



***KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE
NAUCZANIA PRZEDMIOTU
„KONSTRUKCJE METALOWE”***

Spis treści



1. Wstęp.....	3
2. Informatyka w dydaktyce przedmiotu „Konstrukcje metalowe”	4
2.1. Formy komputerowego wspomaganie nauczania przedmiotu	4
2.2. Przykład obliczeń normowych	6
2.2.1. Wyznaczenie klasy przekroju środnika kształownika HEA 260	7
2.2.2. Wyznaczenie klasy przekroju pasa kształownika HEA 260.....	8
2.2.3. Wyznaczenie klasy całego przekroju kształownika HEA 260	9
3. Koncepcja aplikacji wspomagającej wykonywanie obliczeń normowych w ramach przedmiotu „Konstrukcje metalowe”	10
3.1. Opis działania programu.....	11
4. Wnioski	16
Bibliografia	17
Spis rysunków	18



1. Wstęp



W dobie szybkiego rozwoju techniki, automatyzacji życia oraz zdobyczy technologii informatycznej i Internetu komputer jest podstawowym narzędziem pracy w wielu obszarach życia. Edukacja na poziomie szkolnictwa wyższego to dziedzina, w której wykorzystanie komputerów do celów wspomaganie procesu nauczania jest nie tylko dość popularne, ale wręcz bezwzględnie potrzebne.



Konstrukcje metalowe są powszechnie stosowane w różnych gałęziach gospodarki, a przede wszystkim w budownictwie. W programach studiów wielu kierunków kształcenia znajduje się przedmiot „Konstrukcje metalowe”, na którym studenci zdobywają umiejętność projektowania konstrukcji. Projektowanie dzisiaj wspierane jest programami komputerowymi, których celem jest między innymi usprawnienie, przyspieszenie i ułatwienie pracy projektantom.

W artykule przedstawiono możliwości płynące z zastosowania programów komputerowych w nauczaniu przedmiotu „Konstrukcje metalowe”. Ponadto zaproponowano własną aplikację internetową, która ma ułatwić studentom wykonywanie potrzebnych obliczeń oraz zapoznać ich z poszczególnymi procedurami normowymi związanymi z projektowaniem stalowych konstrukcji inżynierskich.

2. Informatyka w dydaktyce przedmiotu „Konstrukcje metalowe”

2.1. **Formy komputerowego wspomaganie nauczania przedmiotu**



Zastosowanie technologii informatycznej w dydaktyce przedmiotu „Konstrukcje metalowe” może odbywać się poprzez:



- wspomaganie komputerem samego procesu edukacyjnego (prezentacje multimedialne, filmy edukacyjne, materiały dydaktyczne w formie elektronicznej, elektroniczna forma przekazu wykonywanych ćwiczeń, elektroniczna forma sprawdzania wiedzy, zasoby internetowe),
- korzystanie z gotowych profesjonalnych programów,
- tworzenie własnych aplikacji na potrzeby nauczania.

Do najczęściej wykorzystywanych w projektowaniu konstrukcji metalowych gotowych profesjonalnych programów komputerowych można zaliczyć między innymi:

