

KONSTRUKCJE STALOWE W EUROPIE

**Wielokondygnacyjne
konstrukcje stalowe
Część 8: Opis kalkulatora
do obliczania nośności
elementów konstrukcyjnych**

**Wielokondygnacyjne
konstrukcje stalowe
Część 1: Opis kalkulatora
do obliczania nośności
elementów konstrukcyjnych**

PRZEDMOWA

Niniejsza publikacja stanowi ósmą część przewodnika projektanta zatytułowanego *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe*.

Przewodnik *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe* składa się z 10 następujących rozdziałów:

- Część 1: Poradnik architekta
- Część 2: Projekt koncepcyjny
- Część 3: Oddziaływania
- Część 4: Projekt wykonawczy
- Część 5: Projektowanie połączeń
- Część 6: Inżynieria pożarowa
- Część 7: Wzorcowa specyfikacja konstrukcji
- Część 8: Opis kalkulatora do obliczania nośności elementów konstrukcyjnych
- Część 9: Opis kalkulatora do obliczania nośności połączeń prostych
- Część 10: Wskazówki dla twórców oprogramowania do projektowania belek zespolonych

Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe to jeden z dwóch przewodników projektanta. Drugi przewodnik nosi tytuł *Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe*.

Obydwa przewodniki projektanta powstały w ramach europejskiego projektu „Wspieranie rozwoju rynku kształtowników na potrzeby hal przemysłowych i niskich budynków (SECHALO) RFS2-CT-2008-0030”.

Przewodniki projektanta zostały opracowane pod kierownictwem firm ArcelorMittal, Peiner Träger oraz Corus. Treść techniczna została przygotowana przez ośrodki badawcze CTICM oraz SCI współpracujące w ramach joint venture Steel Alliance.

Spis treści

	Nr strony
PRZEDMOWA	iii
STRESZCZENIE	vi
1 WPROWADZENIE	1
1.1 Visual Basic	1
1.2 Zakres opracowania	1
1.3 Zasady projektowania	2
2 OBSŁUGA SKOROSZYTU	3
2.1 Arkusz wprowadzający	3
2.2 Arkusz lokalizacji	3
2.3 Funkcje dostępne w arkuszach obliczania nośności elementów konstrukcyjnych	3
2.4 Arkusz obliczania nośności przy zginaniu	4
2.5 Arkusz N-M (łączone działanie siły osiowej oraz momentu zginającego)	5
2.6 Arkusz obliczania nośności przy rozciąganiu	6
2.7 Arkusz obliczania nośności przy ściskaniu	7
2.8 Arkusz obliczania nośności środka (przy docisku oraz przy wyboczeniu)	8
2.9 Arkusz porównawczy	9
3 ZRZUTY EKRANU	10
ZAŁĄCZNIK A Przykłady praktyczne	15

STRESZCZENIE

W niniejszym dokumencie opisano utworzony w programie Excel kalkulator do obliczania nośności elementów konstrukcyjnych wykorzystywanych w konstrukcjach stalowych. Program oblicza nośność przy ściskaniu osiowym, przy zginaniu, przy jednoczesnym ściskaniu osiowym i zginaniu oraz przy rozciąganiu. Przedstawiono w nim zakres informacji zawartych w skoroszytcie oraz listę Załączników krajowych i języków obsługiwanych przez skoroszyt. W dokumentacji znajduje się opis każdego z arkuszy wraz z przypisanymi mu danymi wejściowymi. Dodatkowo przedstawiono zrzut ekranu z typowymi danymi wyjściowymi.

1 WPROWADZENIE

Niniejszy dokument, będący częścią przewodnika projektanta *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe*, zawiera wprowadzenie do pracy ze skrósztem programu Excel służącym do obliczania nośności obliczeniowej stalowych elementów konstrukcyjnych (belek oraz słupów) zgodnie z normą EN 1993-1-1. Skrószyt ma wielojęzyczny charakter i oferuje wybór wartości z Załączników krajowych.

Działanie arkusza kalkulacyjnego opisano w rozdziale 2. Zrzuty ekranu przedstawiające różne arkusze skrószytu zamieszczono w rozdziale 3.

1.1 Visual Basic

Skrószyt bazuje na rozbudowanym kodzie języka Visual Basic. U niektórych użytkowników konfiguracja zabezpieczeń może uniemożliwiać wykonywanie takiego kodu.

Poziom zabezpieczeń można zmienić, wybierając kolejno: „Narzędzia”, „Opcje”. Należy wybrać zakładkę „Zabezpieczenia” i kliknąć przycisk „Bezpieczeństwo makr”. Należy ustawić przynajmniej „Średni” poziom zabezpieczeń. Aby wprowadzone zmiany poziomu zabezpieczeń zaczęły obowiązywać, konieczne jest zazwyczaj zamknięcie i ponowne uruchomienie programu Excel.

1.2 Zakres opracowania

Ten arkusz kalkulacyjny służy do obliczania nośności stalowych elementów konstrukcyjnych poddanych oddziaływaniu następujących rodzajów sił oraz momentów:

- Ściskanie osiowe
- Zginanie
- Łączne oddziaływanie ściskania osiowego i zginania
- Rozciąganie
- Ścinanie
- Obciążenie skupione (nośność środnika przy docisku i przy wyboczeniu)

Każdy arkusz zawiera przekrój poprzeczny wybranego kształtownika oraz główne dane geometryczne. W przypadku nośności przy rozciąganiu oraz nośności środnika przy docisku i przy wyboczeniu w arkuszu prezentowane są także rysunki przedstawiające wygląd szczegółu z zachowaniem skali.

Nośność elementów konstrukcyjnych oraz szczegóły na rysunku są natychmiast aktualizowane po dokonanej przez użytkownika zmianie danych wejściowych.

1.2.1 Załącznik krajowy

Skoroszyt zawiera wartości parametrów γ_{M0} , γ_{M1} i γ_{M2} . z Załączników krajowych wymienionych poniżej państw.

- Belgia
- Francja
- Niemcy
- Włochy
- Holandia
- Polska
- Hiszpania
- Wielka Brytania

Istnieje możliwość nadpisania wbudowanych wartości z Załączników krajowych, co może być przydatne, jeżeli wartości te zostaną zmienione przez krajowy organ normalizacyjny. Po zaznaczeniu tej opcji procedura obliczania powraca do zalecanych opcji dla wszystkich metod inżynierskich, takich jak obliczeniowa wytrzymałość stali, krzywe wyboczeniowe lub współczynniki niedoskonałości, a nie do opcji zawartych w Załączniku krajowym.

1.2.2 Język

Język wyświetlania danych wejściowych i wyjściowych może zostać ustawiony przez użytkownika. Obsługiwane są następujące języki:

- francuski
- niemiecki
- włoski
- polski
- hiszpański
- angielski

1.3 Zasady projektowania

Obliczeniowe nośności elementów konstrukcyjnych wyliczane są zgodnie z normami EN 1993-1-1 oraz EN 1993-1-5, a także z wybranymi Załącznikami krajowymi.

2 OBSŁUGA SKOROSZYTU

2.1 Arkusz wprowadzający

Arkusz wprowadzający przedstawia jedynie zakres informacji zawartych w arkuszu kalkulacyjnym. Po pierwszym załadowaniu arkusza kalkulacyjnego jest to jedyna widoczna karta. Pozostałe karty są dostępne po wybraniu polecenia „Continue” (Kontynuuj).

