

Wyboczenie sprężyste zamocowanej ścianki wspornikowej z usztywnieniem krawędzi swobodnej

Andrzej Szychowski

¹ *Katedra Mechaniki, Konstrukcji Metalowych i Metod Komputerowych, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, e-mail: aszychow@tu.kielce.pl*

Streszczenie: Zagadnienie utraty stateczności ściskanej ścianki elementu cienkościennego o przekroju otwartym klasy 4. sprowadzono do analizy wyboczenia jednostronnie sprężyste zamocowanej przeciw obrotowi płyty wspornikowej z podatnym „na ugięcie” usztywnieniem krawędzi swobodnej. Zaproponowano funkcje ugięcia płyty i usztywnienia umożliwiające modelowanie warunków brzegowych na obu krawędziach podłużnych. Wyznaczono wykresy współczynników wyboczeniowych dla różnych wskaźników sprężystego utwierdzenia i różnych proporcji geometrycznych usztywnienia.

Słowa kluczowe: pręty cienkościenne, ścianki wspornikowe, wyboczenie dystorsyjne, sprężyste utwierdzenie krawędzi

1. Wprowadzenie

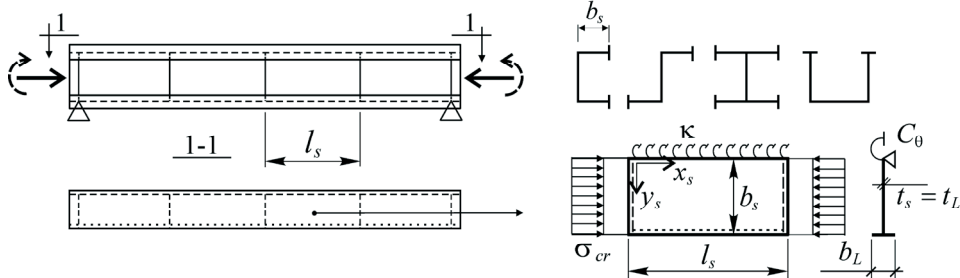
Ścianki wspornikowe stanowią części składowe prętowych elementów cienkościenych lub konstrukcji blachownicowych. Z punktu widzenia utraty stateczności, krawędź swobodną takiej ścianki często wzmacnia się usztywnieniem krawędziowym powodując wzrost naprężeń krytycznych wyboczenia. Zmienia się także jakościowo postać utraty stateczności z wyboczenia lokalnego krawędzi swobodnej na wyboczenie dystorsyjne ścianki wraz z usztywnieniem [1]. Ściankę taką można w praktyce analizować jako jednostronnie sprężyste zamocowaną „na obrót” płytę wspornikową z podatnym „na ugięcie” usztywnieniem drugiej krawędzi.

Zagadnienie wyboczenia dystorsyjnego sprężyste zamocowanej płyty (ścianki) wspornikowej na długości segmentu pręta cienkościennego występuje m.in. w ściskanych lub równomiernie zginanych elementach o przekrojach otwartych, w których wspornikowa ścianka półki ściskanej jest wzmocniona usztywnieniem krawędzi (rys.1). Segment pręta cienkościennego zdefiniowano tutaj jako odcinek pomiędzy usztywnieniami poprzecznymi (żebami, przeponami) lub podporami zapewniającymi sztywny kontur przekroju. Rolę usztywnienia krawędziowego może pełnić pojedyncze lub podwójne zagięcie krawędzi kształtownika giętego lub przyspawany element usztywniający (w postaci płaskownika o takiej samej lub większej grubości ścianki) przekroju blachownicowego.

W pracach [2, 3] rozwiązanie zagadnienia wyboczenia dystorsyjnego kształtownika giętego uzyskano dla modelu giętno – skrętej utraty stateczności „zastępczego pręta cienkościennego” o przekroju złożonym z płyty (półki ściskanej) i usztywnienia krawędziowego (odgięcia) w ośrodku obrotowo – sprężystym.