- programy matematyczne umożliwiające dokonywanie zaawansowanych obliczeń inżynierskich, takie jak Mathcad [9], Microsoft Excel [10]. Pozwalają one tworzyć profesjonalne dokumenty techniczne zawierające wzory, wykresy, zestawienia tabelaryczne. Posługują się nimi studenci na wszystkich trzech stopniach studiów;
- programy przeznaczone do tworzenia i analizy nieskomplikowanych konstrukcji inżynierskich, takie jak RM-WIN [14], Rama3D [13], Soldis [16]. Są one przeważnie stosowane przez studentów I stopnia w początkowej fazie nauczania przedmiotu, ze względu na łatwość i szybkość opanowania obsługi programu. Korzystanie na tym etapie kształcenia z bardziej zaawansowanych programów jest utrudnione z uwagi na niepełną jeszcze wiedzę inżynierską;
- programy służące do modelowania, analizy i wymiarowania konstrukcji inżynierskich, takie jak Robot Structural Analysis [15], Advance Design [8]. Ze względu na swoją złożoność wykorzystywane są one zazwyczaj po osiągnięciu odpowiedniego poziomu wiedzy inżynierskiej oraz opanowaniu obsługi samego programu. Korzystają z nich w szczególności studenci II stopnia zarówno w ramach ćwiczeń projektowych jak i prac dyplomowych oraz studenci kończący I stopień w ramach prac inżynierskich;
- programy przeznaczone do symulacji skomplikowanych zagadnień inżynierskich przy pomocy MES, takie jak Ansys [3], Abaqus [6], Marc [12], Adina [2]. Sięgają po nie najczęściej studenci-dyplomanci i doktoranci szukający nietypowych rozwiązań dla różnorodnych problemów z zakresu budownictwa;

- programy do modelowania i tworzenia dokumentacji rysunkowej konstrukcji inżynierskich, takie jak Autocad [4], Bricscad [7], Advance Steel [8], Revit Structure [4]. Służą one studentom wszystkich trzech stopni studiów;
- programy do kosztorysowania robót inżynierskich, takie jak Zuzia [17], Norma PRO [5].

Powyższe programy mogą być wykorzystywane przez studentów na różnych etapach projektowania konstrukcji metalowych, których schemat powstawania można zaprezentować następująco:

- etap kształtowania konstrukcji związany z określeniem kształtu, wymiarów oraz rodzajów zastosowanych materiałów [4, 7, 10],
- etap zestawienia obciążeń działających na konstrukcję w celu wyznaczenia siły wewnętrznych w poszczególnych elementach konstrukcji oraz jej połączeniach [13, 14, 16, 15, 8],
- etap wymiarowania konstrukcji polegający ogólnie ujmując na sprawdzeniu czy nośność elementu jest większa niż siła działająca na dany element (sprawdzenie stanu SGN) oraz czy przemieszczenia elementu są mniejsze niż dopuszczalne (sprawdzenie stanu SGU) [15, 8, 9],
- etap kończący proces wykonywania projektu związany jest z tworzeniem dokumentacji technicznej, rysunków konstrukcyjnych i wykonawczych, zestawień materiałów [4, 7, 8, 4, 10].

Powstawanie projektu konstrukcji stalowych wymaga od studentów dokładności, zaangażowania i poświęcenia odpowiedniej ilości czasu. Bardzo istotne staje się przy tym przygotowanie prawidłowych obliczeń podczas wymiarowania konstrukcji. Korzystanie z gotowych rozwiązań w postaci programów komputerowych przystosowanych do analizy konstrukcji oraz jej wymiarowania niesie za sobą wiele korzyści, ale i niebezpieczeństw. Największa ich zaleta to szybki wynik w postaci zwymiarowanej konstrukcji uzyskany małym nakładem pracy początkowej. Aby móc jednak korzystać z tych udogodnień student powinien przede wszystkim posiadać odpowiednią wiedzę inżynierską oraz w sposób dogłębny poznać działanie samego programu. Istotna jest również odpowiednia interpretacja i kontrola uzyskanych wyników oraz świadomość że program jest tylko narzędziem w ich rękach i nie należy mu bezgranicznie wierzyć.