2.2 Arkusz lokalizacji

W arkuszu lokalizacji (Localisation) użytkownik może wybrać język i Załącznik krajowy (zawierający używane podczas obliczeń tzw. Parametry określone na poziomie krajowym (NDP, Nationally Determined Parameters)).

Po zaznaczeniu opcji „Overwrite” (Nadpisz) użytkownik może wprowadzić własne wartości współczynników częściowych. Określona Załącznikiem krajowym funkcja inżynierii jest pobierana z zalecanych opcji zawartych w Eurokodach.

Odnaczenie opcji „Overwrite” (Nadpisz) powoduje wyczyszczenie pola wyboru Załącznika krajowego — użytkownik musi wybrać Załącznik krajowy z menu rozwijanego.

Istnieje możliwość zapisania domyślnych ustawień języka i Załącznika krajowego. Wartości są zapisywane w prostym pliku tekstowym umieszczonym w tym samym folderze co plik skoroszytu. Późniejszy zapis spowoduje tylko nadpisanie tego pliku.

Załadowanie wartości domyślnych oznacza zaimportowanie zapisanych wcześniej ustawień języka i Załącznika krajowego.

User Information (Informacje użytkownika)

Istnieje możliwość wprowadzenia nazwiska użytkownika, nazwy projektu oraz numeru zadania. Wszystkie wprowadzone dane zostaną umieszczone na wydruku.

2.3 Funkcje dostępne w arkuszach obliczania nośności elementów konstrukcyjnych

Każdy z arkuszy przeznaczonych do obliczania ściskania osiowego, zginania, łącznego oddziaływania ściskania osiowego i zginania, rozciągania, ścinania i obciążenia skupionego zawiera trzy przyciski – „Print” (Drukuj), „Create new comparison file” (Utwórz nowy plik porównawczy) oraz „Add to comparison file” (Dodaj do pliku porównawczego).

2.3.1 Print (Drukuj)

Zostanie otwarty nowy arkusz zawierający informacje użytkownika (patrz punkt 2.2) oraz szczegóły dotyczące obliczonej nośności. Zostanie otwarte okno drukowania, w którym użytkownik może wybrać drukarkę i uruchomić drukowanie.

2.3.2 Add to comparison file (Dodaj do pliku porównawczego)

Kliknięcie tego przycisku powoduje otwarcie arkusza porównawczego, w którym zapisywane są najważniejsze szczegóły dotyczące obliczonej nośności (patrz punkt 2.9).

2.3.3 Create new comparison file (Utwórz nowy plik porównawczy)

Opcja ta służy do usuwania wszelkich obliczeń istniejących w pliku porównawczym i dodawania do niego najbardziej aktualnych wartości. Dlatego po wybraniu tej opcji, w pliku porównawczym będzie widoczne tylko pojedyncze obliczenie.

2.4 Arkusz obliczania nośności przy zginaniu

Istnieje możliwość wyboru następujących danych:

Section type (Typ przekroju)

W skoroszycie uwzględniono dane następujących typów przekrojów (profilu):

- IPE
- HD
- HE
- HL
- UPE

Section (Przekrój)

W menu rozwijanym dostępne są do wyboru wszystkie standardowe przekroje każdego typu.

Beam grade (Gatunek stali — belka)

W przypadku belek można wybrać jeden z poniższych gatunków stali:

- S235
- S275
- S355
- S460

C_1 factor (Współczynnik C_1)

Można wybrać następujące wartości współczynnika C_1 powiązanego z wykresem momentu zginającego:

- 1,13
- 1,21
- 1,23
- 1,35
- 1,49
- 1,68
- Linear (liniowy)

Na wykresie widać, który wykres momentu zginającego odpowiada danemu współczynnikowi C_1 . W przypadku zaznaczenia opcji „Linear” (Liniowy) zostaną wyświetlone dwa dodatkowe pola wejściowe, w których użytkownik musi wprowadzić:

- maksymalny moment zginający,
- minimalny moment zginający.

Buckling length (Długość wyboczeniowa)

Wyświetlana obliczona nośność jest wyrażoną w kNm wartością obliczeniową nośności przy zwichrzeniu (LTB).

Na rysunku pokazane są: narysowany w skali przekrój poprzeczny wybranego kształtownika oraz główne cechy geometryczne.

2.5 Arkusz N-M (łącznie działanie siły osiowej oraz momentu zginającego)

Istnieje możliwość wyboru następujących danych:

Section type (Typ przekroju)

W skoroszytcie uwzględniono dane następujących typów przekrojów (profilu):

- IPE
- HD
- HE
- HL

Section (Przekrój)

W menu rozwijanym dostępne są do wyboru wszystkie standardowe przekroje każdego typu.

Beam grade (Gatunek stali — belka)

W przypadku belek można wybrać jeden z poniższych gatunków stali:

- S235
- S275
- S355
- S460

Momenty i siły wewnętrzne

- Maksymalny moment zginający względem osi mocnej, $M_{y,Ed,max}$
- Minimalny moment zginający względem osi mocnej, $M_{y,Ed,min}$
- Maksymalny moment zginający względem osi słabej, $M_{z,Ed,max}$
- Minimalny moment zginający względem osi słabej, $M_{z,Ed,min}$
- Siła osiowa, N_{Ed}

Długości wyboczeniowe

- Długość wyboczeniowa względem osi mocnej, L_y
- Długość wyboczeniowa względem osi słabej, L_z
- Długość wyboczeniowa dla wyboczenia skrętnego, L_T
- Długość zwichrzeniowa, L_{LTB}

Wybór załącznika A lub załącznika B

Wyświetlany wynik jest jednostkowym współczynnikiem pochodzącym z równań wzajemnego oddziaływania 6.61 oraz 6.62 podanych w normie EN 1993-1-1 i zgodnym z wybranym Załącznikiem krajowym.

2.6 Arkusz obliczania nośności przy rozciąganiu

Istnieje możliwość wyboru następujących danych:

Section type (Typ przekroju)

W skoroszycie uwzględniono dane następujących typów przekrojów (profilu):

- IPE
- HE
- UPE
- Equal Angles (Kątowniki równoramienne)
- Unequal Angles (long leg attached) (Kątowniki nierównoramienne (przymocowane jest długie ramię))
- Unequal Angles (short leg attached) (Kątowniki nierównoramienne (przymocowane jest krótkie ramię))

Section (Przekrój)

W menu rozwijanym dostępne są do wyboru wszystkie standardowe przekroje każdego typu.

Beam grade (Gatunek stali — belka)

W przypadku belek można wybrać jeden z poniższych gatunków stali:

- S235
- S275
- S355
- S460

Number of bolts (Liczba śrub)

Istnieje możliwość wyboru następujących liczb śrub dla projektowanych kątowników:

- No bolt (weld) (Bez śrub (spawany))
- 1 bolt (1 śruba)
- 2 bolts (2 śruby)
- 3 bolts (3 śruby)

Bolt size (Rozmiar śruby)

Rozmiar śruby może być wybrany spośród następujących:

- M12
- M14
- M16
- M18
- M20
- M22
- M24
- M27

Wynikiem jest nośność przy rozciąganiu obliczana jako nośność przekroju brutto przy granicy plastyczności dla dwuteowników lub minimalna nośność przekroju brutto przy granicy plastyczności oraz przekroju netto przy wytrzymałości na rozciąganie dla kątowników (wszystkie podane w kN).