W pracy [1] podano rozwiązania stateczności płyt wspornikowych z usztywnieniem krawędzi swobodnej dla modelu obliczeniowego: płyta wspornikowa współpracująca z „belką” usztywnienia i granicznych przypadków podparcia (przegub, utwierdzenie) drugiej krawędzi. Rozwiązanie ściśle, wynikające z całkowania równań stateczności układu:

plyta – „belka” z uwzględnieniem warunków brzegowych i warunków współpracy otrzymano dla symetrycznego (względem linii środkowej płyty) usztywnienia krawędziowego. W pracy tej pokazano również wykresy płytowych współczynników wybocheniowych (k) oraz wzory przybliżone (uzyskane metodą energetyczną).



Rys. 1. Wydzielona z segmentu pręta cienkościennego, jednostronnie sprężyste zamocowana przeciw obrotowi, płyta wspornikowa z podłużnym usztywnieniem drugiej krawędzi

Natomiast jednostronnie podatnie usztywniona „na ugięcie” płyta wspornikowa jest z reguły częścią konstrukcji cienkościennej lub blachownicowej sprężyste zamocowaną przeciw obrotowi na krawędzi połączenia z płytą sąsiednią (np. środnikiem).

Europejska norma projektowania elementów cienkościennych [4] zaleca uwzględnienie warunków sprężystego zamocowania ścianki wspornikowej (np. półki przekroju) w ściance przęsłowej (np. w środniku), por. tab. 5.2. [4]. Sztywność sprężystego zamocowania „na obrót” zależy od sztywności zginania ścianki sąsiadującej (np. środnika) oraz jej stanu naprężenia i można ją przeliczyć na sprężyste podparcie zlokalizowane w środku ciężkości usztywnienia krawędziowego. W praktyce projektowej [4, 5], po wystąpieniu w przekroju naprężeń krytycznych wybochenia dystorsyjnego ($\sigma \geq \sigma_{cr}^D$), ściankę wspornikową z usztywnieniem krawędzi traktuje się jako „zastępczy pręt ściskany” na podłożu sprężystym o module K . Sztywność „podłoża” zależy także od sztywności zginania ścianki rozpatrywanej. Jeżeli ścianka jest również wrażliwa na lokalną utratę stateczności, to przekrój „zastępczego pręta” składa się z odpowiednich szerokości efektywnych zarówno ścianki jak również usztywnienia krawędziowego.

Analizując rozwiązania zamieszczone w pracy [1] można stwierdzić, że zamocowanie „na obrót” krawędzi podpartej wpływa istotnie na naprężenia krytyczne zarówno wybochenia lokalnego płyty wspornikowej, jak również na naprężenia krytyczne wybochenia dystorsyjnego układu: płyta – usztywnienie krawędzi. Analizę wybochenia lokalnego jednostronnie sprężyste zamocowanych „na obrót” i przegubowo podpartych na usztywnieniu krawędziowym płyt przęsłowych w zakresie $\sigma = \sigma_{cr}^L \leq \sigma_{cr}^D$ pokazano w pracy [6].

W niniejszej pracy rozszerzono wyniki zamieszczone w [1] dla modelu obliczeniowego: płyta wspornikowa – „belka” usztywnienia o długości segmentu, na przypadek jednostronnie sprężyste zamocowanej płyty wspornikowej z symetrycznym usztywnieniem drugiej krawędzi. Rozwiązanie uzyskano metodą energetyczną. Przyjęte w niniejszej pracy funkcje ugięć płyty i usztywnienia przetestowano na rozwiązaniu ścisłym uzyskanym w [1] dla skrajnych warunków brzegowych na krawędzi podpartej (przegub, utwierdzenie).