Zanim jednak student posiędzie wszystkie te umiejętności, koniecznym jest, aby poznał odpowiednie obliczeniowe procedury normowe projektowania konstrukcji. W Polsce podobnie jak w innych krajach Unii Europejskiej wprowadzone zostały normy

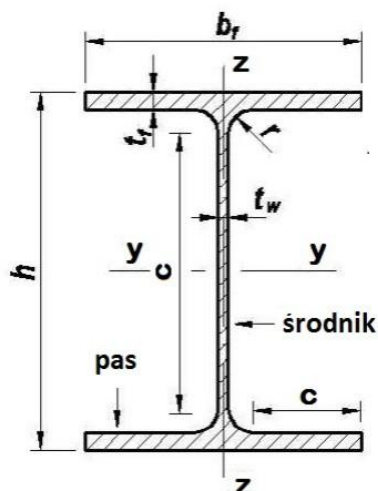
europejskie tzw. Eurokody, które są zbiorem ujednoczonych reguł projektowania konstrukcji budowlanych. W trakcie zajęć z przedmiotu „Konstrukcje metalowe” student zostaje zapoznany z odpowiednimi normami oraz sposobami ich wykorzystania podczas kolejnych etapów projektowania. Liczba norm, ich obszerność oraz znaczna liczba procedur związana z ich zastosowaniem powoduje wydłużenie procesu projektowania w stosunku do projektowania komputerowego. Ponadto wraz ze wzrostem pracochłonności obliczeń wzrasta prawdopodobieństwo popełnienia błędów.

W związku z powyższym, z jednej strony, aby nie zniechęcić studenta do projektowania, a z drugiej, aby przekazać mu konieczną wiedzę uzasadnianym staje się tworzenie na potrzeby dydaktyki własnych, nieskomplikowanych aplikacji obliczeń normowych. Mają one na celu skrócić czas wykonywania danego zagadnienia, zapoznać użytkownika z tokiem obliczeń, usprawnić i wyjaśnić jego przebieg dając na końcu natychmiastowy wynik.

2.2. Przykład obliczeń normowych

Wyznaczanie klasy przekroju jest jedną z wielu procedur normy [1] którą należy wykonać podczas etapu wymiarowania konstrukcji stalowych. Klasyfikacja przekroju jest uzależniona od stosunku szerokości do grubości jego części poddanych ścisaniu (części wewnętrznej zwanej środnikiem i części wspornikowej zwanej pasem).

Poniżej przedstawiono przykładowe obliczenia dotyczące wyznaczenia klasy przekroju kształtownika HEA 260 ze stali gatunku S355, poddanego zginaniu względem osi y - y . W dalszej części pracy przykład ten zostanie wykorzystany do wyznaczenia klasy przekroju za pomocą własnej aplikacji.



Rys. 1. Przekrój dwuteownika HEA 260
Źródło: opracowanie własne



Dane

Wymiary kształtownika HEA 260 przedstawionego na rysunku 1:

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$bf = 260 \text{ mm}$$

$$tf = 12,5 \text{ mm}$$

$$tw = 7,5 \text{ mm}$$

$$r = 24 \text{ mm}$$

Granica plastyczności stali dla gatunku stali S355 (z której wykonano kształtownik) odczytano z tablicy 3.1 normy [1]. Wynosi ona:

$$t_{max} = t_f = 12,5 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \rightarrow f_y = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{🗨️}$$

gdzie:

f_y – wartość granicy plastyczności

Aby wyznaczyć klasę przekroju całego kształtownika, należy osobno wyliczyć klasę przekroju środnika oraz klasę przekroju pasa kształtownika.

2.2.1. Wyznaczenie klasy przekroju środnika kształtownika HEA 260

Obliczenie szerokości ścianki wewnętrznej c (patrz rys. 1):

$$c = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 177 \text{ mm} \quad \text{🗨️} \quad (1)$$

Obliczenie smukłości ścianki wewnętrznej c/t :

$$\frac{c}{t} = \frac{c}{t_w} = 23,6 \quad (2)$$

Obliczenie współczynnika ε :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81 \quad (3)$$

Obliczenie smukłości granicznej ścianki wewnętrznej klasy 1 poddanej zginaniu:

$$72 \cdot \varepsilon = 58,32 \quad (4)$$

Porównanie zgodnie z tablicą 5.2 normy [1] smukłości ścianki wewnętrznej c/t wyznaczonej we wzorze (2) ze smukłością graniczną dla ścianki wewnętrznej klasy 1 poddanej zginaniu wyznaczoną we wzorze (4):

$$\frac{c}{t} = 23,6 < 72 \cdot \varepsilon = 58,32 \quad (5)$$

Na podstawie nierówności (5) i tablicy 5.2 normy [1] środnik kształtownika HEA 260 spełnia warunek klasy 1.



