadzili modyfikację wyrażenia (1) do postaci:

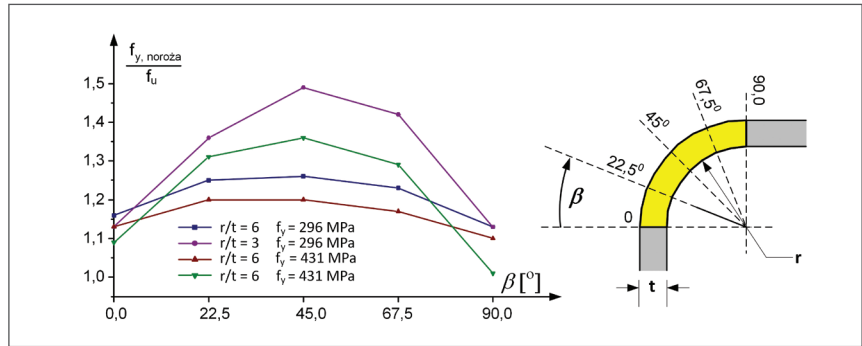
$$f_{y,naroże} = 0,6 \times B_c \times f_y \times \frac{1}{\left(\frac{r}{t}\right)^k} \quad (2)$$

gdzie: oznaczenia jak w (1). Podobnie Bogojawlenskij [15] podaje gotowe wyrażenia do oszacowania granicy plastyczności i granicy doraźnej wytrzymałości dla stali na rozciąganie w narożu uformowanym na zimno, uzależniając jedynie ich wartość od całkowitego kąta zagięcia:

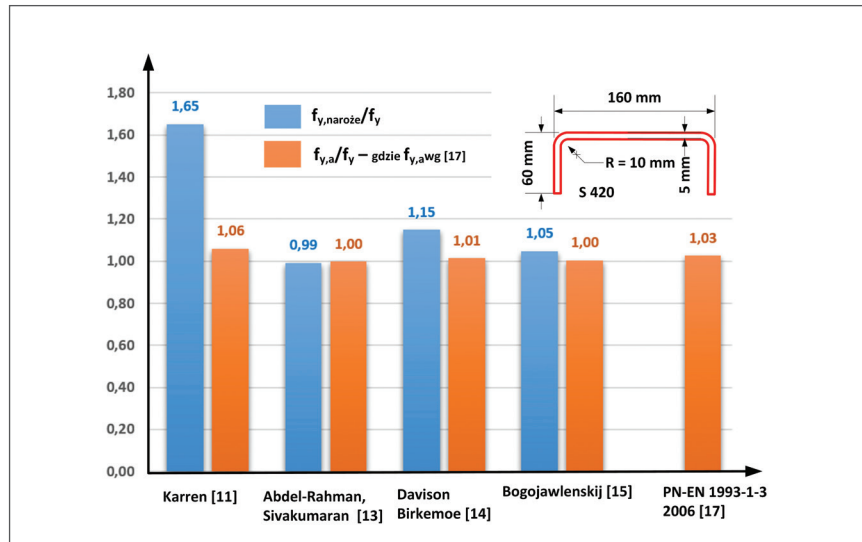
$$f_{u,naroże} = f_u + 1,49 \times \alpha + 1,41 \times \alpha^2; \alpha \in (0, \frac{2}{3}\pi), [MPa]. \quad (3)$$

$$f_{y,naroże} = f_y + 6,63 \times \alpha + 0,91 \times \alpha^2; \alpha \in (0, \frac{2}{3}\pi), [MPa]. \quad (4)$$