2. Warunki brzegowe płyty i usztywnienia

Założono, że: 1) ścianka ściskana otwartego elementu cienkościennego z usztywnieniem krawędziowym zachowuje się jak jednostronnie sprężyste zamocowana „na obrót” płyta wspornikowa z drugim brzegiem podpartym „na ugięcie” belką sprężystą

usztynienia, 2) poprzeczne krawędzie płyty (prostopadłe do kierunku obciążenia) oraz końce belki usztynienia na poprzecznych krawędziach segmentu są swobodnie podparte (por.rys.1), 3) występuje zgodność ugięć krawędzi płyty ($y_s = b_s$) z ugięciami „belkowymi” usztynienia, 4) naprężenia wyboczenia lokalnego usztynienia są większe od naprężeń wyboczenia dystorsyjnego.

Stopień sprężystego zamocowania „na obrót” podłużnej krawędzi płyty ($y_s = 0$) opisano za pomocą współczynnika ε wg [1] oraz wskaźnika κ wg [7] w następującej postaci:

$$\varepsilon = C_\theta \cdot b_s / D_s \quad (1)$$

$$\kappa = 1 / (1 + 2D_s / b_s C_\theta) \quad (2)$$

gdzie: C_θ - sztywność obrotowa krawędzi podparłej równa momentowi zginającemu powstałemu podczas obrotu o kąt jednostkowy, b_s - szerokość płyty (ścianki s), D_s - płytowa sztywność zginania.

Współczynnik ε wg wzoru (1) zmienia się od $\varepsilon = 0$ dla podparcia przegubowego do $\varepsilon = \infty$ dla pełnego utwierdzenia, natomiast wskaźnik κ wg wzoru (2), od $\kappa = 0$ (przegub) do $\kappa = 1$ (pełne utwierdzenie). Pomiedzy współczynnikiem ε , a wskaźnikiem κ zachodzą następujące zależności:

$$\kappa = \varepsilon / (2 + \varepsilon) \quad (3)$$

$$\varepsilon = 2\kappa / (1 - \kappa) \quad (4)$$

Przybliżone wzory do szacowania sztywności obrotowej C_θ krawędzi podłużnej półki ściskanej sprężyste zamocowanej „na obrót” w środku pręta cienkościennego o przekroju otwartym podano m.in. w pracach [2, 7, 8, 9]. W większości przypadków sztywność obrotową uzależniono od geometrii ścianki podpierającej (średnika) oraz jej stanu obciążenia (np. ściskanie lub tarczowe zginanie).

W technicznie ważnym przypadku półki ściskanej, zawierającej np. pojedyncze odgięcie krawędzi swobodnej (tzn. usztynienie o tej samej grubości co ścianka, $t_L = t_s$), wpływ sprężystego zamocowania „na obrót” na „swobodnej” krawędzi płyty jest nieznaczny [1] i z technicznego punktu widzenia może zostać pominięty. Wynika to z małej sztywności na skręcanie pojedynczego usztynienia krawędziowego, zredukowanej dodatkowo wpływem naprężeń ściskających.

W niniejszej pracy przyjęto (podobnie jak w [1]), że usztynienie krawędzi ma przekrój prostokątny i jest symetryczne względem płaszczyzny środkowej płyty, a jego grubość t_L jest równa grubości płyty t_s (por. rys.1.)

3. Funkcja ugięcia płyty wspornikowej i usztynienia krawędzi

W pracy [10] do aproksymacji postaci wyboczenia jednostronnie sprężyste zamocowanej „na obrót” płyty wspornikowej zaproponowano i przetestowano funkcję postaci skończonego szeregu sinusowo – wielomianowego. Dla wskaźnika utwierdzenia krawędzi podłużnej κ wg wzoru (2), funkcję ugięcia można zapisać w postaci:

$$w_s(x_s, y_s) = t_s \sum_{i=1}^{i_0} \left[f_{i2} \cdot \left((1 - \kappa) \frac{y_s}{b_s} + \kappa \left(\frac{y_s}{b_s} \right)^2 \right) + \sum_{p=3}^{p_0} f_{ip} \cdot \left(\frac{y_s}{b_s} \right)^p \right] \cdot \sin \left(\frac{i\pi x_s}{l_s} \right) \quad (5)$$

gdzie: t_s , l_s , b_s - grubość, długość, szerokość płyty (ścianki s), f_{ip} - bezwymiarowe, swobodne parametry funkcji ugięcia.

