

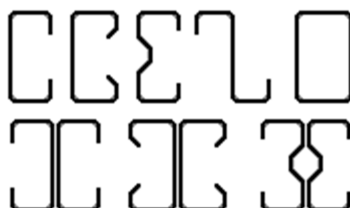
CProf E

(Cienkościenne Profile wg Eurokodów)

Wymiarowanie budowlanych konstrukcji stalowych z kształtowników cienkościennych

wg PN-EN 1993-1-3, PN-EN 1993-1-5 oraz PN-EN 1993-1-1

wersja 2.3.3



KOTEX
Krzysztof Kociatkiewicz
ul. Królowej Marysieńki 26c
02-954 Warszawa
tel. +48 602 664 904
tel. (22) 642 61 39
e-mail: kociatkiewicz@kotex.waw.pl

Rafał Garncarek
ul. Komety 10
Józefostaw
05-500 Piaseczno
tel./fax. (22) 750 93 91
tel. + 48 692 930 949
e-mail: mr.garncarek@neostrada.pl

Warszawa

Spis treści

Część I. OPIS PROGRAMU	3
1. Wstęp.....	3
2. Uwagi dotyczące sprzętu.....	3
3. Szczegóły funkcji i ograniczeń programu	4
4. Dalsza rozbudowa programu.....	5
5. Historia programu	5
Część II: EKSPLOATACJA PROGRAMU.....	6
1. Instalacja programu	6
2. Deinstalacja programu.....	6
3. Próbné uruchomienie.....	6
4. Wprowadzanie danych	6
5. Przebieg obliczeń	12
6. Wyniki.....	17
Część III: UWAGI NA TEMAT METOD OBLICZENIOWYCH I UŻYTYCH W PROGRAMIE INTERPRETACJI Eurokodów.....	19
1. Obliczanie parametrów przekroju brutto.....	19
2. Obliczanie efektywnych szerokości ścianek i grubości usztywnień.....	19
3. Zredukowany wyięg pasa	19
4. Skręćanie i zginanie elementu o profilu otwartym, w płaszczyźnie prostopadłej do środnika	21
5. Wytrzymałość przekroju elementu o przekroju otwartym.....	22
6. Usztywnienie boczne elementu o profilu otwartym.....	23
7. Współczynnik k_c (profile otwarte).....	24
8. Stateczność elementu o profilu otwartym	26
9. Interakcja zginania dwukierunkowego ze ściskaniem	26
10. Interakcja ścinania ze zginaniem i ściskaniem.....	26
11. Nośność poprzeczna środnika przekrojów dwugałęziowych.....	26
12. Bibliografia.....	27
Załącznik 1: Geometria przekroju	28

Część I. OPIS PROGRAMU

1. Wstęp

Program wspomaga projektowanie konstrukcji z elementów cienkościennych wg PN-EN 1993-1-1: czerwiec 2006, PN-EN 1993-1-3: sierpień 2008 oraz PN-EN 1993-1-5: lipiec 2008 wraz z późniejszymi zmianami, tj. wg stanu aktualnego w listopadzie 2014. Jest kontynuacją naszego programu CProf opracowanego w latach 2001...2003 w oparciu o PN-B-03207 i ENV-1993-1-3.



Profile akceptowane przez program przedstawione są na szkicu. Skrajne usztywnienia w profilach Z i sześciogiętych C mogą być odgięte pod dowolnym kątem.

Pomysłodawcą i autorem algorytmu jest dr hab. Rafał J. Garncarek, b. prof. Politechniki Białostockiej.

Autorem programu jest mgr inż. Krzysztof Kociatkiewicz.

Dystrybucją programu zajmuje się firma „KOTEX”.

Tam, gdzie nie jest to istotne, niektóre reprodukcje ekranów w niniejszej broszurze mogą pochodzić ze starszej wersji programu. Reprodukcje ekranów wykonano przy różnych wersjach Windows.

2. Uwagi dotyczące sprzętu

Program wymaga komputera z zainstalowanym systemem operacyjnym Windows: XP\Vista\7\8\8.1 - sam ma niewielkie wymagania, znacznie poniżej wymagań tych systemów. Pożądana wersja PL systemu. Na życzenie możemy wygenerować program działający pod starszą wersją Windows, jednak wtedy czas reakcji programu byłby irytująco długi. Pożyczony, aczkolwiek nie konieczny, jest również program Adobe Reader, wykorzystywany przez CProf E do wyświetlania niniejszej broszury. Na twardym dysku program zajmie po instalacji ok. 10 MB - zależnie m.in. od systemu plików i od tego, które biblioteki są już zainstalowane. Wymagana karta graficzna w trybie SVGA (rozdzielczość 800x600 -16 kolorów), choć dużo wygodniej pracuje się przy rozdzielczości 1024x768 lub wyższej. Standardowo program jest dostarczany na CD.