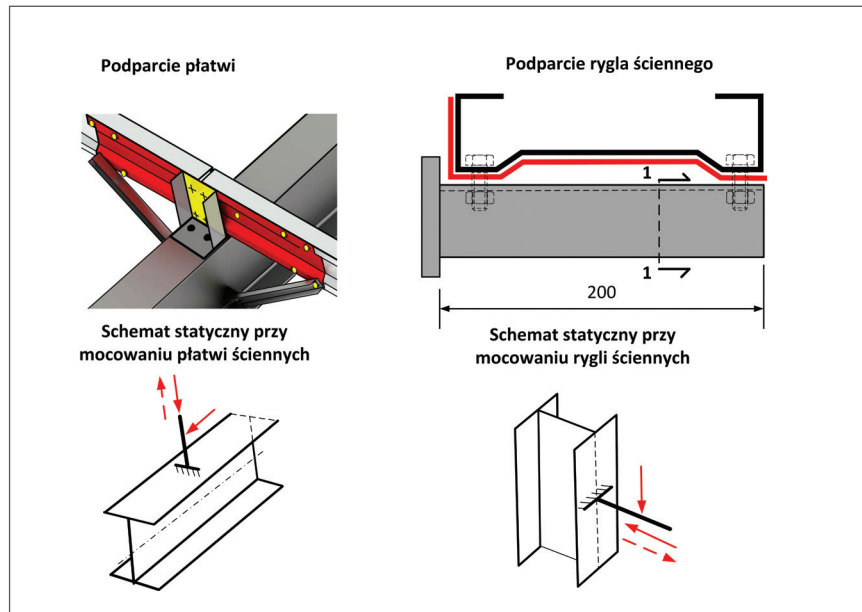
gdzie:  $f_y$ ,  $f_u$  – granica plastyczności i granica doraźnej wytrzymałości na rozciąganie rodzimego materiału w [MPa], – całkowity kąt zagięcia uformowanego naroża w [rad]. Ciekawym zagadnieniem bezpośrednio związanym z procesem formowania na zimno jest rozkład cech mechanicznych po długości rozwinięcia naroża. Badania w tym zakresie prowadzili Wei Luan, Yuan-Qi Li [4]. Wynika z nich, że wspomniany rozkład jest nierównomierny. Największe zmiany strukturalne występują w samym środku naroża, co objawia się największym wzrostem granicy plastycz-



Rys. 2. Rozkład granicy plastyczności  $f_y$  w narożu w zależności od stosunku  $r/t$  wg [4]



Rys. 3. Porównanie rozkładu granicy plastyczności  $f_y$  w narożu w odniesieniu do uśrednionej granicy plastyczności dla całego przekroju wg różnych propozycji na przykładzie badanego profilu



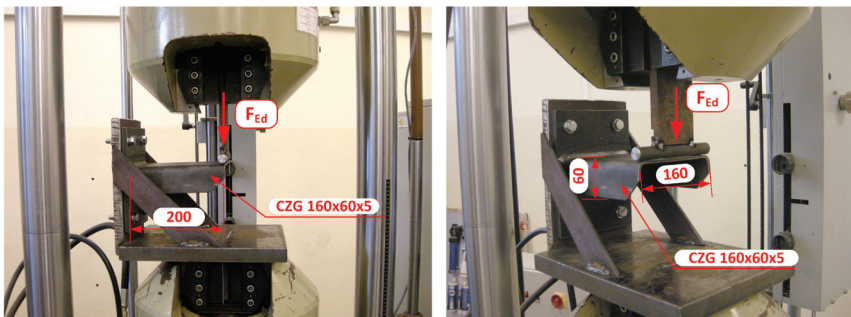
Rys. 4. Schematy statyczne „siodełka” dla przypadku podparcia płatwi dachowej lub rygła ściennego

ności względem rodzimego materiału (rzędu 50%), rys. 2.

Obecnie do projektowania profili formowanych na zimno korzysta się z zapisów normy PN-EN 1993-1-3:2006 [17]. W przytoczonej normie nie podano bezpośredniego wyrażenia

do obliczenia granicy plastyczności w narożu, ale wprowadzono pojęcie uśrednionej granicy plastyczności  $f_{ya}$  kształtownika profilowanego na zimno wg formuły:

$$f_{ya} = f_{yb} + (f_u - f_{yb}) \times \frac{k \times n \times t^2}{A_g} \quad (5)$$



Rys. 5. Stanowisko badawcze. Laboratorium konstrukcji budowlanych Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej



Rys. 6. Badany element (nr próby 021/PKB/001) po wyczerpaniu nośności na stanowisku badawczym.



Rys. 7. Badany element (nr próby 021/PKB/001) po wyczerpaniu nośności na stanowisku badawczym



Rys. 8. Stoliczki do płatwi dachowych lub rygli ściennych po zakończeniu badań

gdzie:  $A_g$  [mm<sup>2</sup>] – pole przekroju brutto,  $k$  – współczynnik liczbowy zależny od metody profilowania,  $n$  – liczba zagięć prostokątnych z promieniem wewnętrznym  $r \leq 5t$ ,  $t$  – obliczeniowa grubość materiału przed profilowaniem [mm]. Z równania (5) wynika, że im większa ilość naroży występuje w przekroju, tym większy jest udział wzmocnienia materia-

tu w tzw. uśrednionej granicy plastyczności. Na podstawie przytoczonych propozycji obliczono wartość granicy plastyczności w narożu oraz jej udział w uśrednionej granicy plastyczności  $f_{ya}$  badanego elementu C 160 × 60 × 5 mm, rys. 3.