2.2.2. Wyznaczenie klasy przekroju pasa kształtownika HEA 260

Obliczenie szerokości ścianki wspornikowej c :

$$c = \frac{b_f - t_w - 2 \cdot r}{2} = 102,25 \text{ mm} \quad (6)$$

Obliczenie smukłości ścianki wspornikowej c/t :

$$\frac{c}{t} = \frac{c}{t_f} = 8,18 \quad (7)$$

Obliczenie smukłości granicznej ścianki wspornikowej klasy 1 poddanej ścisnaniu:

$$9 \cdot \varepsilon = 7,29 \quad (8)$$

Porównanie zgodnie z tablicą 5.2 normy [1] smukłości ścianki wspornikowej c/t wyznaczonej we wzorze (7) ze smukłością graniczną dla ścianki wspornikowej klasy 1 poddanej ścisnaniu wyznaczoną we wzorze (8):

$$\frac{c}{t} = 8,18 > 9 \cdot \varepsilon = 7,29 \quad (9)$$

Na podstawie nierówności (9) i tablicy 5.2 normy [1] pas kształtownika HEA 260 nie spełnia warunku klasy 1.

Obliczenie smukłości granicznej ścianki wspornikowej klasy 2 poddanej ścisnaniu:

$$10 \cdot \varepsilon = 8,1 \quad (10)$$

Porównanie zgodnie z tablicą 5.2 normy [1] smukłości ścianki wspornikowej c/t wyznaczonej we wzorze (7) ze smukłością graniczną dla ścianki wspornikowej klasy 2 poddanej ścisnaniu wyznaczoną we wzorze (10):

$$\frac{c}{t} = 8,18 > 10 \cdot \varepsilon = 8,1 \quad (11)$$

Na podstawie nierówności (11) i tablicy 5.2 normy [1] pas kształtownika HEA 260 nie spełnia warunku klasy 2.

Obliczenie smukłości granicznej ścianki wspornikowej klasy 3 poddanej ścisnaniu:

$$14 \cdot \varepsilon = 11,34 \quad (12)$$

Porównanie zgodnie z tablicą 5.2 normy [1] smukłości ścianki wspornikowej c/t wyznaczonej we wzorze (7) ze smukłością graniczną dla ścianki wspornikowej klasy 3 poddanej ścisnaniu wyznaczoną we wzorze (12):

$$\frac{c}{t} = 8,18 > 14 \cdot \varepsilon = 11,34 \quad (13)$$

Na podstawie nierówności (13) i tablicy 5.2 normy [1] pas kształtownika HEA 260 spełnia warunek klasy 3.

2.2.3. Wyznaczenie klasy całego przekroju kształownika HEA 260

Zgodnie z punktem 5.5.2(6) normy [1] przekrój jest klasyfikowany wedle najwyższej (najmniej korzystnej) klasy pasa i środka. Na podstawie nierówności (5) środek jest klasy 1, a na podstawie nierówności (13) pas jest klasy 3. Cały kształownik HEA 260 jest więc klasy 3.