Wyniki mogą być drukowane na dowolnej drukarce obsługiwanej przez system Windows i dostępnej dla komputera z zainstalowanym programem CProf E. Kolory na wydruku dobrano tak, aby dawały się one dobrze zreprodukować w technice czarno-białej.

Program zabezpieczony jest kluczem sprzętowym typu Rockey instalowanym w porcie USB 2.0 komputera. Jeden klucz może chronić kilka programów. Podłączenie klucza do portu USB-3.0 jest możliwe, ale może wymagać użycia odpowiedniej przejściówki (kabla USB 2/3).

W programie zakodowana jest nazwa Twojej firmy i pojawia się ona w nagłówku każdej strony wydruku.

3. Szczegóły funkcji i ograniczeń programu

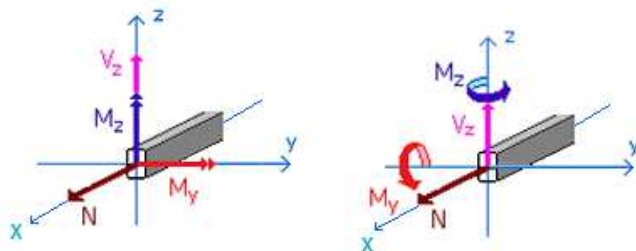
* Program wyposażony jest w system pomocy (Help) wywoływany klawiszem F1. Niektóre informacje w nim zawarte pokrywają się z niniejszą broszurą, jednak jest to w dużej mierze materiał uzupełniający.

* Możliwy jest szeroki wybór gatunku stali wg poniższego wykazu:

St0S
 St3S, St3SX, St3SY, St3SV, St3W
 St4VX, St4Vy, St4V, St4W
 18G2, 18G2A
 18G2AV
 H 320LA, H400LA, H260LAD, H300LAD, H340LAD, H380LAD, H420LAD
 CR 220, CR 250, CR 320
 S220GD, S250GD, S280GD, S320GD, S350GD
 S390GD
 S315MC, S355MC, S420MC, S460MC, S500MC, S550MC
 S260NC, S315NC, S355NC, S420NC z tablicy 3.1 w [2]

* Obciążenie akceptowane przez program to:

- siła osiowa (wartość dodatnia to rozciąganie, ujemna to ściskanie)
- zginanie w płaszczyznach x-z (płaszczyzna środka, zginanie względem mocniejszej osi przekroju)
 i x-y (płaszczyzna równoległa do pasów/półek, zginanie względem słabszej osi przekroju)
- siła tnąca równoległa do osi z (kierunek działania siły nie ma znaczenia).



Program nie przewiduje obciążenia poziomego, czyli siły tnącej równoległej do osi y oraz obciążenia momentem skręcającym skupionym lub rozłożonym. Natomiast uwzględnia moment skręcający wywołany obciążeniem pionowym działającym mimośrodowo względem

środka ścinania przekroju.

* Dla zadanych sił wewnętrznych w kolejnych krokach obliczane są parametry przekroju efektywnego ze względu na nośność przekroju (z uwzględnieniem interakcji ścinania), wyboczenie w płaszczyźnie środka i w płaszczyznach pasów, a w przypadku zginania także na zwichrzenie jako wyboczenie pasa ściskanego w jego płaszczyźnie.

* W jednym przebiegu obliczenia wykonywane są dla max. 6-ciu przypadków obciążenia.

* Elementy mogą być stężone w płaszczyźnie słabszej osi (xy). Można wprowadzić dowolną wartość współczynnika długości wyboczeniowej w obu płaszczyznach.

* Zakłada się, że elementy są podparte poprzez środkik, a górna półka nie jest stężona blachą. Do obliczania profili cienkościennych stężonych blachą polecamy nasz program CPU.

* Wyniki obliczeń mogą być prezentowane w języku polskim lub angielskim.

* W profilach RHS (rury prostokątne, **R**ectangular **H**ollow **S**ections) musi być zachowany warunek $\text{wysokość} \geq \text{szerokość}$. Dalsze uwagi dotyczące profili RHS - patrz p.4 przy omawianiu zakładki **Geometria elementu** - objaśnienie 6.

4. Dalsza rozbudowa programu

Przewidujemy stopniową rozbudowę programu. Planujemy:

1. zdwojenie profili Z (na całej długości elementu lub na podporach)
2. dodanie profilu kapeluszowego
3. uzupełnienie obciążeń o siłę poziomą
4. uruchomienie generacji wyników w języku francuskim i niemieckim
5. uściślenie interakcji zginania ze ścinaniem
6. graficzną prezentację wykorzystania przekroju w poszczególnych schematach obciążeń
7. dodanie mechanizmu określania współczynników wyboczeniowych dla elementów ram.