Jak przedstawiono na rysunku, mimo różnic w oszacowaniu granicy plastyczności,

w narożu wg różnych propozycji, udział wzmocnienia materiału dla badanego elementu jest praktycznie nieistotny i można go pominąć w dalszych analizach.

### Nośność i sztywność na zginanie „siodelka”

W badaniach element był poddany zginaniu względem słabszej osi bezwładności w ten sposób, aby środek ceownika znajdował się w strefie rozciąganej. Takie założenie miało na celu odwzorować sytuację obciążenia bocznego „siodelka” np. od płatwi z uwagi na pochylenie połaci dachowej. Ze względu na fakt, że przedmiotem badań była sztywność w kierunku prostopadłym do osi podłużnej ceownika, pominięto na tym etapie udział składowej siły osiowej, która w rzeczywistości będzie występować. Długość wspornika wynosiła 200 mm. Nośność przekroju na zginanie badanego przekroju wynosiła  $M_{c,Rd} = \sim 4,00$  kNm, a nośność na ścinanie  $V_{pl,Rd} = \sim 122,98$  kN. Wartość maksymalnej siły przyłożonej do krawędzi zewnętrznej wspornika nie powinna przekroczyć  $F_1 = 4,00$  kNm/0,200 m = 20,0 kN. Oszacowanie maksymalnego przemieszczenia wg przepisów normowych można przeprowadzić w zasadzie tylko w zakresie sprężystym, przyjmując ograniczenie  $f_{dop} = L/150 = 2 \times 200/150 = 2$  mm. Ugięcie sprężyste dla przyjętego obciążenia 20 kN wynosi 0,70 mm.

### Badania doświadczalne

Badania tzw. stoliczków polegały na wyznaczeniu maksymalnej nośności na zginanie wspornika stalowego imitującego zamocowanie do słupa lub rygla ramy. Zaprezentowano wyniki dla 5 elementów, które były wykonane z ceowników C 160 × 60 × 5 mm zakończonych blachą podstawy (ceowniki były przyspawane prostopadle spoinami pachwinowymi grubości 3,5 mm do blachy gr. 12 mm, S235). Blacha podstawy była przykręcona 4 śrubami M12 – 8,8 do elementu stabilizującego w postaci blachy pionowej grubości 25 mm zamocowanej trwale do szczęk maszyny wytrzymałościowej. Wysięg wspornika dobrano w taki sposób, aby odpowiadał uśrednionej odległości mocowania środka pławi zimnogiętej względem mocowania „siodelka” do rygla ramy. Badany element był poddawany zginaniu poprzez przyłożenie siły pionowej do swobodnego końca ceownika (ok. 5 mm od krawędzi). W czasie badań rejestrowano wartość siły pionowej wraz z odpowiadającym przemieszczeniem pionowym (ugięciem wspornika). Prędkość wymuszania przemieszczenia w trakcie badań wynosiła od 2 do 5 mm/min. Stanowisko badawcze zostało przedstawione na rys. 5.

Badania były prowadzone do momentu osiągnięcia nośności granicznej, a za moment zniszczenia przyjęto spadek obciążenia poniżej 80% wartości maksymalnego ob-

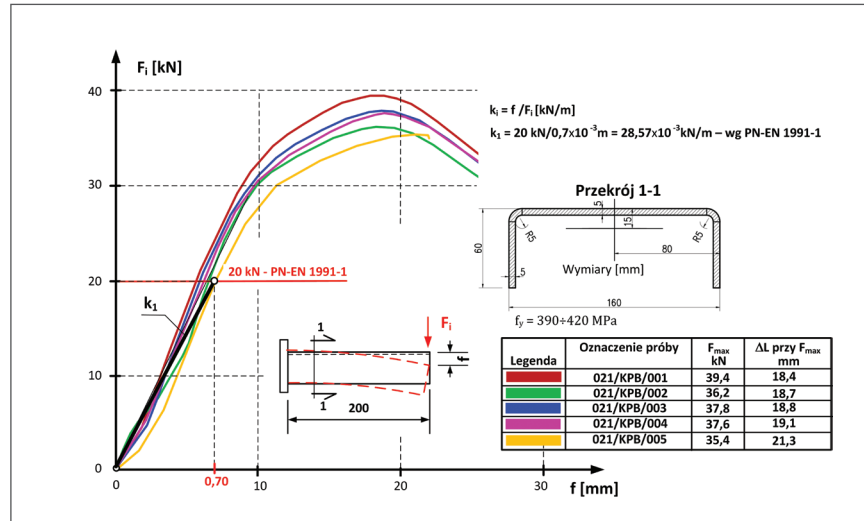
ciążenia, jakie zarejestrowano w trakcie badania. Wyczerpanie nośności elementu ujawniało się w fazie plastycznego odkształcania materiału, a efektem tego była lokalna utrata stateczności pólki ceownika. W czasie badań nie zarejestrowano odkształcenia plastycznego w strefie spoin łączących ceowniki z blachą czołową. Nie zarejestrowano również uszkodzenia lub zniszczenia łączników śrubowych. Po zakończonym badaniu sprawdzono płaskość blachy czołowej i również w tym przypadku nie zarejestrowano trwałych odkształceń, rys. 6., rys. 7.