W niniejszej pracy funkcję ugięcia usztywnienia krawędziowego przyjęto z warunku równości przemieszczeń krawędzi swobodnej płyty i „belki” usztywnienia w postaci:

$$w_L(x_s) = w_s(x_s, y_s = b_s) = t_s \sum_{i=1}^{i_0} \left(f_{i2} + \sum_{p=3}^{p_0} f_{ip} \right) \sin\left(\frac{i\pi x_s}{l_s}\right) \quad (6)$$

Tak przyjęte funkcje ugięć umożliwiają w ogólnym przypadku aproksymację: 1) postaci wybożenia dystorsyjnego układu płyta – usztywnienie, 2) postaci wybożenia lokalnego płyty „prześłowej” podpartej na „niepodatnym” usztywnieniu krawędziowym, oraz 3) postaci interakcyjnej wybożenia lokalnego i dystorsyjnego na granicy przedziałów.

4. Energia sprężysta i praca sił zewnętrznych

W pracy [11] pokazano sposób wyznaczania całkowitej energii potencjalnej ($U_s = V_{s,1} - L_s$) ściskanej płyty wspornikowej bez usztywnienia krawędzi w takim przypadku, gdy funkcję ugięć zapisuje się szeregiem wielomianowo – sinusowym np. postaci (5). W tym przypadku energię sprężystą ($V_{s,1}$) można wyznaczyć w sposób zaproponowany w pracy [12], a funkcję pracy sił zewnętrznych (L_s) można wyznaczyć z sekwencji wzorów wprowadzonych w [11].

Energię sprężystego zamocowania przeciw obrotowi ($V_{s,2}$) podpartej krawędzi płyty ($y_s = 0$) wyznaczono wg [1] ze wzoru:

$$V_{s,2} = \frac{C_\theta}{2} \int_0^{l_s} \left[\left(\frac{\partial w_s}{\partial y_s} \right)_{y_s=0} \right]^2 dx \quad (7)$$

Z kolei energię zginania w usztywnieniu „belkowym” wyznaczono wg [1] ze wzoru:

$$V_L = \frac{EI_L}{2} \int_0^{l_s} \left(\frac{d^2 w_L}{dx_s^2} \right)^2 dx_s \quad (8)$$

gdzie: $I_L = t_L b_L^3 / 12$ – moment bezwładności przekroju usztywnienia.

Pracę krawędziowych sił zewnętrznych w usztywnieniu wyznaczono ze wzoru:

$$L_L = \frac{\sigma A_L}{2} \int_0^{l_s} \left(\frac{dw_L}{dx_s} \right)^2 dx_s \quad (9)$$

gdzie: $A_L = t_L b_L$ – pole przekroju usztywnienia.

5. Naprężenia krytyczne

Naprężenia krytyczne (σ_{cr}) wybożenia (lokalnego lub dystorsyjnego) osiowo ściskanej i jednostronnie sprężyste zamocowanej przeciw obrotowi płyty wspornikowej zsymetrycznym usztywnieniem krawędzi wyrażono w postaci wzoru:

$$\sigma_{cr} = k\sigma_E \quad (10)$$

gdzie: σ_E - naprężenia Eulera dla płyty wg wzoru:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_s}{b_s} \right)^2 \quad (11)$$

Płytkowe współczynniki wyboczeniowe (k) wyznaczono metodą energetyczną. Całkowitą energię potencjalną układu: płyta – usztywnienie wyznaczono ze wzoru:

$$U_s = V_{s,1} + V_{s,2} + V_L - L_s - L_L \quad (12)$$

gdzie: $V_{s,1}$ - energia sprężysta zginania płyty wg [12], $V_{s,2}$ - energia sprężystego zamocowania podłużnej krawędzi płyty ($y_s = 0$) ze wzoru (7), V_L - energia sprężysta zginania „belki” usztywnienia ze wzoru (8), L_s - praca sił zewnętrznych w płycie wg [11], L_L - praca sił zewnętrznych w usztywnieniu ze wzoru (9).