Zapraszamy do odwiedzenia naszej strony www.kotex.waw.pl, gdzie umieszczamy demo aktualnych wersji naszych programów (**Wersje demo**), informacje o nowościach (**Nowe!**), zamierzeniach (**Nasze plany**) i zwykle bezpłatne uaktualnienia (**Uaktualnienia**).

5. Historia programu

1.0.0.	Grudzień 2012	Program CProf E zastępuje CProf 2004.
1.0.1.	Luty 2013	Zwiększona dokładność określania współczynnika k_c .
1.0.2	Marzec 2012	Możliwość deklaracji dowolnej stali. Rozbudowa Help'a. Poszerzenie dokumentacji użytkownika. Dokładniejsze obliczenia elementów rozciąganych.
1.0.3	Kwiecień 2013	Korekta współczynnika sztywności bocznej pasów B.
2.0.0	Styczeń 2014	Dodany profil "rura prostokątna" (RHS).
2.1.0	Luty 2014	Dodano sprawdzenie profilu RHS w przypadku podparcia poprzez półkę.
2.2.0	Marzec 2014	Dodano sprawdzanie profili Z i C w przypadku podparcia ich poprzez półkę.
2.2.1	Maj 2014	Uściślono obliczenie dla drugiego i dalszych schematów obciążeń.
2.2.2	Listopad 2014	Usunięto błąd w wydruku wartości pomocniczych dla sprawdzenia stateczności profili opartych poprzez półkę.
2.3	Listopad 2014	Dodano trzy profile dwugałęziowe: 2C, 2C+, 2 Sigmy
2.3.1	Styczeń 2015	W porozumieniu z PKN wyeliminowano skutki błędów w PN-EN
2.3.3	Styczeń 2016	Poprawiono wzór k_{σ} ... wg (5.13) z PN-EN

Część II: EKSPLOATACJA PROGRAMU

1. Instalacja programu

Jeżeli płyta CD nie wystartuje automatycznie, należy uruchomić znajdujący się na płycie program instalacyjny CProf_E.INS.exe. W przypadku otrzymania programu przez Internet, otrzymany plik należy rozpakować do dowolnego katalogu roboczego. Warto w tym momencie wykonać kopię zapasową wersji instalacyjnej. Potem należy, analogicznie jak w przypadku płyty CD, uruchomić program CProf_E.INS.exe.

Dalej program „prowadzi za rękę” pytając o katalog, w którym ma być zainstalowany C Prof. Standardowo program instaluje się w katalogu C:\Program Files (x86)\CProfE (w Windows XP w C:\Program Files\CProfE). Można wskazać dowolny katalog na dowolnym dysku. Jeśli takiego katalogu nie ma, program sam go utworzy.

2. Deinstalacja programu

Gdy zachodzi potrzeba deinstalacji programu, np. wskutek awarii komputera, wymiany dysku itp., należy skorzystać z funkcji **Usuń programy w Panelu sterowania**. Po dokonanej deinstalacji można jeszcze usunąć katalog, w którym był zainstalowany CProf E (o ile nie został on usunięty automatycznie). W niektórych przypadkach w katalogu tym mogą zostać pewne, niepotrzebne pliki robocze. Można je, oczywiście, też usunąć.

Deinstalacji można również dokonać uruchamiając ręcznie program o nazwie CProfE_INS_XXXXX.exe tworzony w czasie instalacji (XXXXX oznacza ciąg cyfr tworzony automatycznie).

W przypadku powtórnej instalacji poprzednia instalacja zostanie usunięta.

Powtórna instalacja może być konieczna po próbie zmiany nazwy licencjobiorcy, po nieudanej próbie „spiracenia” programu, po awarii.