## Wyniki badań

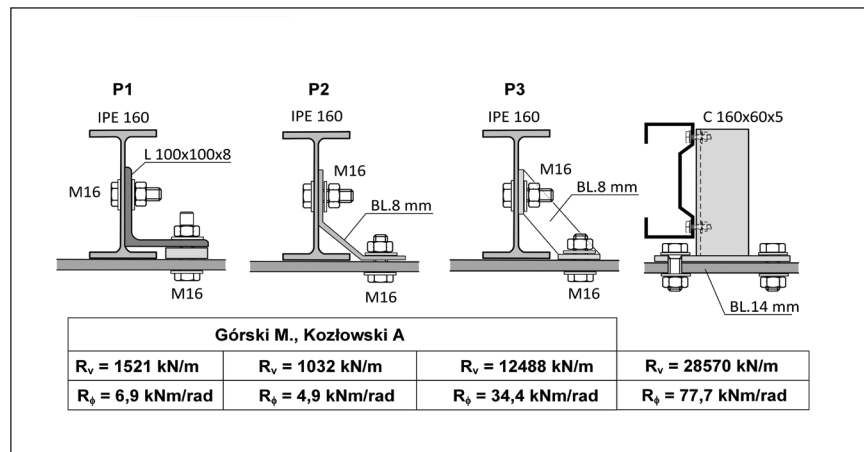
Na podstawie przeprowadzonych badań otrzymano ścieżki równowagi statycznej dla każdego z badanych elementów. Wyniki w formie wykresów zaprezentowano na rys. 9. Ścieżki równowagi statycznej miały charakter początkowo liniowy, a następnie przeszedł on w typowy charakter nieliniowy sprężysto-plastyczny. Każdy badany element w fazie końcowej obciążenia ulegał zniszczeniu poprzez miejscową utratę stateczności pólki ceownika. Półki ceownika ulegały wyobceniению w układzie symetrycznym, doprowadzając w efekcie do powstania plastycznego mechanizmu płytowego i całkowitego wyczerpania nośności. Opisane zjawisko jest szczególnie widoczne na zniszczonych elementach – rys. 8.

Podsumowując, należy przypomnieć, że liczebność próby nie była duża i wynosiła tylko 5 szt. elementów. W badaniach otrzymano maksymalną siłę niszczącą równą 39,4 kN przy odpowiadającym jej odkształceniu pionowym wspornika 18,4 mm. Minimalna wartość siły niszczącej w badaniach wynosiła 35,4 kN, a odpowiadające jej odkształcenie 21,3 mm. Średnia wartość siły niszczącej wynosiła 37,7 kN przy odchyleniu standardowym  $\pm 1,4$  kN. Błąd rejestracji obciążenia wynikający z technicznych parametrów maszyny wytrzymałościowej nie przekraczał 0,20 kN. Podsumowując, można przyjąć, że wartość siły niszczącej na poziomie ufności 95% z uwzględnieniem błędu pomiaru maszyny wyniesie:  $F_{Rd} = 37,3 \text{ kN} - 2 \times 1,4 \text{ kN} - 0,2 \text{ kN} = 34,3 \text{ kN}$ . Wartość otrzymanej siły niszczącej jest prawie 40% większa niż nośność wyznaczona na podstawie PN-EN 1993-1.