Płytkowe naprężenia krytyczne obliczono z układu równań:

$$\partial U_s / \partial f_{ip} = 0 \quad (13)$$

sprowadzając zagadnienie do problemu wyznaczania wartości i wektorów własnych.

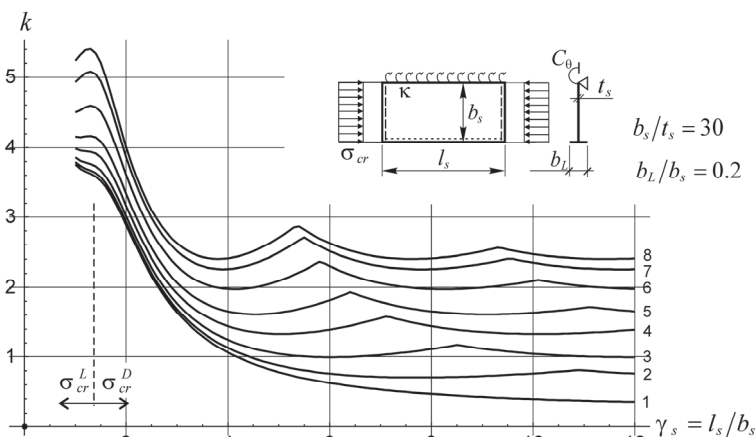
Do obliczenia współczynników k opracowano w środowisku pakietu *Mathematica*® program obliczeniowy „Ncr-płyta-wspornik-usztywnienie-sym.nb”. Program umożliwia tablicowanie współczynników oraz graficzną prezentację wyników obliczeń (wykresy, postacie wyboczenia). Funkcję ugięcia płyty aproksymowano szeregiem (5) dla $p_0 = 4$ i przy narzuceniu wartości początkowych wskaźnika utwierdzenia wg wzoru (2) od $\kappa = 0$ dla krawędzi swobodnie podpartej do $\kappa = 1$ dla krawędzi utwierdzonej. Funkcję ugięcia usztywnienia przyjęto wg wzoru (6). Parametr i_0 określający ilość „półfal” funkcji sinus w kierunku osi x_s szeregów (5, 6) dobierano w zależności od stosunku wymiarów płyty ($\gamma_s = l_s/b_s$) i miarodajnej postaci wyboczenia wg zasad podanych w [11].

Prezentowane w dalszej części pracy wykresy współczynników k wyznaczono dla wartości parametrów $E = 205$ GPa oraz $\nu = 0,3$. W tabeli 1 podano przyporządkowanie numeru krzywej na wykresach (rys.2 i rys.3) do współczynnika ε oraz wskaźnika κ .

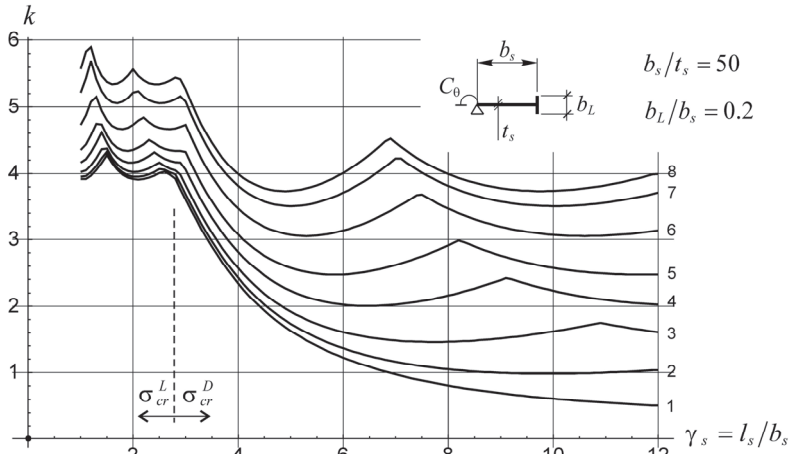
Tabela 1. Przyporządkowanie numeru krzywej na rys.2 i 3 do współczynnika ε oraz wskaźnika κ