3. Próbne uruchomienie

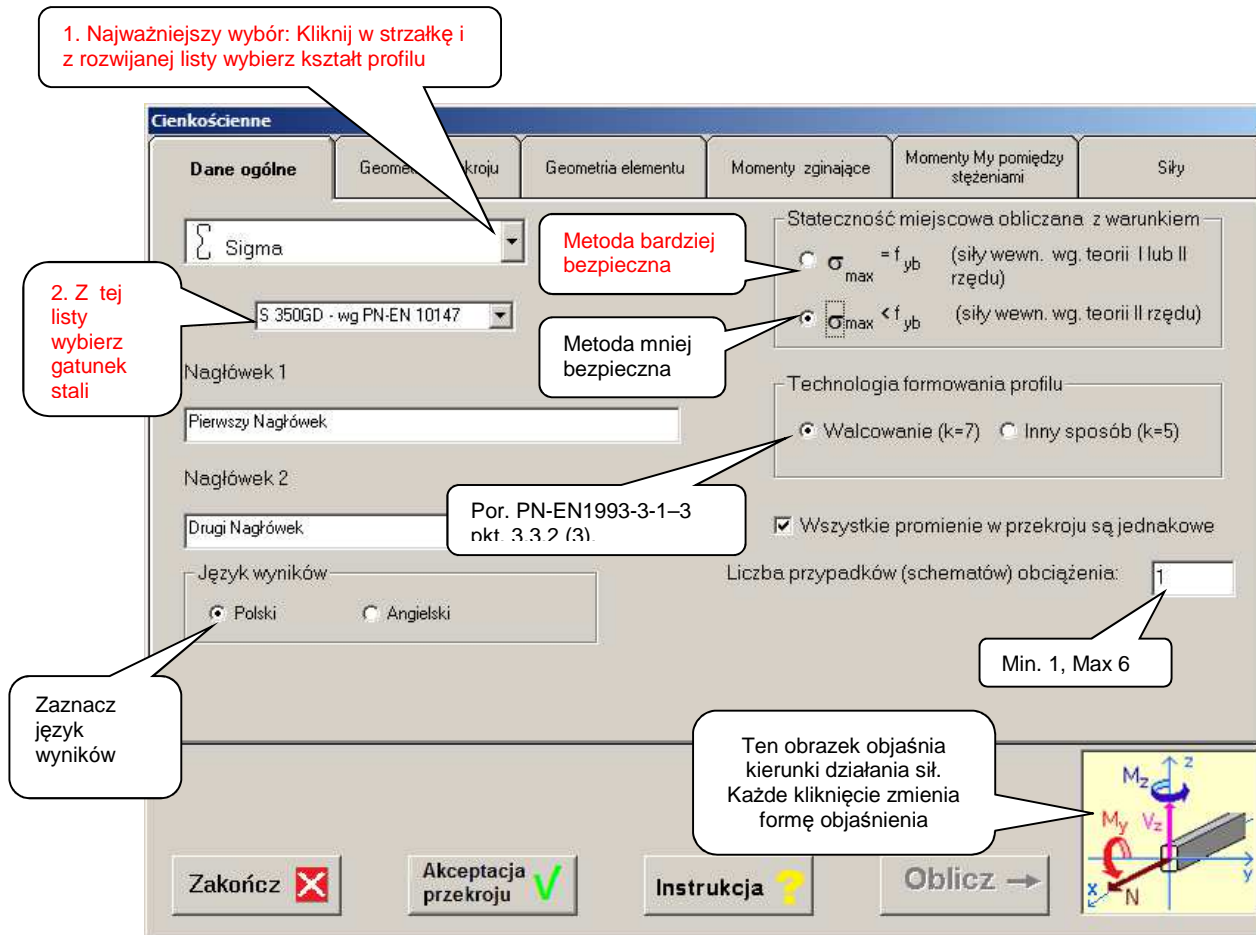
Po instalacji zaleca się próbne uruchomienie programu. Proszę nie wprowadzać żadnych danych, tylko kolejno klikać w przyciski **Akceptacja przekroju**, **Oblicz**, oraz **Dalej...**. Po pojawieniu się wyników proszę wybrać z górnego menu funkcję **Zakończ**.

Pojawienie się informacji, że program pracuje w trybie demo oznacza, że program nie widzi klucza ochronnego. Najczęstsza przyczyna to, pomijając niedokładne włożenie klucza, niedostateczna moc prądu w porcie USB. Zwykle pomaga zmiana portu lub odłączenie innych urządzeń USB.

4. Wprowadzanie danych

Program jest bardzo prosty w obsłudze. Wystarczy wypełnić wszystkie pola na kolejnych zakładkach. Jednak na wszelki wypadek na kolejnych rysunkach objaśnione zostaną poszczególne elementy zakładek. Zaleca się wypełnianie wszystkich zakładek kolejno, od lewej do prawej. W każdej chwili można oczywiście wrócić do zakładki wcześniej wypełnionej.

Pierwszy krok przedstawiony i opisany jest na rys. 4.1.



Rys. 4.1 Początek wprowadzania danych – zakładka **Dane ogólne**

Komentarze:

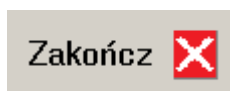
1. Jeżeli nie zachodzi utrata stateczności globalnej (wyboczenie lub zwichrzenie) to obliczenia mogą być prowadzone jak dla teorii II rzędu – więcej na ten temat w p.5.5. PN-EN 1993-1-3.