Na górnym rysunku pokazane są: narysowany w skali przekrój poprzeczny wybranego kształtownika oraz główne cechy geometryczne.

Na dolnym rysunku pokazany jest detal przykręcony śrubami (tylko w przypadku wybrania kątowników).

2.7 Arkusz obliczania nośności przy ściskaniu

Istnieje możliwość wyboru następujących danych:

Section type (Typ przekroju)

W skoroszycie uwzględniono dane następujących typów przekrojów (profilu):

- IPE
- HD
- HE
- HL
- UPE
- Equal Angles (Kątowniki równoramienne)
- Unequal Angles (Kątowniki nierównoramienne)

Section (Przekrój)

W menu rozwijanym dostępne są do wyboru wszystkie standardowe przekroje każdego typu.

Beam grade (Gatunek stali — belka)

W przypadku belek można wybrać jeden z poniższych gatunków stali:

- S235
- S275
- S355
- S460

Długości wyboczeniowe

- Długość wyboczeniowa względem osi mocnej, L_y
- Długość wyboczeniowa względem osi słabej, L_z
- Długość wyboczeniowa dla wyboczenia skrętnego, L_T

Wyliczone wartości nośności są wartościami obliczeniowymi nośności przy ściskaniu, nośności przy wyboczeniu giętnym względem osi mocnej oraz osi słabej ($N_{b,y,Rd}$ i $N_{b,z,Rd}$) jak również nośności przy wyboczeniu skrętnym ($N_{b,T,Rd}$). Wszystkie wartości wyrażane są w kN dla odpowiednich długości wyboczeniowych. W arkuszu wyświetlane są także minimalne wartości tych wielkości.

Na rysunku pokazane są: narysowany w skali przekrój poprzeczny wybranego kształtownika oraz główne cechy geometryczne.

2.8 Arkusz obliczania nośności środnika (przy docisku oraz przy wyboczeniu)

Istnieje możliwość wyboru następujących danych:

Section type (Typ przekroju)

W skoroszycie uwzględniono dane następujących typów przekrojów (profilu):

- IPE
- HD
- HE
- HL
- UPE

Section (Przekrój)

W menu rozwijanym dostępne są do wyboru wszystkie standardowe przekroje każdego typu.

Beam grade (Gatunek stali — belka)

W przypadku belek można wybrać jeden z poniższych gatunków stali:

- S235
- S275
- S355
- S460

Lokalizacja obciążenia poprzecznego

- d : odległość od końca obciążenia do końca elementu konstrukcyjnego.
- s_s : długość docisku sztywnego.

Wynikiem jest nośność środnika przy docisku i nośność przy wyboczeniu (w kN) obliczona zgodnie z normą EN 1993-1-5.

Na górnym rysunku pokazane są: narysowany w skali przekrój poprzeczny wybranego kształtownika oraz główne cechy geometryczne.

Na dolnym rysunku pokazany jest szczegół obciążenia poprzecznego w odniesieniu do końca elementu konstrukcyjnego.

2.9 Arkusz porównawczy

W arkuszu porównawczym w jednym wierszu prezentowane są najważniejsze szczegóły obliczonej nośności. Arkusz ten zawiera także wcześniej dodane obliczenia przeprowadzone dla dowolnych elementów konstrukcyjnych, pełni więc rolę zestawienia wszystkich przeprowadzonych obliczeń.

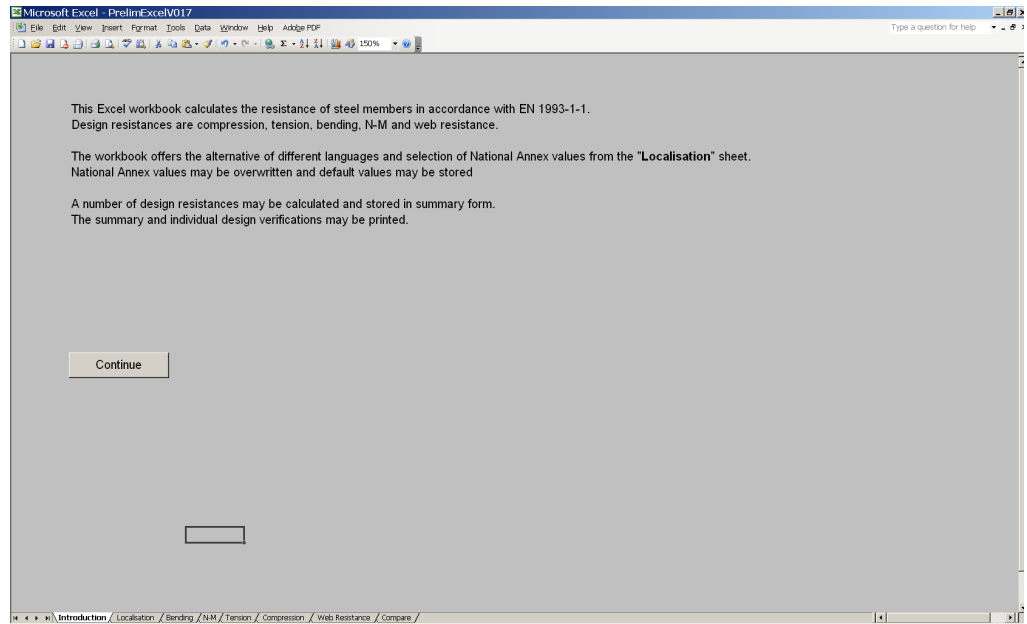
Poprzez kliknięcie przycisku „Add to comparison file” (Dodaj do pliku porównawczego) znajdującego się w każdym arkuszu obliczania nośności dowolnego elementu konstrukcyjnego można do arkusza porównawczego dodawać kolejne obliczenia (patrz punkt 2.3.2).

Należy zauważyć, że arkusz porównawczy pozostanie ukryty, jeżeli żadne szczegóły nie zostaną dodane do pliku porównawczego.

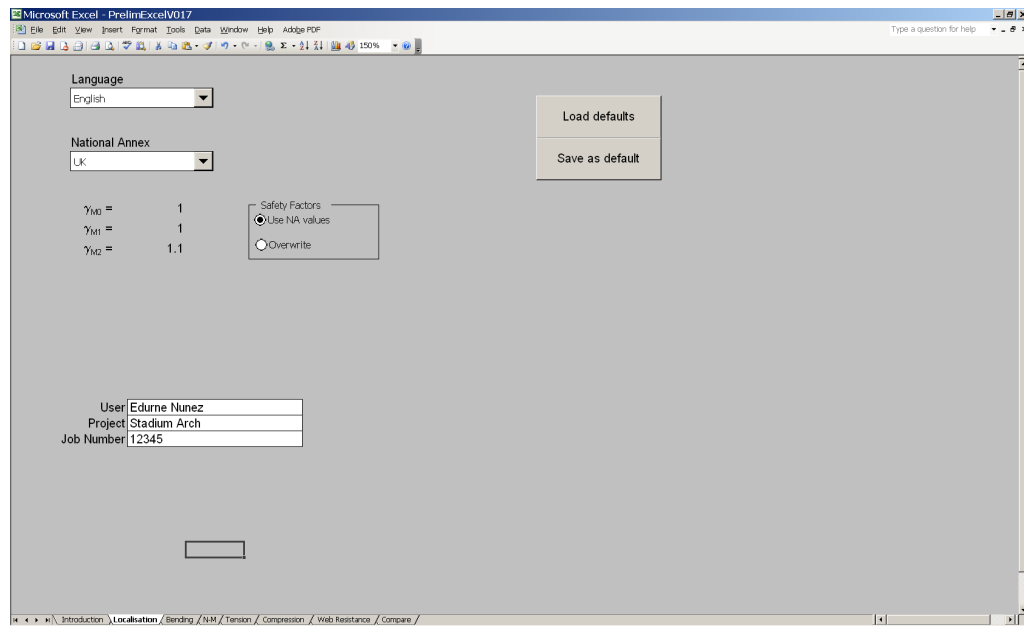
2.9.1 Print comparison file (Drukuj plik porównawczy)