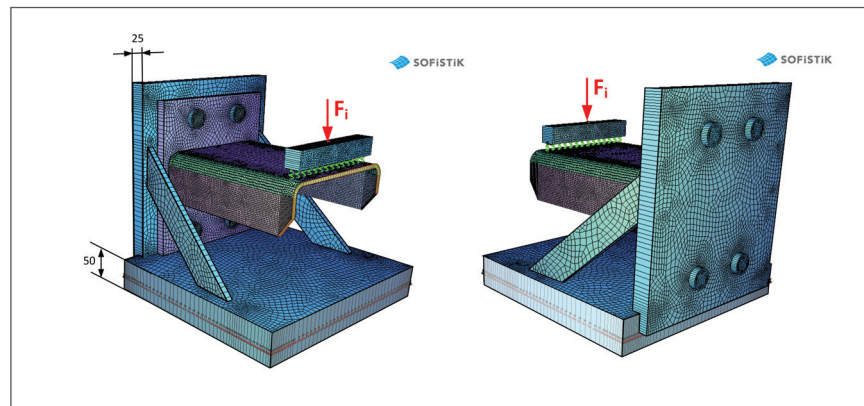
Oszacowanie normowe nie uwzględnia wzmocnienia materiału oraz faktu, że przekrój wspornika po przekroczeniu wartości  $25 \div 30$  kN pracował jako przekrój efektywny w zakresie plastycznym. W tym przedziale obciążeń można było zaobserwować stopniową zmianę sztywności z uwagi na utratę stateczności pólki ceownika. Dalsze obciążenie prowadziło do wytworzenia się załomów plastycznych w postaci przestrzennego mechanizmu wraz ze spadkiem siły i przyrostem ugięcia do chwili wyczerpania nośności. Otrzymałe wyniki pozwalają oszacować współczyn-



Rys. 9. Ścieżki równowagi badanych elementów. Sztywność podparcia bocznego na podstawie badań i PN EN 1993-1



Rys. 10. Współczynniki sprężystości podparcia bocznego płatwi dachowej wg [21] w zestawieniu z wynikiem uzyskanym przez autorów

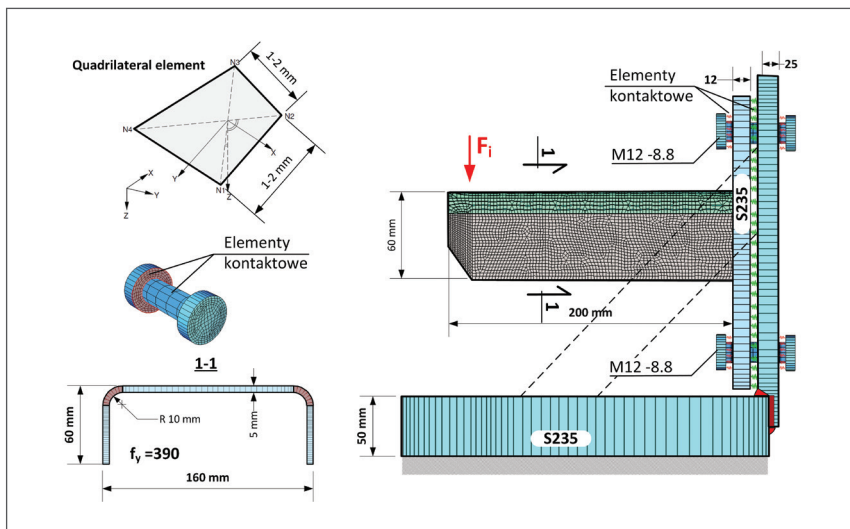


Rys. 11. Poglądowy szkic modelu numerycznego badanego „siodelka” w systemie SOFiSTiK [20]

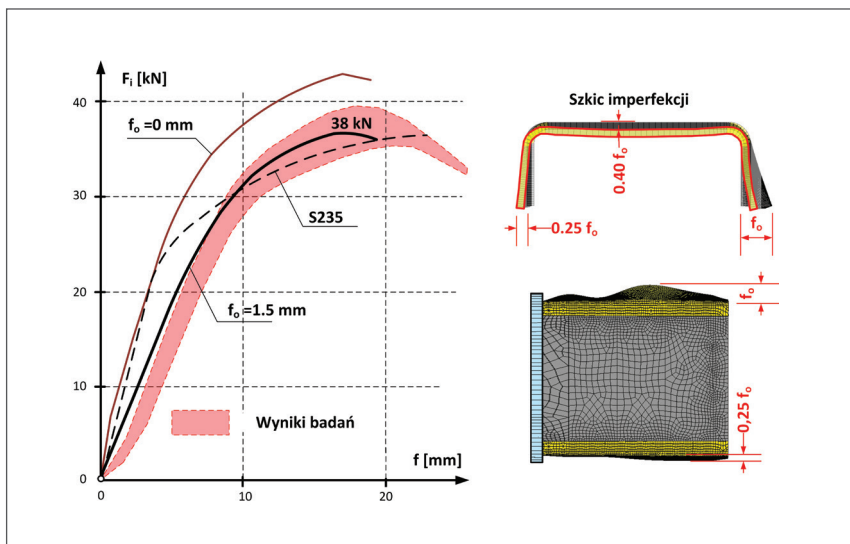
nik podatności bocznego podparcia za pomocą „siodelka” np. płatwi. Podobne badania prowadzili Górski i Kozłowski [21], rozpatrując trzy różne rozwiązania konstrukcyjne podparcia bocznego dla płatwi gorączkowalowanych. Wyniki uzyskane przez Górskiego i Kozłowskiego [21] w zestawieniu z wynikami otrzymanymi przez autorów przedstawiono na rys. 10.