2. Ostatnia pozycja na liście gatunków stali: **Inna stal**, pozwala na zadeklarowanie parametrów stali, której nie ma na liście - p.5.

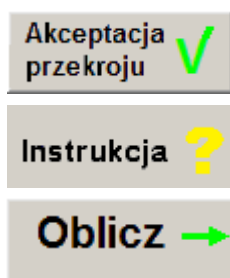
Pozostałe pola nie opisane na rys. 4.1. dotyczą redakcji wyników i nie powinny budzić wątpliwości.

Należy zwrócić uwagę, że program pamięta ostatnio wprowadzone dane i wstawia je w stosowne pola przy kolejnym przebiegu.

U dołu okna widoczne są 4 przyciski:



Zapisuje ostatnio wprowadzone dane i kończy pracę programu.



Sprawdza geometrię przekroju poprzecznego i prawidłowość części pozostałych danych. Powoduje obliczenie podstawowych parametrów geometrycznych przekroju.

Powoduje wyświetlenie niniejszego dokumentu (broszura bez przykładów) za pomocą Adobe Acrobat Reader'a (o ile jest zainstalowany).

Na rys. 4.1 przycisk ten pokazany jest w stanie nieaktywnym. Uaktywnienie przycisku następuje dopiero po zaakceptowaniu przekroju.

Po ustawieniu parametrów na zakładce **Dane ogólne** najlepiej przejść na zakładkę **Geometria przekroju**, której wygląd będzie oczywiście zależał od uprzednio (Rys.4.1) wybranego profilu, a także od deklaracji, czy wszystkie promienie w przekroju są jednakowe, czy nie. Dla oszczędności miejsca dalsze zakładki będą ilustrowane tylko widokiem ich istotnych części. Przykładowy wygląd głównej części tej zakładki przedstawiony jest na rys. 4.2.

Rys. 4.2. Zakładka **Geometria przekroju** (fragment)

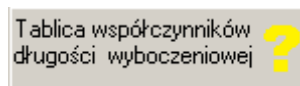
Następna zakładka, **Geometria elementu** (Rys. 4.3), służy do zdefiniowania wymiarów elementu i warunków jego podparcia:

Rys. 4.3. Zakładka **Geometria elementu** (fragment)

Objaśnienia do zakładki **Geometria elementu**:



1. W ramce "Zamocowanie elementu" można wybrać opcję zamocowania przez półkę lub środek. Dla elementów wszystkich elementów podpartych przez półkę oprócz profili Sigma dostępna jest opcja sprawdzenia nośności przekroju nad podporą.



2. Przycisk wywołujący tablicę z najczęściej stosowanymi wartościami współczynnika długości wyboczeniowej μ .

3. Wobec braku stężeń współczynnik μ_z dotyczy całego elementu, w przypadku zaznaczenia opcji „Są stężenia...” dotyczyłby odcinka między stężeniami.

4. Dla profili otwartych w dolnej części okna należy zadeklarować mnożniki (β) do określenia momentów zginających pasy w ich płaszczyźnie. Mnożniki będą wykorzystane we wzorze na składową momentu:

$$M''_{fz} = \frac{f \cdot q_z \cdot l^2 \cdot |\beta|}{h} \quad (1) \quad \text{lub} \quad M''_{fz} = \frac{Q_z \cdot l \cdot |\beta|}{h} \quad (2)$$

Wzór (1) dotyczy obciążenia ciągłego, zaś wzór (2) obciążenia skupionego. Oczywiście chodzi o dominujący charakter obciążenia elementu (por. opis następnej zakładki i rys. 4.4).

Współczynnik β można w programie wywołać automatycznie wybierając z widocznej u dołu zakładki rozwijalnej listy schemat podparcia bocznego pasa. W przykładzie pokazanym na rysunku (element bez stężeń bocznych) z listy wybrany został schemat belki jednoprzęsłowej swobodnie podpartej, co oznacza, że półka elementu będzie liczona jako podparta przegubowo na końcu.

5. W przypadku zaznaczenia opcji „Są stężenia...” część okna (ramka „W płaszczyźnie xy”) zmienia nieco swój wygląd – por rys. 4.3a.

6. W przypadku profili RHS w ramce "W płaszczyźnie xy" aktywne jest tylko pole do wprowadzania wartości μ_z (por. rys. 4.3.b. Z uwagi na charakter pracy tych profili w programie nie przewidziano wprowadzania liczby i rozstawu stężeń. Efekt ewentualnych stężeń należy uwzględniać redukując odpowiednio wartość μ_z .