Przycisk ten uruchamia formatowanie pliku porównawczego i powoduje otwarcie okna drukowania, w którym użytkownik może wybrać drukarkę i wydrukować dane.

3 ZRZUTY EKRANU



Rysunek 3.1 Arkusz wprowadzający (Introduction)



Rysunek 3.2 Arkusz lokalizacji (Localisation)

Część 8: Opis kalkulatora do obliczania nośności elementów konstrukcyjnych

Section type: UKB

Section: 838x292x176

Steel grade: S235

C1 Factor: Linear

$M_{Ed,max} = 120 \text{ kNm}$

$M_{Ed,min} = 120 \text{ kNm}$

$C1 = 1$

$L_{cr} = 0.001 \text{ m}$

$M_{b,Rd} = 1532 \text{ kNm}$

h = 834.9 mm
b = 291.7 mm
tf = 18.8 mm
tw = 14 mm
176 kg/m

Print

Create new comparison file

Add to comparison file

Rysunek 3.3 Arkusz obliczania nośności przy zginaniu (Bending)

Section type: HE

Section: HE 1000 x 293

Steel grade: S275

Choice of annex: Annex B

$L_y = 10 \text{ m}$

$L_z = 10 \text{ m}$

$L_t = 5 \text{ m}$

$L_{cr} = 15 \text{ m}$

$M_{y,Ed,max} = 0 \text{ kNm}$

$M_{y,Ed,min} = 65 \text{ kNm}$

$M_{z,Ed,max} = 0 \text{ kNm}$

$M_{z,Ed,min} = 0 \text{ kNm}$

$N_{Ed} = 1500 \text{ kN}$

Eq. 6.61: $\frac{1500}{12408} + 0.006 \frac{65}{2564} + 0.597 \frac{0}{553} = 0.13 < 1.0$

Eq. 6.62: $\frac{1500}{3184} + 0.865 \frac{65}{2564} + 0.996 \frac{0}{553} = 0.49 < 1.0$

Print

Create new comparison file

Add to comparison file

Rysunek 3.4 Arkusz N-M

Część 8: Opis kalkulatora do obliczania nośności elementów konstrukcyjnych

The screenshot shows the 'Tension' tab of the PrelimExcelV017 software. The interface includes a menu bar at the top with options like File, Edit, View, Insert, Format, Tools, Data, Window, Help, and Addge PDF. The main area is divided into several sections:

- Section type:** A dropdown menu set to 'LNEQA (long leg attached)'.
- Section:** A dropdown menu set to 'L 150 x 75 x 11'.
- Bolt(s):** A dropdown menu set to 'S275'.
- Number of bolts:** A dropdown menu set to '2 bolts'.
- Bolt size:** A dropdown menu set to 'M22'.
- Dimensions:** Input fields for $e_1 = 10$ mm and $p_1 = 100$ mm.
- Result:** A field for $N_{t,Rd} =$ followed by a unit 'kN' and an empty input box.
- Diagram:** A schematic of an L-section with dimensions $h = 150$ mm, $b = 75$ mm, and $t = 11$ mm. The weight is listed as 19 kg/m.
- Buttons:** 'Print', 'Create new comparison file', and 'Add to comparison file'.
- Navigation:** A breadcrumb trail at the bottom: Introduction / Localisation / Bending / NM / Tension / Compression / Web Resistance / Compare.

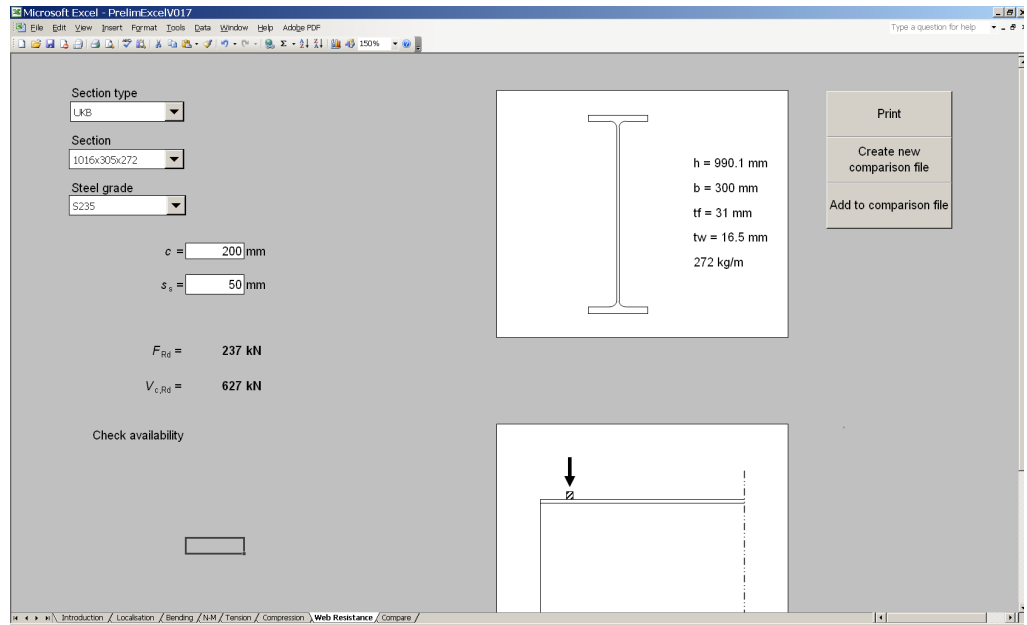
Rysunek 3.5 Arkusz obliczania nośności przy rozciąganiu (Tension)

The screenshot shows the 'Compression' tab of the PrelimExcelV017 software. The interface includes a menu bar at the top with options like File, Edit, View, Insert, Format, Tools, Data, Window, Help, and Addge PDF. The main area is divided into several sections:

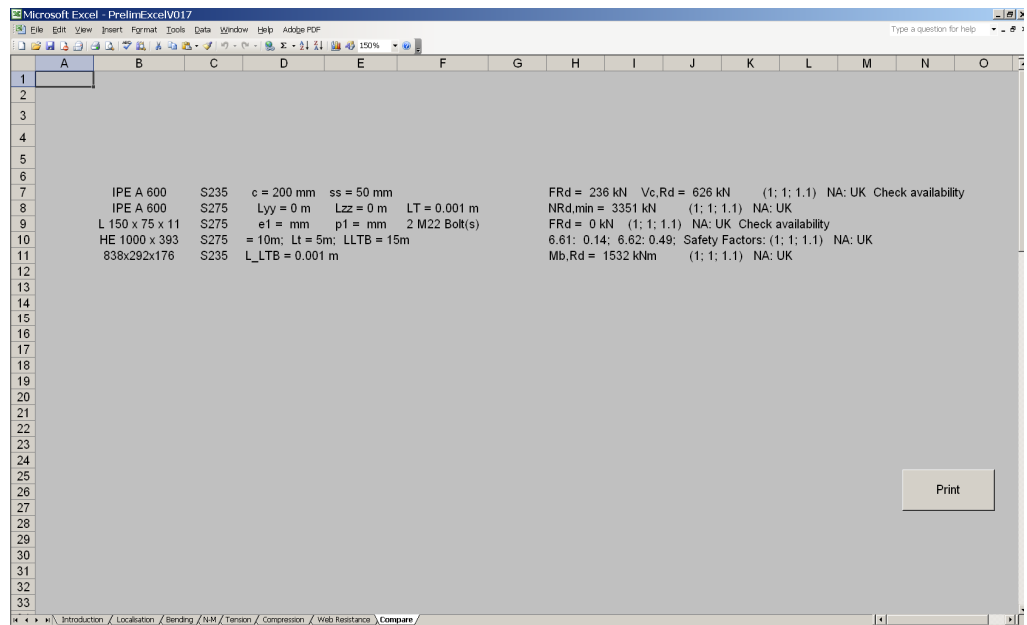
- Section type:** A dropdown menu set to 'IPE'.
- Section:** A dropdown menu set to 'IPE A 600'.
- Steel grade:** A dropdown menu set to 'S275'.
- Dimensions:** Input fields for $L_y = 0$ m, $L_z = 0$ m, and $L_T = 0.001$ m.
- Results:** Four fields showing $N_{b,y,Rd} = 3352$ kN, $N_{b,z,Rd} = 3352$ kN, $N_{b,T,Rd} = 3352$ kN, and $N_{b,Rd} = 3352$ kN.
- Diagram:** A schematic of an I-section with dimensions $h = 597$ mm, $b = 220$ mm, and $t = 17.5$ mm. The weight is listed as 108 kg/m.
- Buttons:** 'Print', 'Create new comparison file', and 'Add to comparison file'.
- Navigation:** A breadcrumb trail at the bottom: Introduction / Localisation / Bending / NM / Tension / Compression / Web Resistance / Compare.

Rysunek 3.6 Arkusz obliczania nośności przy ściskaniu (Compression)

Część 8: Opis kalkulatora do obliczania nośności elementów konstrukcyjnych



Rysunek 3.7 Arkusz obliczania nośności środnika (Web Resistance)



Rysunek 3.8 Arkusz porównawczy (Compare)

ZAŁĄCZNIK A PRZYKŁADY PRAKTYCZNE

W przykładach praktycznych zaprezentowano procedurę obliczeniową wykorzystywaną przez kalkulator obliczający nośność elementów konstrukcyjnych wykorzystywanych w konstrukcjach wielokondygnacyjnych zgodnie z Eurokodami.

Przykłady praktyczne obejmują różne typy projektów:

1. Nośność przy zginaniu
 - Obliczenia uzupełniające demonstrujące wpływ francuskiego Załącznika krajowego
2. Łączne oddziaływanie siły osiowej oraz momentu zginającego (interakcja N-M)
3. Nośność przy rozciąganiu
4. Nośność przy ściskaniu
5. Nośność środnika

Należy zauważyć, że obliczenia uzupełniające zostały dodane w celu wykazania uwzględnienia w procedurach obliczeniowych wpływu francuskiego Załącznika krajowego.

1. Nośność przy zginaniu

W niniejszym przykładzie zaprezentowano metodę wykorzystywaną przez kalkulator obliczający nośność elementów konstrukcyjnych do obliczania nośności przy zginaniu przy przyjęciu zalecanych wartości podanych w normie EN 1993-1-1.

Section (Przekrój): IPE 500

Gatunek stali: S355

$L = 3,8 \text{ m}$

1.1. Klasyfikacja przekrojów poprzecznych

1.1.1. Środek

$$\frac{c}{t_w} = \frac{426}{10,2} = 41,8$$

Wartość graniczna dla klasy 1 wynosi: $72\varepsilon = 72 \times 0,81 = 58,3$

Wówczas: $\frac{c}{t_w} = 41,8 < 58,3$

→ Środek należy do klasy 1.

1.1.2. Pas

$$\frac{c}{t_f} = \frac{73,9}{16} = 4,6$$

Wartość graniczna dla klasy 1 wynosi: $9\varepsilon = 9 \times 0,81 = 7,3$

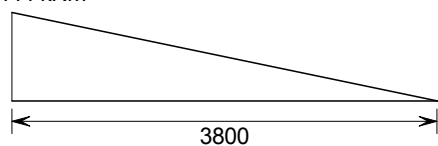
Wówczas: $\frac{c}{t_f} = 4,6 < 7,3$

→ Pas należy do klasy 1

Zatem przekrój należy do klasy 1. Weryfikacja elementu konstrukcyjnego będzie oparta na nośności plastycznej przekroju poprzecznego.

1.2. Nośność przy zwichrzeniu, $M_{b,Rd}$

444 kNm



$$\psi = \frac{0}{444} = 0 \quad \rightarrow C_1 = 1,77$$

Wszelkie odwołania do normy EN 1993-1-1, chyba że podano inaczej


Tabela 5.2
(arkusz 1)

Tabela 5.2
(arkusz 2)

Załącznik C
przewodnika
Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe, część 4

Tytuł	Przykład praktyczny: Nośność przy zginaniu	2 z 3
$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}$ $= 1,77 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2142 \times 10^4}{3800^2}$ $\times \sqrt{\frac{1249 \times 10^9}{2142 \times 10^4} + \frac{3800^2 \times 81000 \times 89,3 \times 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 2142 \times 10^4}}$ $M_{cr} = 1556 \times 10^6 \text{ Nmm}$ $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2194 \times 10^3 \times 355}{1556 \times 10^6}} = 0,708$ <p>W przypadku kształtowników walcowanych na gorąco</p> $\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$ $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad \text{oraz} \quad \beta = 0,75$ $\frac{h}{b} = 2,5$ <p>→ Krzywa c dla dwuteowników walcowanych na gorąco</p> <p>→ $\alpha_{LT} = 0,49$</p> $\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + 0,49(0,708 - 0,4) + 0,75 \times 0,708^2 \right] = 0,763$ $\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}}$ $\chi_{LT} = \frac{1}{0,763 + \sqrt{0,763^2 - 0,75 \times 0,708^2}} = 0,822$ $\frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,708^2} = 1,99$ <p>Zatem $\chi_{LT} = 0,822$</p> $f = 1 - 0,5 (1 - k_c) [1 - 2,0 (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2]$ $k_c = \frac{1}{1,33 + 0,33 \psi} = \frac{1}{1,33 + 0,33 \times 0} = 0,75$ $f = 1 - 0,5 (1 - 0,75) [1 - 2,0 (0,708 - 0,8)^2] = 0,877$ $\chi_{LT \text{ mod}} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0,822}{0,877} = 0,937$ $M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{MI}} = \frac{0,937 \times 2194 \times 10^3 \times 355}{1,0} \times 10^{-6} = 730 \text{ kNm}$		<p>Załącznik C przewodnika Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe, część 4</p> <p>§6.3.2.2</p> <p>§6.3.2.3</p> <p>Tabela 6.3 Tabela 6.5</p> <p>§6.3.2.3</p>