Nr	1	2	3	4	5	6	7	8
ε	0	0,2	0,6	1,5	3	8	30	10^5
κ	0	0,091	0,231	0,429	0,6	0,8	0,938	1

Na rys.2 i rys.3 przedstawiono wykresy współczynników k jednostronnie sprężysto zamocowanych (tab.1) płyt wspornikowych z usztywnieniem krawędzi dla wartości parametrów $b_L/b_s = 0.2$ i smukłościach płyt odpowiednio: $b_s/t_s = 30$ (rys.2) i $b_s/t_s = 50$ (rys.3).



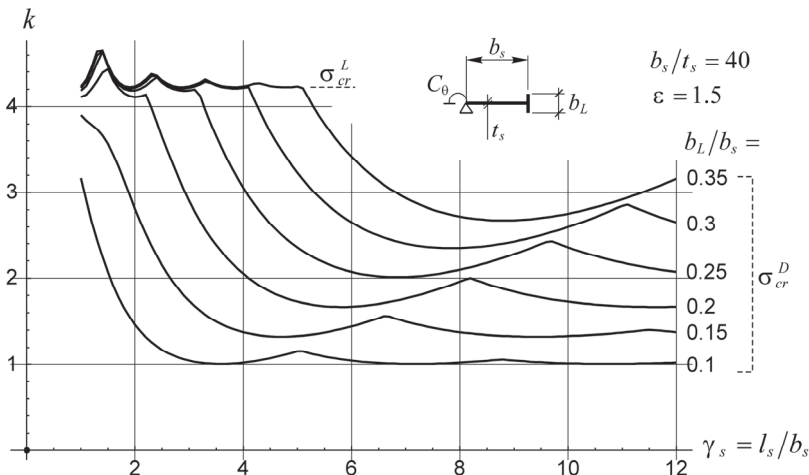
Rys. 2. Wykresy współczynników k dla sprężysto zamocowanej (tab.1) płyty wspornikowej z usztywnieniem dla: $b_s/t_s = 30$ oraz $b_L/b_s = 0.2$



Rys. 3. Wykresy współczynników k dla sprężycie zamocowanej (tab.1) płyty wspornikowej z usztywnieniem dla: $b_s/t_s = 50$ oraz $b_L/b_s = 0.2$

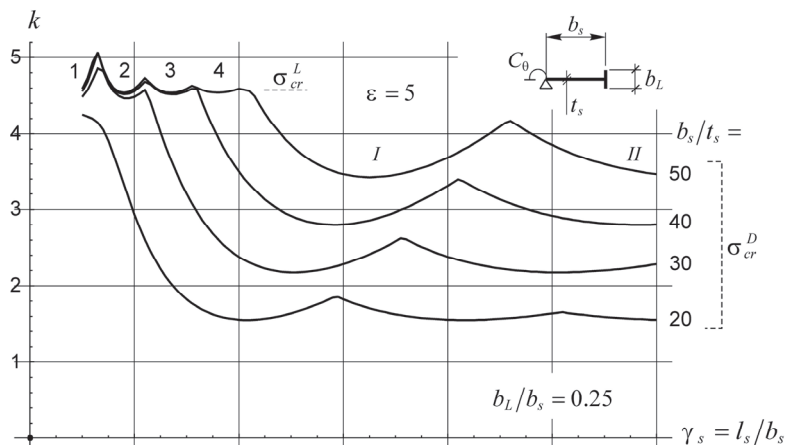
Na powyższych wykresach (rys.2 i 3), strzałkami oznaczono przedziały (γ_s) występowania miarodajnych naprężeń krytycznych: 1) wyboczenia lokalnego (σ_{cr}^L) płyty „prześłowej”, oraz 2) wyboczenia dystorsyjnego (σ_{cr}^D) układu: płyta wspornikowa - usztywnienie. Z porównania wykresów wynika, że ze wzrostem wskaźnika utwierdzenia krawędzi płyty κ wg wzoru (2) rosną współczynniki (k) naprężeń krytycznych zarówno wyboczenia lokalnego jak i dystorsyjnego, przy czym wzrost tych drugich (σ_{cr}^D) jest znacznie większy.