W płaszczyźnie xy

☒ Są stężenia przeciw zwichrzeniu (w płaszczyźnie słabszej osi)

$\mu_z =$ (dotyczy odcinka między stężeniami)

Rozstaw stężeń przeciw zwichrzeniu (w płaszczyźnie xy, tj. płaszczyźnie słabszej osi przekroju) mm

Wartości współczynników do obliczenia momentu M''_{fz} od obciążenia pasów (można skorzystać z automatu wybierając z listy schemat podparcia półek)

Schemat podparcia półek profilu:

dla obc. ciągłego dla obc. skupionego

Rys. 4.3.a Fragment zakładki „Dane elementu” dla przypadku elementu ze stężeniami bocznymi

W płaszczyźnie xy ☐ Są stężenia przeciw zwichrzeniu (w płaszczyźnie słabszej osi)

$\mu_z =$ dotyczy elementu

Rozstaw stężeń przeciw zwichrzeniu (w płaszczyźnie xy, tj. płaszczyźnie słabszej osi przekroju) mm

Wartości współczynników do obliczenia momentu M_{fz} od obciążenia pasów (można skorzystać z automatu wybierając z listy schemat podparcia póltek)

Schemat podparcia póltek profilu: dla obc. ciągłego dla obc. skupionego

Rys. 4.3.b Fragment zakładki „Dane elementu” dla profili RHS

Kolejna zakładka to **Momenty zginające**. Na rys. 4.4 przedstawiono jej wygląd w przypadku zadeklarowania uprzednio (zakładka **Dane ogólne**) trzech schematów (przypadków) obciążeń. Dla każdego schematu należy wykonać cztery czynności:

- określić przebieg momentów zginających M_y wzdłuż długości elementu (polega to na wybraniu z kolejnych rozwijalnych list odpowiedniego symbolu A, B lub C)
- podać odpowiednie wartości momentów zginających względem mocniejszej osi, czyli w płaszczyźnie środka: M_{y1} , M_{y2} i ewentualnie M_{ys}
- zaznaczyć dominujący charakter obciążenia: ciągły lub skupiony
- podać maksymalny moment zginający względem słabszej osi $M_{z,max}$, w przypadku elementu bez stężeń bocznych będzie to maksymalny moment występujący na długości elementu; w przypadku elementu stężonego będzie to maksymalny moment na długości analizowanego odcinka między stężeniami.

1. Dla każdego przypadku obciążenia wybierz z listy kod najlepiej odwzorowujący przebieg momentów zginających M_y

2. Wpisz adekwatne wartości

3. Wskaż charakter obciążenia.

4. Wpisz wartość maksymalnego momentu zginającego M_z

Dla każdego z wyświetlonych schematów obciążenia wybierz z rozwijanej listy oznaczenie szkicu odwzorowującego przebieg momentów zginających M_y na długości elementu.

	$M_{y,1}$ [kNm]	$M_{y,2}$ [kNm]	$M_{y,s}$ [kNm]	Obciążenie C I A G Ł E S K U P I O N E	$M_{z,max}$ [kNm] dla elementu
1. schemat obc. <input type="text" value="A"/>	-3.1	-3		<input type="radio"/>	0.9
2. schemat obc. <input type="text" value="B"/>	0.0	18.9	-10.6	<input type="radio"/>	0.0
3. schemat obc. <input type="text" value="C"/>	2.0	2.0	2.5	<input type="radio"/>	1.0

Liczba wyświetlonych wierszy odpowiada liczbie zadeklarowanych przypadków (schematów)

Rys. 4.4. Zakładka **Momenty zginające** (fragment)

Dla profili RHS kolumna momentów M_z jest niewidoczna - por. p. 5 i rys.5.6.

Dla liniowego wykresu momentów (typ A) program zaznacza automatycznie brak obciążenia, natomiast dla pozostałych przypadków (wykres nieliniowy) program konsekwentnie nie akceptuje braku obciążenia.

Kolejna zakładka to **Momenty My pomiędzy stężeniami**. – Rys. 4.5. W większości przypadków jej zawartość jest nieaktywna. Konieczność użycia zakładki zachodzi jedynie w przypadku elementów ze stężeniami bocznymi, gdy do elementu nie jest przyłożone obciążenie, czyli gdy w danym schemacie obciążenia zadeklarowany został liniowy wykres momentów M_y (typ A).

Dla każdego z wyświetlonych schematów obciążenia podaj momenty zginające wzgl. mocnej osi (M_y) na końcach odcinka pomiędzy stężeniami.