3. Koncepcja aplikacji wspomagającej wykonywanie obliczeń normowych w ramach przedmiotu „Konstrukcje metalowe”

Aplikacja ma na celu ułatwienie studentom wykonywania obliczeń normowych potrzebnych do realizacji projektu z przedmiotu „Konstrukcje metalowe”. Zadaniem jej jest także zapoznanie studentów z poszczególnymi procedurami normowymi związanymi z projektowaniem konstrukcji stalowych. W związku z tym spełnione muszą być następujące wymagania:

- program ma być łatwo dostępny dla użytkownika niezależnie od miejsca jego przebywania,
- interfejs aplikacji musi być przyjazny dla użytkownika,
- obliczenia w programie prowadzone są krok po kroku według procedur zawartych w normie [1], tak by użytkownik mógł się z nimi zapoznać,
- pokazane są wykorzystywane w obliczeniach wzory, aby użytkownik wiedział jak uzyskano poszczególne wyniki,
- przy obliczeniach powinny znajdować się odnośniki informujące o numerze użytego z normy [1] wzoru, a także objaśnienia dotyczące wykonywanych obliczeń,
- należy w miarę możliwości weryfikować dane wprowadzane przez użytkownika, aby zminimalizować prawdopodobieństwo popełnienia błędu przy ich wpisywaniu.

Aby zapewnić łatwy dostęp do programu zdecydowano, że będzie miał on postać aplikacji internetowej (web) komunikującej się z użytkownikiem za pomocą przeglądarki internetowej. Dzięki temu nie trzeba go instalować, nie jest on także zależny od systemu operacyjnego komputera na którym będzie działał. Ponadto aktualizacja aplikacji jest przeprowadzana przez jej administratora i nie wymaga działań ze strony użytkownika.

Program składa się z kilku modułów odpowiadających poszczególnym obliczeniom wykonywanym podczas projektowania konstrukcji stalowych. Do obliczeń tych należą między innymi:

- wyznaczanie klasy przekroju,
- sprawdzenie warunku nośności przekroju przy rozciąganiu,
- sprawdzenie warunku nośności przekroju przy ściskaniu,
- sprawdzenie warunku nośności przekroju przy zginaniu,
- sprawdzenie warunku nośności przekroju przy zginaniu ze zwichrzeniem,
- sprawdzenie warunku nośności przekroju przy ścinaniu,
- sprawdzenie warunku nośności przekroju przy skręcaniu,
- sprawdzenie warunku nośności przekroju przy zginaniu ze ścinaniem,

- sprawdzenie warunku nośności przekroju przy zginaniu z siłą podłużną,
- sprawdzenie warunku nośności przekroju przy zginaniu ze ścinaniem i siłą podłużną,
- sprawdzenie warunku nośności elementu ze względu na wyboczenie,
- sprawdzenie warunku nośności elementów ściskanych i zginanych,
- sprawdzenie warunku nośności elementów ściskanych i zginanych,
- wyznaczanie siły krytycznej przy sprężystym wyboczeniu giętnym, giętno-skrętnym i skrętnym,
- wyznaczanie momentu krytycznego przy zwichrzeniu sprężystym,
- uproszczona ocena zwichrzenia belek,
- sprawdzenie warunku ugięcia belki.

Do realizacji wymienionych wyżej obliczeń posłużą następujące moduły:

1. Wyznaczanie klasy przekroju.
2. Sprawdzenie stanu granicznego nośności.
3. Sprawdzenie stanu granicznego użytkowania.
4. Wyznaczanie siły krytycznej przy sprężystym wyboczeniu giętnym, giętno skrętnym i skrętnym.
5. Wyznaczanie momentu krytycznego przy zwichrzeniu sprężystym.
6. Uproszczona ocena zwichrzenia belek.
7. Inne.

Lista modułów nie jest zamknięta. Aplikację zaprojektowano tak, by można ją było łatwo rozbudowywać dodając kolejne moduły. Obecnie wykonano moduł służący do wyznaczania klasy przekroju profilu stalowego. W przyszłości planowane jest utworzenie wszystkich wymienionych wyżej modułów. Niektóre z nich zostaną wykonanych przez studentów w ramach projektów inżynierskich.

Oprogramowanie zostało napisane w językach php i html przy wykorzystaniu środowiska Microsoft Expression Web [11].