## Analizy numeryczne

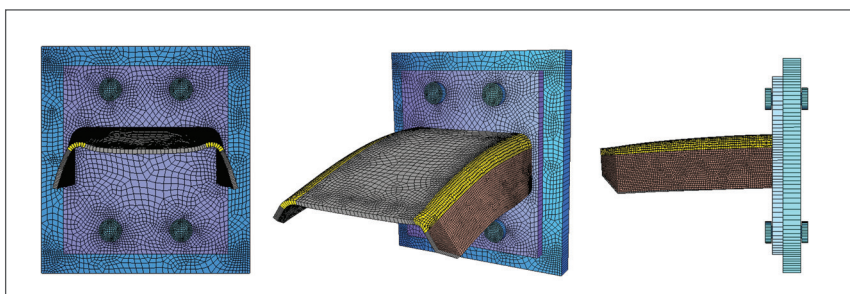
W celu zweryfikowania zaobserwowanego mechanizmu wyczerpania nośności przeprowadzono kilka symulacji numerycznych zniszczenia badanego elementu. Posłużono się metodą elementów skończonych, wykorzystując środowisko modelowania obiektów inżynierskich programu SOFiSTiK [20]. W obliczeniach numerycznych wykorzystano spostrze-



Rys. 12. Najważniejsze szczegóły i detale dot. modelu numerycznego „siedelka” w systemie SOFiSTiK [20]



Rys. 13. Ścieżki równowagi granicznej otrzymane na podstawie obliczeń numerycznych



Rys. 14. Mechanizm zniszczenia otrzymany na podstawie obliczeń numerycznych

żenia i wnioski z prac [18], [19]. Na podstawie inwentaryzacji badanych elementów oraz stanowiska badawczego zbudowano od podstaw model numeryczny „stoliczka”. W modelu numerycznym zastosowano elementy typu powłokowego (4-węzłowe), wykorzystując jednocześnie tzw. superelementy w postaci nieliniowych więzi sprężystych do opisu zjawisk kontaktowych w strefie łączników śrubowych i blach czołowych. Szkieł poglądowy modelu numerycznego przedstawiono na rys. 10.

W obliczeniach zastosowano model sprężysto-plastyczny ze wzmocnieniem, przyjmując następujące wartości: dla profilu ceownika  $f_y = \sim 420$  MPa,  $f_u = \sim 520$  MPa. Dla pozostałych elementów, tj. blach, przyjęto  $f_y = 235$  MPa,  $f_u = 360$  MPa. W miejscu naroży uformowanych na zimno zwiększono granicę plastyczności wg propozycji [11], wzór (1) do wartości  $f_y = 640$  MPa. Najważniejsze detale modelu numerycznego zaprezentowano na rys. 11.

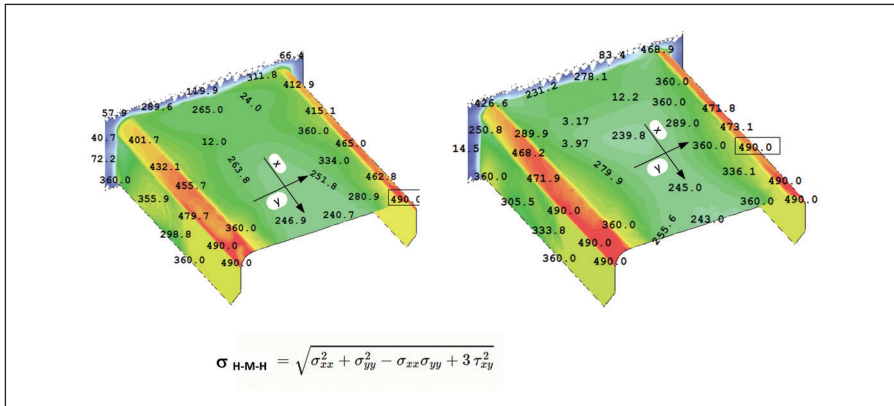
Obliczenia wykonano iteracyjnie przy krokowym zwiększaniu obciążenia do momentu uzyskania zbieżności procesu numerycznego (siły resztkowe i nierównowazone rzędu 1%). W obliczeniach uwzględniono nieliniowości materiałowe i geometryczne z bieżącą aktualizacją geometrii w poszczególnych fazach obciążenia. W celu polepszenia zbieżności procesu obliczeniowego inicjowano wstępne imperfekcje ścianek ceownika poprzez przeskalowanie pierwszej postaci utraty stateczności. W tym celu zasadniczą symulacją była poprzedzona wyznaczeniem postaci własnej i zaimplementowaniem jej jako wyjściowej geometrii ścianek ceownika. Przyjęto założenie, że największa wstępna deformacja nie będzie większa niż 1,50 mm, rys. 13.