Tytuł	Przykład praktyczny: Nośność przy zginaniu	3 z 3
<p>Francuski Załącznik krajowy wymaga wartości alternatywnych dla $\bar{\lambda}_{LT,0}$, α_{LT} oraz β. Skorygowane obliczenia zaprezentowano poniżej.</p> $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,2 + 0,1 \frac{b}{h} = 0,2 + 0,1 \frac{1}{2,5} = 0,24$ $\beta = 1,0$ $\alpha_{LT} = 0,4 - 0,2 \frac{b}{h} \bar{\lambda}_{LT}^2 = 0,4 - 0,2 \times \frac{1}{2,5} \times 0,708^2 = 0,36$ $\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + 0,36(0,708 - 0,24) + 0,708^2 \right] = 0,835$ $\chi_{LT} = \frac{1}{0,835 + \sqrt{0,835^2 - 0,708^2}} = 0,783$ $\chi_{LT \text{ mod}} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0,783}{0,877} = 0,892$ $M_{b,Rd} = \frac{0,892 \times 2194 \times 10^3 \times 355}{1,0} \times 10^{-6} = 695 \text{ kNm}$		<p>Francuski Zał. kraj.</p> <p>Francuski Zał. kraj.</p> <p>Francuski Zał. kraj.</p>

 Arkusz obliczeniowy	Przykład praktyczny 2: Łączne oddziaływanie siły osiowej oraz momentu zginającego (interakcja N-M)		1 z 5
		Wykonał CZT	Data 02/2010
	Sprawdził ENM	Data 02/2010	
<p>1. Łączne oddziaływanie siły osiowej i momentu zginającego</p> <p>W tym przykładzie zaprezentowano metodę wykorzystywaną przez kalkulator obliczający nośność elementów konstrukcyjnych do obliczania nośności przy wyboczeniu płaskim i niepłaskim przy przyjęciu zalecanych wartości podanych w normie EN 1993-1-1.</p> <p>Section (Przekrój): IPE 450 Gatunek stali: S355 $N_{Ed} = 127 \text{ kN}$ $M_{y,Ed} = 356 \text{ kNm}$ (stały moment zginający wzdłuż belki) $M_{z,Ed} = 0 \text{ kNm}$ $L_y = L_z = L_{LT} = L_{cr} = 1,7 \text{ m}$</p> <p>1.1. Klasyfikacja przekrojów poprzecznych</p> <p>1.1.1. Środek</p> $\frac{c}{t_w} = \frac{378,8}{9,4} = 40,3$ $d_N = \frac{N_{Ed}}{t_w f_y} = \frac{127000}{9,4 \times 355} = 38$ $\alpha = \frac{d_w + d_N}{2 d_w} = \frac{378,8 + 38}{2 \times 378,8} = 0,55 > 0,50$ <p>Wartość rozgraniczająca klasę 1 od klasy 2 wynosi:</p> $\frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \times 0,81}{13 \times 0,55 - 1} = 52,1$ <p>Wówczas: $\frac{c}{t_w} = 40,3 < 52,1$</p> <p>→ Środek należy do klasy 1.</p> <p>1.1.2. Pas</p> $\frac{c}{t_f} = \frac{69,3}{14,6} = 4,7$ <p>Wartość rozgraniczająca klasę 1 od klasy 2 wynosi: $9\varepsilon = 9 \times 0,81 = 7,3$</p> <p>Wówczas: $\frac{c}{t_f} = 4,7 < 7,3$</p> <p>→ Pas należy do klasy 1</p> <p>Zatem przekrój należy do klasy 1. Weryfikacja elementu konstrukcyjnego będzie oparta na nośności plastycznej przekroju poprzecznego.</p>			<p><i>Wszelkie odnośniki odwołują się do normy EN 1993-1-1, chyba że podano inaczej</i></p> <p>Tabela 5.2 (arkusz 1)</p> <p>Tabela 5.2 (arkusz 2)</p>

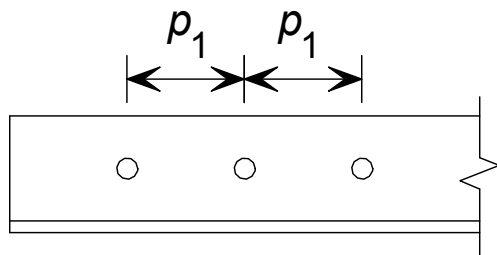
Tytuł	Przykład praktyczny: Wzajemne oddziaływanie ściskania osiowego i zginania (interakcja N-M)	3 z 5
$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,50 + \sqrt{0,50^2 - 0,12^2}} = 1,0$ $N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \times 9880 \times 355}{1,0} \times 10^{-3} = 3507 \text{ kN}$ $N_{Ed} = 127 \text{ kN} < 3507 \text{ kN} \quad \text{OK}$ <p>1.3.2. Nośność przy zwichrzeniu dla zginania, $M_{b,Rd}$</p> <p>W celu wyznaczenia krytycznego momentu rygla współczynnik C_1 uwzględnia kształt wykresu momentu zginającego.</p> <p>W tym przypadku wykres momentu zginającego jest stały wzdłuż rozważanego segmentu, więc $\psi = 1,0$. Zatem:</p> <p>→ $C_1 = 1,0$</p> $M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}$ $= 1,0 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 1676 \times 10^4}{1700^2} \times \sqrt{\frac{791 \times 10^9}{1676 \times 10^4} + \frac{1700^2 \times 81000 \times 66,9 \times 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 1676 \times 10^4}}$ $M_{cr} = 2733 \times 10^6 \text{ Nmm}$ $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1702 \times 10^3 \times 355}{2733 \times 10^6}} = 0,470$ $\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$ $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad \text{oraz } \beta = 0,75$ $\frac{h}{b} = 2,37$ <p>→ Krzywa c dla dwuteowników walcowanych na gorąco</p> <p>→ $\alpha_{LT} = 0,49$</p> $\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + 0,49 (0,470 - 0,4) + 0,75 \times 0,470^2 \right] = 0,60$ $\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}}$ $\chi_{LT} = \frac{1}{0,60 + \sqrt{0,60^2 - 0,75 \times 0,470^2}} = 0,961$		<p>Załącznik C przewodnika Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe, część 4</p> <p>Załącznik C przewodnika Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe, część 4</p> <p>§6.3.2.2</p> <p>§6.3.2.3</p> <p>Tabela 6.3 Tabela 6.5</p> <p>§6.3.2.3</p>