3.1. Opis działania programu

Jak już wcześniej napisano aplikacja będzie dostępna dla użytkowników poprzez przeglądarkę internetową. Nie wymaga instalacji ani korzystania z żadnych innych programów.

Po zalogowaniu do systemu użytkownik wybiera rodzaj obliczeń, które chce wykonać. Uruchamiany jest właściwy moduł i użytkownik może przeprowadzać odpowiednie obliczenia korzystając z form ekranowych.

Poniżej przedstawiono działanie modułu służącego do wyznaczania klasy przekroju. Zaprezentowane obliczenia dotyczą opisanego w poprzednim rozdziale dwuteownika gorącowalcowanego poddanego zginaniu względem osi y-y.

1. Użytkownik wybiera opcję **WYZNACZANIE KLASY PRZEKROJU** z okna zawierającego spis wszystkich dostępnych obliczeń (rys. 2).

PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJE STALOWYCH - OBLICZENIA NORMOWE WG EC3

RODZAJE OBLICZEŃ
Wybierz obliczenia, które chcesz wykonać:

- Wyznaczanie klasy przekroju
- Sprawdzenie stanu granicznego nośności
- Sprawdzenie stanu granicznego użytkowania
- Wyznaczanie siły krytycznej przy sprężystym wyboczeniu giętnym, giętno skrętnym i skrętnym
- Wyznaczanie momentu krytycznego przy zwichrzeniu sprężystym
- Uproszczona ocena zwichrzenia belek

DALEJ


Rys. 2. Okno wyboru rodzaju obliczeń
Źródło: opracowanie własne

2. Zostaje wyświetlone okno (rys. 3) umożliwiające wybór konkretnego profilu stalowego. Elementy zostały pogrupowane w zależności od ich rodzaju i przedstawione przy pomocy rysunków, aby ułatwić użytkownikowi identyfikację konkretnego profilu. Po wybraniu obiektu można kontynuować działanie wciskając przycisk **DALEJ**, lub wrócić do strony głównej aplikacji wybierając przycisk **WSTECZ**.
3. Kolejne okno (rys. 4) umożliwia wprowadzenie danych dotyczących dwuteownika. Należy wpisać wymiary kształtownika zgodnie z oznaczeniami podanymi na rysunku, podać wartość granicy plastyczności stali dla danego przypadku oraz wybrać rozkłady naprężeń w przekroju środnika i pasa. W oknie znajduje się informacja z jakiej tabeli i normy należy skorzystać przy określeniu wartości granicy plastyczności stali. Aby przejść do okna z obliczeniami należy zatwierdzić wprowadzone dane przyciskiem **DALEJ**. Aby cofnąć się do poprzedniego okna należy nacisnąć **WSTECZ**. Jeżeli użytkownik wpisze błędne wartości lub nie wpisze wszystkich danych potrzebnych do obliczeń pojawia się komunikat informujący o błędzie i konieczności uzupełnienia lub ponownego ich wprowadzenia.

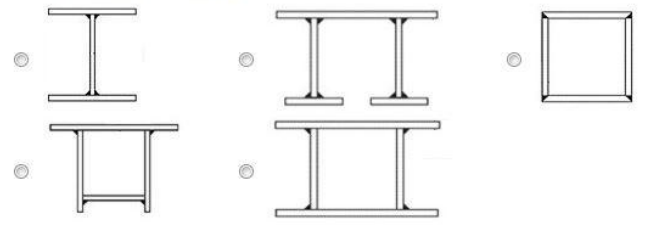
WYZNACZANIE KLASY PRZEKROJU

PROFILE STALOWE
Wybierz rodzaj profilu stalowego:


KSZTAŁTOWNIKI WALCOWANE



KSZTAŁTOWNIKI SPAWANE



PROFILE ZAMKNIĘTE **KĄTOWNIKI** **RURY OKRĄGŁE**



Rys. 3. Okno umożliwiające wybór profilu stalowego
Źródło: opracowanie własne

WYZNACZANIE KLASY PRZEKROJU

DWUTEOWNIK GORĄCOWALCOWANY

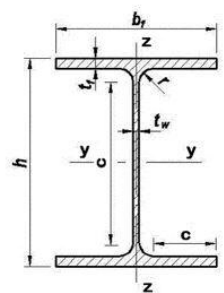
Po wprowadzeniu danych i wciśnięciu przycisku **DALEJ** zostaną przeprowadzone obliczenia kolejno dla **środnika** i **pasa** zadanego dwuteownika.

Podaj wymiary dwuteownika:

h = [mm]
 b_f = [mm]
 t_f = [mm]
 t_w = [mm]
r = [mm]

Podaj granicę plastyczności stali:
(wg. tab.3.1 PN-EN 1993-1-1)

f_y = [N/mm²]



Wybierz rozkład naprężeń w przekroju **środnika**:

zginanie oś y-y ściskanie zginanie i ściskanie

Wybierz rozkład naprężeń w przekroju **pasa**:

ściskanie zginanie i ściskanie

Rys. 4. Okno umożliwiające wprowadzenie danych do obliczeń
Źródło: opracowanie własne

4. Następnie wyświetlane są kolejno okna prezentujące obliczenia związane z wyznaczaniem klasy przekroju środnika dwuteownika (rys. 5), pasa dwuteownika (rys. 6) i ostatecznie całego dwuteownika (rys. 7). W oknach pokazane są wzory wykorzystane do obliczeń oraz odnośniki do normy, na podstawie której wykonano obliczenia i klasyfikacje. Między oknami można przechodzić za pomocą przycisków **DALEJ** i **WSTECZ**.

WYZNACZANIE KLASY PRZEKROJU
 DWUTEOWNIK GORĄCOWALCOWANY

WYZNACZANIE KLASY PRZEKROJU ŚRODNIKA DWUTEOWNIKA

Podane wymiary dwuteownika:
 $h = 250$ [mm]
 $b_f = 260$ [mm]
 $t_f = 12.5$ [mm]
 $t_w = 7.5$ [mm]
 $r = 24$ [mm]

Podana granica plastyczności stali:
 $f_y = 355$ [N/mm²]

Obliczenia dla środnika poddanego zginaniu:
 (wg. tab.5.2 PN-EN 1993-1-1)

Szerokości ścianki wewnętrznej $c = h - 2t_f - 2r = 177$ [mm]
 Smukłości ścianki wewnętrznej $c/t_w = 23.6$
 Współczynnik $\epsilon = \sqrt{235/f_y} = 0.81$

Środnik kształownika spełnia warunek klasy 1.



Rys. 5. Okno ukazujące obliczenia oraz przyporządkowanie do odpowiedniej klasy środnika dwuteownika
 Źródło: opracowanie własne

WYZNACZANIE KLASY PRZEKROJU
 DWUTEOWNIK GORĄCOWALCOWANY

WYZNACZANIE KLASY PRZEKROJU PASA DWUTEOWNIKA

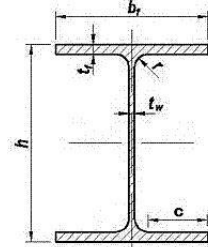
Podane wymiary dwuteownika:
 $h = 250$ [mm]
 $b_f = 260$ [mm]
 $t_f = 12.5$ [mm]
 $t_w = 7.5$ [mm]
 $r = 24$ [mm]

Podana granica plastyczności stali:
 $f_y = 355$ [N/mm²]

Obliczenia dla pasa poddanego ścisnaniu:
 (wg. tab.5.2 PN-EN 1993-1-1)

Szerokości ścianki wspornikowej $c = (b_f - t_w - 2r)/2 = 102.25$ [mm]
 Smukłości ścianki wspornikowej $c/t_f = 8.18$
 Współczynnik $\epsilon = \sqrt{235/f_y} = 0.81$

Pas kształownika spełnia warunek klasy 3.