Program nie zaakceptuje wartości momentów M_A i M_B przekraczających wartości zadeklarowane na zakładce **Momenty zginające M_y**

	M [kNm] A	M [kNm] B
1. schemat obc.	-2.0	-2.0
2. schemat obc.	-1.0	0.0

Wyświetlony rozstaw usztywnień odpowiada wartości zadeklarowanej na zakładce **Geometria elementu**

Rys. 4.5. Zakładka **Momenty M_y pomiędzy stężeniami** (fragment)

Komentarz do zakładki Momenty M_y pomiędzy stężeniami:

Projektant musi zdecydować, który odcinek elementu należy uznać za krytyczny. W razie wątpliwości najlepiej wykonać obliczenia dla różnych odcinków elementu.

Zasada zgodności kolorów z objaśnieniem kierunków działania sił i momentów zachowana jest także na ostatniej zakładce **Siły**, która po pokonaniu poprzednich zakładek nie może budzić żadnych wątpliwości, więc też nie jest tu reprodukowana. Należy na niej tylko dla każdego schematu obciążeń wprowadzić siłę **podłużną** (siła dodatnia to rozciąganie) i **poprzeczną** (kierunek działania nie ma znaczenia – podajemy wartość absolutną).

Sprawą budzącą wątpliwości użytkownika może być sposób uwzględniania obciążenia działającego na element w płaszczyźnie **xy** oraz momentu skręcającego wokół osi **x**.

Ponieważ temat ten nie jest uregulowany przez PN-EN, rozważamy zaproponowanie opcji opartej na warunkach:

$$V_{y1} < 0.5 \cdot A_{vy1} \cdot 0.7 \cdot f_{yb}$$

$$V_{y2} < 0.5 \cdot A_{vy2} \cdot 0.7 \cdot f_{yb}$$

gdzie V_{y1} , V_{y2} - max. siły poprzeczne równoległe do osi y w pasie górnym i dolnym

A_{vy1} , A_{vy2} - ścinana powierzchnia pasa górnego i dolnego.

Uwzględnianie momentów skręcających zostało szczegółowo omówione w Przykładzie 3.

Po wprowadzeniu wszystkich danych należy kliknąć w przycisk **Akceptacja przekroju**.

5. Przebieg obliczeń

Po uruchomieniu przycisku **Akceptacja przekroju** jeśli na pierwszej zakładce (por. rys.4.1) z listy stali została wybrana umieszczona na ostatniej pozycji **inna stal**, zostanie wyświetlone okno jak na rys. 5.1, w przeciwnym przypadku program przechodzi bezpośrednio do weryfikacji danych geometrycznych i wyświetlenia okna **Właściwości przekroju** (por. rys. 5.2.).

Stal użytkownika

Nazwa materiału:

$f_{yb} =$ $f_u =$ N/mm^2

Uruchomienie tego przycisku spowoduje, że przy następnym użyciu "innej stali" w oknie tym ukażą się parametry ostatnio zdefiniowanej stali użytkownika

Rys. 5.1 Okno do definicji parametrów stali nie objętej katalogiem programu

Właściwości przekroju

Pole przekroju $A = 8.16 \text{ cm}^2$

Moment bezwładności $I_y = 671.987$ $I_z = 28.206 \text{ cm}^4$

Moment biegunowy $I_{yz} = 0.000 \text{ cm}^4$

Wycinkowy moment bezwładności $I_w = 4\,280.96 \text{ cm}^6$

Moment bezwładności na skręcanie swobodne $IT = 0.109 \text{ cm}^4$

Środek ścinania $y_o = -24.27 \text{ mm}$ $z_o = 0.00 \text{ mm}$

Współrzędne skrajnych włókien:

$y_{min} = -16.7 \text{ mm}$ $z_{min} = -125.0 \text{ mm}$

$y_{max} = 43.3 \text{ mm}$ $z_{max} = 125.0 \text{ mm}$

Promienie bezwładności: $i_y = 90.74 \text{ mm}$ $i_z = 18.59 \text{ mm}$

Średnia granica plastyczności $f_{ya} = 366.1 \text{ N/mm}^2$

Rys.5.2. Okno **Właściwości przekroju**

Profil wyświetlony w tym oknie jest rysunkiem w skali, chociaż grubość blachy jest zwykle nieco zawyżona z uwagi na rozdzielczość ekranu. Rysunek służy przede wszystkim do oceny poprawności wprowadzonych wymiarów przekroju. Dla zwiększenia czytelności rysunku w jego lewym dolnym rogu wyświetlony jest wskaźnik skali, zwykle odcinek o długości 100 mm. Punkt oznaczony jako **SSP** to środek ścinania przekroju. Wyświetlone parametry przekroju to oczywiście parametry przekroju brutto. Wyświetlone wartości będą później umieszczone w wynikach. Po zapoznaniu się z treścią tego okna

należy kliknąć na przycisk **Dalej..**, co przeniesie nas z powrotem do podstawowego okna wprowadzania danych, na ostatnio otwartą zakładkę, ale przycisk **Oblicz** tym razem będzie już aktywny. Kliknięcie weń uruchomi proces dalszego sprawdzania danych, w szczególności podanych wartości momentów zginających.