Na podstawie przeprowadzanych symulacji numerycznych otrzymano wiele ścieżek równowagi statycznej analizowanych elementów. Obliczenia wykonane bez uwzględnienia właściwych imperfekcji nie pokrywały się z wynikami otrzymanymi w badaniach. Zastosowanie imperfekcji wg pierwszej postaci wyoboczenia i przeskalowanie jej tak, aby  $f_0 \max \leq 1,50$  mm pozwoliło uzyskać wynik bliski badaniami doświadczalnym. Otrzymana wartość nośności granicznej na podstawie analiz numerycznych wyniosła 38 kN i była większa o 11% od nośności uzyskanej z badań (34,3 kN), co niewątpliwie można uznać za dobry wynik obliczeń. Uzyskane mechanizmy zniszczenia potwierdziły mechanizmy deformacji ceownika (rys. 14., 15.), które otrzymano w badaniach, a przemieszczenia wspornika odpowiadały wartościom otrzymanym w badaniach.

## Wnioski

Elementy mocujące płatwie z ryglami, tzw. siedelka, mają zdecydowanie większą nośność niż wynika to z obliczeń statyczno-wytrzymałościowych wg PN-EN [17]. Badania potwierdziły odpowiednią sztywność tych elementów do mocowania płatwi i rygli ściennych. Otrzymana w badaniach wartość sprężystego podparcia jest ponad dwukrotnie większa od podparcia typu P3 (rys. 10.), dla którego wg [21] otrzymano największe wartości momentów krytycznych. Duża sztywność podparcia bocznego, szczególnie z uwagi na obrót, stabilizuje płatwie i znacząco zwiększa nośność płatwi na zwichrzenie, co zostało udokumentowane w pracy [21].

Podsumowując, można śmiało stwierdzić, że zastosowanie elementów podporowych w postaci „siedelek” będzie spełniać swoją rolę jako element przekazujący obciążenia na główny ustrój nośny, a z uwagi na swoją dużą sztywność będzie zwiększać odporność np. płatwi na utratę stateczności w postaci zwichrzenia. Jednocześnie należy podkreślić, że zaprezentowane badania należy traktować jako wyniki jakościowe, bowiem liczba próbek była zbyt mała.



Rys. 15. Naprężenia zastępcze wg hipotezy H-M-H w [MPa] przy osiągnięciu nośności granicznej. Na rysunku od lewej przedstawiono naprężenia na powierzchni zewnętrznej, na rysunku po prawej stronie przedstawiono naprężenia po stronie wewnętrznej