Rys. 6. Okno ukazujące obliczenia oraz przyporządkowanie do odpowiedniej klasy pasa dwuteownika
 Źródło: opracowanie własne

WYZNACZANIE KLASY PRZEKROJU

DWUTEOWNIK

Przekrój jest klasyfikowany wedle najwyższej (najmniej korzystnej) klasy pasa i środnika. Środnik kształtownika spełnia warunek klasy 1, pas kształtownika spełnia warunek klasy 3.

Cały dwuteownik jest klasy 3.

WSTECZ

Rys. 7. Okno ukazujące przyporządkowanie do odpowiedniej klasy całego dwuteownika
Źródło: opracowanie własne

Formy ekranowe dotyczące wyznaczenie klas przekrojów innych profili stalowych pokazanych na rysunku 2 zostały zaprojektowane analogicznie jak dla dwuteownika gorącowalcowanego z uwzględnieniem odpowiednich procedur zawartych w normie [1].

4. Wnioski

Wykorzystanie przedstawionego w artykule oprogramowania w dydaktyce przedmiotu „Konstrukcje metalowe” niewątpliwie ułatwia zarówno prowadzącemu jak i słuchaczowi proces kształcenia, wpływając co jest istotne, na jego efektywność. Aplikacja usprawnia przebieg obliczeń inżynierskich, dzięki czemu stają się one prostsze i bardziej czytelne dla odbiorcy, a czas ich wykonywania znacznie się skraca. Oprócz tego zapoznaje ona użytkownika z tokiem obliczeń dotyczących danego zagadnienia. Ponadto program może być używany zarówno przez wykładowcę jak i studenta do kontroli poprawności uzyskanych analitycznie obliczeń (kolokwium, egzamin, ćwiczenia projektowe, ćwiczenia laboratoryjne). Przygotowuje również studenta do korzystania z bardziej zaawansowanych programów w późniejszym etapie kształcenia. Co więcej po ukończeniu kursu „Konstrukcje metalowe” studenci mogą tworzyć podobne aplikacje w ramach prac inżynierskich lub dyplomowych.

Bibliografia

- [1] PN-EN 1993-1-1:2006. Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków.
- [2] www.adina.com
- [3] www.ansys.com
- [4] www.autodesk.pl
- [5] www.ath.pl (norma)
- [6] www.budsoft.com.pl
- [7] www.bricscad.info.pl
- [8] www.graitecadvance.pl
- [9] www.mathcad.pl
- [10] www.microsoft.com
- [11] www.microsoft.com/expression/
- [12] www.mssoftware.com
- [13] www.pro-soft
- [14] www.rm-win.pl
- [15] www.robobat.pl
- [16] www.soldis.com.pl
- [17] www.zuzia.com.pl

Spis rysunków

Rys. 1. Przekrój dwuteownika HEA 260 Źródło: opracowanie własne.....	6
Rys. 2. Okno wyboru rodzaju obliczeń Źródło: opracowanie własne	12
Rys. 3. Okno umożliwiające wybór profilu stalowego Źródło: opracowanie własne	13
Rys. 4. Okno umożliwiające wprowadzenie danych do obliczeń Źródło: opracowanie własne.....	13
Rys. 5. Okno ukazujące obliczenia oraz przyporządkowanie do odpowiedniej klasy średnika dwuteownika Źródło: opracowanie własne	14
Rys. 6. Okno ukazujące obliczenia oraz przyporządkowanie do odpowiedniej klasy pasa dwuteownika Źródło: opracowanie własne	14
Rys. 7. Okno ukazujące przyporządkowanie do odpowiedniej klasy całego dwuteownika Źródło: opracowanie własne	15