Tytuł	Przykład praktyczny: Wzajemne oddziaływanie ściskania osiowego i zginania (interakcja N-M)	4 z 5
$\frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,470^2} = 4,53$ <p>Zatem $\chi_{LT} = 0,961$</p> $M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,961 \times 1702 \times 10^3 \times 355}{1,0} \times 10^{-6} = 581 \text{ kNm}$ <p>$M_{Ed} = 356 \text{ kNm} < 581 \text{ kNm}$ OK</p>		
<p>1.3.3. Wzajemne oddziaływanie siły osiowej i momentu zginającego</p>		
<p>Współczynnik interakcji, k_{yy}, jest obliczany w następujący sposób:</p>		
$k_{yy} = \min \left[C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right); C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right) \right]$		
<p>Wyrażenie służące do obliczenia C_{my} jest zależne od wartości wielkości α_h oraz ψ.</p>		Załącznik B, tabela B.3
<p>$\psi = 1,0$.</p>		
<p>Dlatego C_{my} jest obliczane następująco:</p>		
<p>$C_{my} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,4 + 0,4 \times 1,0 = 1,0$</p>		
$k_{yy} = \min \left[1,0 \left(1 + (0,12 - 0,2) \frac{127}{3507} \right); 1 \left(1,0 + 0,8 \frac{127}{3507} \right) \right]$ <p>$= \min [0,997; 1,029] = 0,997$</p>		Załącznik B Tabela B.2
$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{127}{3507} + 0,997 \frac{356}{581} = 0,647 < 1,0$ OK		
<p>Kontrola wyboczenia płaskiego elementu konstrukcyjnego przebiegła pomyślnie.</p>		
<p>1.4. Wyrażenie 6.62 (EN 1993-1-1)</p>		
<p>1.4.1. Nośność przy wyboczeniu giętnym dla zginania względem osi słabej, $N_{b,z,Rd}$</p>		
$\frac{h}{b} = \frac{450}{190} = 2,37$		
<p>$t_f = 14,6 \text{ mm}$</p>		
<p>Wyboczenie względem osi z-z</p>		Tabela 6.1
<p>→ Krzywa b dla dwuteowników walcowanych na gorąco</p>		Tabela 6.2
<p>→ $\alpha_z = 0,34$</p>		

Tytuł	Przykład praktyczny: Wzajemne oddziaływanie ściskania osiowego i zginania (interakcja N-M)	5 z 5
$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,4$ $\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1700}{41,2} \times \frac{1}{76,4} = 0,540$ $\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right]$ $\phi_z = 0,5 \left[1 + 0,34(0,540 - 0,2) + 0,540^2 \right] = 0,704$ $\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,704 + \sqrt{0,704^2 - 0,540^2}} = 0,865$ $N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,865 \times 9880 \times 355}{1,0} \times 10^{-3} = 3034 \text{ kN}$ $N_{Ed} = 127 \text{ kN} < 3034 \text{ kN} \quad \text{OK}$		<p>§6.3.1.3</p> <p>§6.3.1.2</p>
<p>1.4.2. Wzajemne oddziaływanie siły osiowej i momentu zginającego</p> <p>Współczynnik interakcji, k_{zy}, jest obliczany w następujący sposób:</p> <p>Dla $\bar{\lambda}_z \geq 0,4$:</p> $k_{zy} = \max \left[\left(1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right); \left(1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right) \right]$ <p>Moment zginający jest liniowy i stały. Zatem C_{mLT} wynosi 1,0.</p> $k_{zy} = \max \left[\left(1 - \frac{0,1 \times 0,540}{(1 - 0,25)} \frac{127}{3034} \right); \left(1 - \frac{0,1}{(1 - 0,25)} \frac{127}{3034} \right) \right]$ $= \max(0,997, 0,994) = 0,997$ $\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{127}{3034} + 0,997 \frac{356}{581} = 0,653 < 1,0 \quad \text{OK}$		<p>§6.3.3(4)</p> <p>Załącznik B, tabela B.3 Załącznik B, tabela B.2</p>

1. Nośność przy rozciąganiu

W niniejszym przykładzie zaprezentowano metodę wykorzystywaną przez kalkulator obliczający nośność elementów konstrukcyjnych do obliczania nośności przy rozciąganiu przy przyjęciu zalecanych wartości podanych w normie EN 1993-1-8.



Section (Przekrój): L 120 × 80 × 12

Gatunek stali: S235

Powierzchnia: $A = 2270 \text{ mm}^2$

Śruby: M20, klasa 8.8

Rozstaw śrub $p_1 = 70 \text{ mm}$

Całkowita liczba śrub $n = 3$

Średnica otworów $d_0 = 22 \text{ mm}$

Częstkowe współczynniki bezpieczeństwa

$\gamma_{M0} = 1,0$

$\gamma_{M2} = 1,25$ (dla nośności śrub przy ścinaniu)

1.2. Kątownik poddawany rozciąganiu

$$N_{Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$2,5 d_0 = 2,5 \times 22 = 55 \text{ mm}$$

$$5 d_0 = 5 \times 22 = 110 \text{ mm}$$

$$2,5 d_0 < p_1 < 5 d_0$$

Współczynnik β_3 może być wyznaczony poprzez interpolację liniową:

Zatem $\beta_3 = 0,59$

$$A_{net} = A - t_{ac} d_0 = 2270 - 12 \times 22 = 2006 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{0,59 \times 2006 \times 360}{1,25} \times 10^{-3} = 341 \text{ kN}$$

Wszelkie odnośniki odwołują się do normy EN 1993-1-8, chyba że podano inaczej

§3.10.3

Tabela 3.8

1. Nośność przy ściskaniu

W niniejszym przykładzie zaprezentowano metodę wykorzystywaną przez kalkulator obliczający nośność elementów konstrukcyjnych do obliczania nośności przy wyboczeniu giętnym oraz skrętnym elementów konstrukcyjnych poddawanych czystemu ściskaniu przy przyjęciu zalecanych wartości podanych w normie EN 1993-1-1.

Section (Przekrój): IPE 500

Gatunek stali: S235

$$L_y = 3,8 \text{ m}$$

$$L_z = 3,8 \text{ m}$$

1.1. Klasyfikacja przekrojów poprzecznych

1.1.1. Środek

$$\frac{c}{t_w} = \frac{426}{10,2} = 41,8$$

Wartość rozgraniczająca klasę 3 od klasy 4 wynosi: $42\varepsilon = 42 \times 1,0 = 42$

$$\text{Wówczas: } \frac{c}{t_w} = 41,8 < 42$$

→ Środek należy do klasy 3.

1.1.2. Pas

$$\frac{c}{t_f} = \frac{73,9}{16} = 4,6$$

Wartość rozgraniczająca klasę 1 od klasy 2 wynosi: $9\varepsilon = 9 \times 1,0 = 9$

$$\text{Wówczas: } \frac{c}{t_f} = 4,6 < 9$$

→ Pas należy do klasy 1.

Zatem przekrój należy do klasy 3.