#### Literatura:

- [1] Raujol-Veillé J., Toussaint J., Tabouret L., Vautrot M., Balland P. Experimental and numerical investigation of a short, thin-walled steel tube incremental forming process, "Journal of Manufacturing Processes" 2015 (19), str. 59–66.
- [2] Lei Zhang, Gen-shu Tong. Lateral buckling of simply supported C-and Z-section purlins with top flange horizontally restrained, "Thin-Walled Structures" 99(2016), str. 155–167.
- [3] Gilioa F. H.S., Vieira L., Malite M., Stability and moment-rotation behavior of cold-formed steel purlins with sleeved bolted connection, "Engineering Structures" 2018(171), str. 658–672.
- [4] Wei Luan, Yuan-Qi Li. Experimental investigation on wind uplift capacity of single span Z-purlins supporting standing seam roof systems, "Thin-Walled Structures" 2019(144), 106324.
- [5] Gierczak Jan, Ignatowicz L. Rajmund, 2019. Naprężenia własne w spawanych słupach skrzynkowych z kształtowników profilowanych na zimno, „Builder” 01 (270). DOI: 10.5604/01.3001.0013.6517.
- [6] Bródka J., Stalowe konstrukcje hal i budynków wysokich, Wyd. Politechniki Łódzkiej, 1994.
- [7] Jankowiak W., Konstrukcje Metalowe, PWN, Warszawa – Poznań 1983.
- [8] Szapiro L.A., Ob ucetie uprošćenija stali v gnutyh profilach, „Stroitel'naja mehanika i rasšet sooruzenij” (1) 1975, str. 58–61.
- [9] Wei-Wen Y., Liu V., Mackinney W.M., Structural behaviour of thick cold-formed steel members, "Journal of the Structural Division" (100) 1974.
- [10] WYTYCZNE OBLICZEŃ I PROJEKTOWANIA KONSTRUKCJI STALOWYCH Z Kształtowników giętych, Część I i II, Centralny Ośrodek Badawczo-Projektowy Konstrukcji Metalowych „Mostostal”, Warszawa 1980.
- [11] Karen K.W., Corner properties of cold-formed steel shapes, "Journal of the Structural Division" 1967 (93), str. 401–431.
- [12] Karen K.W., Winter G., Effects of cold-forming on light-gage steel members, "Journal of Structural Division", ASCE, 1967 (93), str. 433–469.
- [13] Abdel-Rahman N., Sivakumar K.S., Material properties models for analysis of cold-formed steel members, "Journal of Structural Engineering", 1997(123/9), str. 1135–1143.
- [14] Davison T.A., Birkmoe P.C., Column behaviour of cold-formed hollow structural steel shapes, "Canadian Journal of Civil Engineering", 1983 (10), str. 125–141.
- [15] Bogojawlewskij N.K., Neunauer A., Wladimrowitsch R.V., Technologie der fertigung von Leichtbau-profilen, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1979.
- [16] Ignatowicz R. L., Analiza teoretyczno-doświadczalna nośności stalowych słupów skrzynkowych z kształtowników giętych na zimno, Raport Instytutu Budownictwa PWR – Seria PRE 52/99, 1999.
- [17] PN-EN 1993-1-3:2006. Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-3: Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno.
- [18] Nepershin R.I., The plastic loss of stability of a thin-walled tube under axial compression, "Journal of Applied Mathematics and Mechanics" Volume 76, Issue 3, 2012, str. 358–366.
- [19] Rybakov V., Molchanova N., Laptew V., Suslova A., Sivokhin A., The Effect of Junction Flexibility on the Local Stability of Steel Thin-walled Slab Beams, International Scientific Conference Week of Science in SPbPU – Civil Engineering (SPbWOSCE-2015) 2013 (53).
- [20] SOFISTik 2019. Licencja: Stalbet Wielkopolska dr inż. Rajmund Ignatowicz.
- [21] Górski M., Kozłowski A., Podatność podparcia płatwi na podporze a jej moment krytyczny, „JCEEA”, t. XXX, z. 60 (2/13), kwiecień–czerwiec 2013, str. 99–116.

DOI: 10.5604/01.3001.0013.8481

#### PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Gierczak Jan, Ignatowicz Rajmund, 2020. Badania podatności wspornika stalowego do mocowania płatwi lub rygli ściennych, „Builder” 03 (272). DOI: 10.5604/01.3001.0013.8481

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań tzw. siodelka przeznaczonego do mocowania płatwi dachowych i rygli ściennych. Wykonano analizy numeryczne badanego elementu, wykorzystując oprogramowanie (SOFISTik) oparte na metodzie elementów skończonych. Prace zakończono wnioskami, które mogą stanowić przyczynek do dalszych analiz, mających na celu określenie wpływu podatności takiego podparcia na nośność elementu ściskanego i zginanego, jakim mogą być płatwie lub rygle ścienne.

**Słowa kluczowe:** podparcie płatwi, podparcie rygli ściennych, konstrukcje stalowe, konstrukcje cienkościenne, nośność graniczna, podatność podpory

**Abstract:** Flexibility testing of the fixing element of the roof purlin or wall rafter

The article presents the results of research element for fixing roof purlins and wall rafters. Numerical analyses of the tested element were performed using software (SOFISTik) based on the finite element method. The work has been completed with conclusions that may contribute to further analyses to determine the effect of the susceptibility of such a support on the load-bearing capacity of the compression and bending element, which may be purlins and wall rafters.

**Keywords:** purlin support, wall bolt support, steel structures, thin-walled structures, flexibility of the support