Na rys.4 porównano wykresy współczynników k płyty wspornikowej z usztywnieniem dla $b_s/t_s = 40$ oraz $\varepsilon = 1.5$ ($\kappa = 0.429$) i różnych stosunków $b_L/b_s = 0.1 \div 0.35$. Z porównania współczynników w tym przypadku wynika, że ze wzrostem relacji b_L/b_s rosną naprężenia krytyczne wyboczenia dystorsyjnego (σ_{cr}^D), natomiast naprężenia krytyczne wyboczenia lokalnego (σ_{cr}^L) pozostają w zasadzie bez zmian. Uwaga: 1) w obliczeniach pominięto sztywność skrętną usztywnienia, która miałaby nieznaczny wpływ na σ_{cr}^L płyty „prześłowej” [13], 2) przy małych wartościach relacji b_L/b_s , na granicy przedziałów $\sigma_{cr}^L - \sigma_{cr}^D$ w wielu przypadkach ujawniła się interakcyjna postać wyboczenia).



Rys. 4. Wykresy współczynników k płyty wspornikowej z usztywnieniem dla: $b_s/t_s = 40$, oraz $\varepsilon = 1.5$ ($\kappa = 0.429$) i różnych stosunków b_L/b_s

Na rys.5 porównano wykresy współczynników k płyty wspornikowej z usztywnieniem dla $b_L/b_s = 0.25$ oraz $\varepsilon = 5$ ($\kappa = 0.714$) i różnych smukłości płyty $b_s/t_s = 20 \div 50$.



Rys. 5. Wykresy współczynników k płyty wspornikowej z usztywnieniem dla: $b_L/b_s = 0.25$, $\varepsilon = 5$ ($\kappa = 0.714$) oraz różnych smukłości b_s/t_s

Z porównania współczynników k w tym przypadku wynika, że ze wzrostem smukłości płyty rośnie korzystny wpływ „podparcia na belce” usztywnienia i rosną współczynniki naprężeń krytycznych wyboczenia dystorsyjnego. Natomiast naprężenia krytyczne wyboczenia lokalnego „zachowują się” analogicznie do sytuacji przedstawionej na rys. 4.

Wszystkie prezentowane wykresy (rys. 2 do 5) mają charakter krzywych girlandowych wskazując jednocześnie ilość „półfal” miarodajnej postaci wyboczenia (lokalnego lub dystorsyjnego) powstających na długości segmentu pręta cienkościennego. Oznaczono to symbolicznie na rys.5, gdzie dla $b_s/t_s = 50$ cyframi arabskimi (1, 2, 3, 4) oznaczono kolejne „półfale” wyboczenia lokalnego, a cyframi rzymskimi (I, II) kolejne „półfale” wyboczenia dystorsyjnego.

6. Podsumowanie

Zastosowana w pracy funkcja ugięcia płyty wspornikowej (5) umożliwiła modelowanie warunków brzegowych na wzdłużnej krawędzi podpartej ($y_s = 0$) od swobodnego podparcia ($\kappa = 0$), przez sprężyste zamocowanie w segmencie pręta cienkościennego ($0 < \kappa < 1$), do pełnego utwierdzenia krawędzi ($\kappa = 1$). Na drugiej krawędzi ($y_s = b_s$) funkcja ta pozwala na „zbudowanie” takiej postaci ugięcia „belki” (6), która umożliwiła opis dystorsyjnych przemieszczeń układu płyta - usztywnienie.