1.2. Nośność przy wyboczeniu giętnym względem osi mocnej, $N_{b,y,Rd}$

$$L_y = 3,8 \text{ m}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{500}{200} = 2,5$$

$$t_f = 16 \text{ mm}$$

Wszelkie odnośniki odwołują się do normy EN 1993-1-1, chyba że podano inaczej

Tabela 5.2
(arkusz 1)

Tabela 5.2
(arkusz 2)

Tytuł	Przykład praktyczny: Nośność przy ściskaniu	2 z 3
<p>Wyboczenie względem osi y-y:</p> <p>→ Krzywa a dla dwuteowników walcowanych na gorąco</p> <p>→ $\alpha_y = 0,21$</p> $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{235}} = 93,9$ $\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3800}{204} \times \frac{1}{93,9} = 0,198$ $\phi_y = 0,5 \left[1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right]$ $\phi_y = 0,5 \left[1 + 0,21(0,198 - 0,2) + 0,198^2 \right] = 0,519$ $\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,519 + \sqrt{0,519^2 - 0,198^2}} = 1,0$ $N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \times 11600 \times 235}{1,0} \times 10^{-3} = 2726 \text{ kN}$ <p>1.3. Nośność przy wyboczeniu giętym względem osi słabej, $N_{b,z,Rd}$</p> <p>$L_z = 3,8 \text{ m}$</p> $\frac{h}{b} = \frac{500}{200} = 2,5$ <p>$t_f = 16 \text{ mm}$</p> <p>Wyboczenie względem osi z-z:</p> <p>→ Krzywa b dla dwuteowników walcowanych na gorąco</p> <p>→ $\alpha_z = 0,21$</p> $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{235}} = 93,9$ $\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3800}{43,1} \times \frac{1}{93,9} = 0,94$ $\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right]$ $\phi_z = 0,5 \left[1 + 0,21(0,94 - 0,2) + 0,94^2 \right] = 1,07$ $\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,07 + \sqrt{1,07^2 - 0,94^2}} = 0,632$ $N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,632 \times 11600 \times 235}{1,0} \times 10^{-3} = 1723 \text{ kN}$		<p>Tabela 6.2</p> <p>Tabela 6.1</p> <p>§6.3.1.3</p> <p>§6.3.1.2</p> <p>Tabela 6.1</p> <p>Tabela 6.2</p> <p>§6.3.1.3</p> <p>§6.3.1.2</p>

1.4. Wyboczenie skrętne $N_{b,T,Rd}$

$$L_T = 3,8 \text{ m}$$

$$N_{crT} = \frac{1}{i_0^2} \left(\frac{\pi^2 EI_w}{L_T^2} + GI_T \right)$$

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 = 204^2 + 43,1^2 = 43474$$

$$N_{crT} = \frac{1}{43474} \left(\frac{\pi^2 \times 210000 \times 1249 \times 10^9}{3800^2} + 81000 \times 89,3 \times 10^4 \right) \times 10^{-3} = 5787 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{crT}}} = \sqrt{\frac{11600 \times 235}{5787 \times 10^3}} = 0,686$$

$$\phi_T = 0,5 [1 + \alpha_T (\lambda_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2]$$

Krzywa wyboczenia dla wyboczenia skrętnego jest taka sama jak dla wyboczenia względem osi słabej, dlatego należy wybrać krzywą wyboczenia **b**

$$\alpha_z = 0,34$$

$$\phi_T = 0,5 (1 + 0,34 (0,686 - 0,2) + 0,686^2) = 0,818$$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_T^2}} = \frac{1}{0,818 + \sqrt{0,818^2 - 0,686^2}} = 0,791$$

$$N_{b,T,Rd} = \frac{\chi_T A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,791 \times 11600 \times 235}{1,0} \times 10^{-3} = 2156 \text{ kN}$$

1. Nośność środnika

W niniejszym przykładzie zaprezentowano metodę wykorzystywaną przez kalkulator obliczający nośność elementów konstrukcyjnych do obliczania nośności środnika oraz nośności przy ścinaniu przy przyjęciu zalecanych wartości podanych w normach EN 1993-1-5 i EN 1993-1-1.

Section (Przekrój): IPE 500

Gatunek stali: S355

$$c = 10 \text{ mm}$$

$$s_s = 100 \text{ mm}$$

1.1. Nośność przy ścinaniu

W przypadku braku skręcania nośność plastyczna przy ścinaniu zależy od pola ścinania wyrażonego zależnością:

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f$$

$$A_v = 11600 - 2 \times 200 \times 16 + (10,2 + 2 \times 21) \times 16 = 6035 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{6035 \times 355 \times 10^{-3}}{\sqrt{3} \times 1,0} = 1237 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 1237 \text{ kN}$$

EN 1993-1-1, §
6.2.6 (3)

EN 1993-1-1, §
6.2.6 (2)

1.2. Nośność obliczeniowa przy miejscowym wyboczeniu

$$c = 10 \text{ mm}$$

$$s_s = 100 \text{ mm}$$

$$m_1 = \frac{b_f}{t_w} = \frac{200}{10,2} = 19,6$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 \quad \text{jeśli } \bar{\lambda}_F > 0,5$$

$$m_2 = 0 \quad \text{jeśli } \bar{\lambda}_F < 0,5$$

Najpierw zakładamy, że $\bar{\lambda}_F > 0,5$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{468}{16} \right)^2 = 17,11$$

$$k_F = 2 + 6 \left(\frac{s_s + c}{h_w} \right)^2 \quad \text{ale } k_F \leq 6$$

Tytuł	Przykład praktyczny: Nośność środnika oraz nośność przy ścinaniu	2 z 2
$k_F = 2 + 6 \left(\frac{100 + 10}{468} \right)$ $k_F = 3,41 < 6$ $\ell_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_y h_w} \quad \text{ale } \leq s_s + c$ $\ell_e = \frac{3,41 \times 210000 \times 10,2^2}{2 \times 355 \times 468} = 224 \leq 100 + 10 = 110$ <p>Zatem $\ell_e = 110$</p> $\ell_{y1} = s_s + 2 t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100 + 2 \times 16 (1 + \sqrt{19,6 + 17,11}) = 325 \text{ mm}$ $\ell_{y2} = \ell_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{\ell_e}{t_f}\right)^2} + m_2 = 110 + 16 \sqrt{\frac{19,6}{2} + \left(\frac{110}{16}\right)^2} + 17,11$ $= 248 \text{ mm}$ $\ell_{y3} = \ell_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2} = 110 + 16 \sqrt{19,6 + 17,22} = 207 \text{ mm}$ $\ell_y = \min(\ell_{y1}; \ell_{y2}; \ell_{y3}) = \min(325; 248; 207) = 207 \text{ mm}$ $F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 \times 3,41 \times 210000 \times \frac{10,2^3}{468} = 1461406 \text{ N}$ $\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y t_w f_y}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{207 \times 10,2 \times 355}{1461406}} = 0,72$ $\bar{\lambda}_F = 0,72 > 0,5$ <p>Zatem wstępne założenie było poprawne i nośność środnika może zostać obliczona w oparciu o tę wartość współczynnika λ_F. Gdyby obliczona wartość współczynnika λ_F była mniejsza niż 0,5, wówczas obliczenia musiałyby zostać przeprowadzone ponownie przy wykorzystaniu odpowiedniego wyrażenia dla wielkości M_2</p> $\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,72} = 0,69$ $\chi_F = 0,69$ $L_{eff} = \chi_F \ell_y$ $L_{eff} = 0,69 \times 207 = 143 \text{ mm}$ $F_{Rd} = \frac{f_y L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{355 \times 143 \times 10,2}{1,0} = 518 \text{ kN}$	<p>EN 1993-1-5, równ. (6.13)</p> <p>EN 1993-1-5, równ. (6.10)</p> <p>EN 1993-1-5, równ. (6.11)</p> <p>EN 1993-1-5, równ. (6.12)</p> <p>EN 1993-1-5, § 6.2 (1)</p>	