Uwzględnienie sprężystego zamocowania krawędzi płyty (ścianki) w segmencie pręta cienkościennego prowadzi do dokładniejszego oszacowania naprężeń krytycznych wyboczenia dystorsyjnego. Dotyczy to zwłaszcza płyt wspornikowych z podłużnym usztywnieniem krawędzi, dla których zapasy dystorsyjnej nośności krytycznej, wynikające ze sprężystego zamocowania „na obrót” krawędzi podpartej, są większe niż dla obustronnie sprężyste zamocowanych płyt przeszłowych z usztywnieniem pośrednim [4, 5].

Ze wzrostem wskaźnika utwierdzenia krawędzi płyty κ oraz wzrostem stosunków: b_L/b_s oraz b_s/t_s , rosną naprężenia krytyczne wyboczenia dystorsyjnego płyt wspornikowych z usztywnieniem. W tym drugim przypadku zmieniają się również przedziały występowania miarodajnych postaci wyboczenia lokalnego i dystorsyjnego.

Literatura

- 1 Bulson P.S. The Stability of Flat Plates. Chatto and Windus. London 1970.
- 2 Hancock G.J. Design for Distortional Buckling of Flexural Members. Thin-Walled Structures 1997; 27 (1): 3-12.
- 3 Schafer B., Peköz T. Laterally braced cold-formed steel flexural members with edge stiffened flanges. Journal of Structural Engineering 1999, Vol 125, No 2, p. 118 – 126.
- 4 PN-EN 1993-1-3. Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-3: Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno.
- 5 Goczek J. Belki z kształtowników giętych stężone poszyciem z blach fałdowych. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2013.
- 6 Szychowski A. Miejscowa utrata stateczności ściskanej półki cienkościennego kształtownika giętego. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Nr 276, Seria: Budownictwo i Inżynieria Środowiska, Zeszyt 58, Nr 3/2011/II, str. 307-314.
- 7 Rykaluk K. Pozostające naprężenia spawalnicze w wybranych stanach granicznych nośności. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, 29, seria: Monografie 11, Wrocław 1981.
- 8 Rogers C.A., Schuster R.M. Flange/Web Distortional Buckling of Cold-Formed Steel Sections in Bending. Thin-Walled Structures 1997; 27 (1): 13-29.
- 9 Kalyanaraman V., (1979), Local buckling of cold-formed steel members, Journal of the Structural Division 1979, Vol. 105, No.ST5, 813-828.
- 10 Szychowski A., (2014), Stability of Cantilever Walls of Steel Thin-Walled Bars with Open Cross-Section, Thin-Walled Structures (TWST-D-13-00453) w trakcie recenzji.
- 11 Szychowski A. The stability of eccentrically compressed thin plates with a longitudinal free edge and with stress variation in the longitudinal direction. Thin-Walled Structures 2008; 46 (5): 494-505.
- 12 Jakubowski S.: Macierzowa analiza stateczności i drgań własnych ścian dźwigarów cienkościennych. Archiwum Budowy Maszyn (1986), Tom XXXIII, Z.4, 357-375.
- 13 Szychowski A. Stateczność niesymetrycznie sprężyscie zamocowanych płyt przeszłowych przy wzdluznej zmienności naprężeń, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Nr 283, Seria: Budownictwo i Inżynieria Środowiska, Zeszyt 59, Nr 3/2012/II, str. 429-436,

Buckling of elastically restrained cantilever wall with free edge stiffening

Andrzej Szychowski

¹ *Department of Structure Mechanics, Metal Structures and Computer Methods, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology, e-mail: aszychow@tu.kielce.pl*

Abstract: The issue of the stability loss in a compressed wall of a thin-walled member with an open cross section was reduced to the buckling analysis of the cantilever wall. The wall was unilaterally elastically restrained against rotation. The stiffening of the free edge of the wall was susceptible to deflection. The plate deflection functions and stiffenings that allow the modelling of boundary conditions on both longitudinal edges were proposed. Graphs of buckling coefficients for different indexes of the elastic restraint of the supported edge and different geometries of the edge stiffening were determined.

Keywords: Thin-walled bars, cantilever walls, distortional buckling, elastic restraint.