Uwaga: Po powrocie do podstawowego okna wprowadzania danych można zmodyfikować dowolne dane na dowolnej zakładce. Dla zachowania spójności danych najlepiej przejść przez wszystkie zakładki okna. Modyfikacja danych dezaktywuje przycisk **Oblicz** i trzeba ponownie skorzystać z przycisku **Akceptacja przekroju** i przejść przez okno **Właściwości przekroju**.

Jeżeli podane wartości momentów zginających nie są poprawne, program zatrzymuje się wyświetlając odpowiednią informację. Należy wówczas wrócić do odpowiedniej zakładki i po poprawieniu danych ponownie uruchomić **Akceptację przekroju** i **Oblicz**.

Dalsze przetwarzanie uzależnione jest od danych dotychczas wprowadzonych.

Dla profili otwartych po sprawdzeniu informacji o momentach zginających zostanie wyświetlone okno **Obciążenie miarodajne (zastępcze)** – por. rys. 5.3.

Obciążenie miarodajne (zastępcze)

miarodajne obciążenie e - mimośród obciążenia
względem osi środka [mm]

1. schemat obc.	0.00		
2. schemat obc.	Qz	-3.00 kN	20.0
3. schemat obc.	qz	-1.50 kN/m	20.0

Dla obc. przyłożonego na lewo od środka $e < 0$

Dalej... ➔

Rys. 5.3. Okno **Obciążenie miarodajne (zastępcze)**

Przykładowy wygląd okna odpowiada sytuacji wynikającej z danych jak na rys. 4.4:

1. Trzy wiersze odpowiadają trzem schematom obciążeń.
2. Ponieważ w pierwszym schemacie zadeklarowany został wykres momentów typu A, zatem na element nie działa żadne obciążenie, stąd w górnym lewym polu (dla 1 schematu obciążeń) należy wstawić zero. Nie ma też pytania o mimośród. Wartości liczbowe w pozostałych polach odpowiadają wartościom z ostatniego przebiegu programu.
3. Ponieważ w drugim schemacie zadeklarowane zostało obciążenie skupione, program pyta o wielkość obciążenia Q_z [kN].
4. Ponieważ w trzecim schemacie zadeklarowane zostało obciążenie ciągłe, program pyta o wielkość obciążenia q_z [kN/m].

Dla profili otwartych w następnym kroku program określa wielkości potrzebne do analizy zwichrzenia. W sytuacjach niejasnych dla programu, tj. gdy zadeklarowany wykres momentów M_y (wg Tablicy B.3 z [1]) nie pokrywa się jednoznacznie z wykresami momentów w Tablicy 6.6 z [1], wyświetlane jest stosowne okno dialogowe. Jego wygląd zależy od faktu, czy element jest stężony czy nie i od charakteru obciążenia elementu. Dwa przykłady tego okna przedstawione są na rys. 5.4 i 5.5.

W każdym przypadku użytkownik ma do dyspozycji trzy opcje (w górnej części okna):

- podać moment krytyczny przy zwichrzeniu
- podać współczynnik poprawkowy k_c
- skorzystać z opcji w ramce w dolnej części okna.

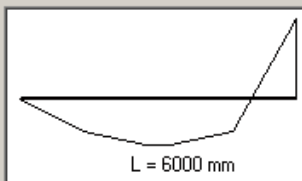
Pręt nie stężony

Zwichrzenie

☐ Podam moment krytyczny przy zwichrzeniu M_{cr} 0.0 kNm
☒ Podam współczynnik poprawkowy k_c 1.0 **O współczynniku k_c ?**
☐ Korzystam z Tablicy 6.6 (wskaż wykres)

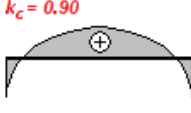
Tablica 6.6

Dla tego przypadku obciążenia program przyjął wykres momentów jak na szkicu obok

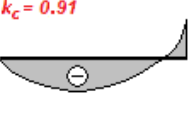


Pomóż programowi dobrać odpowiedni współczynnik k_c . Należy zastępczo przyjąć jeden z poniższych wykresów (wskaż myszką):


$k_c = 0.90$



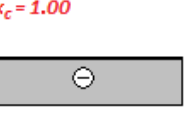
$k_c = 0.91$





$k_c = 0.94$



$k_c = 1.00$



Wróć 
 Dalej... 

Rys. 5.4. Okno do określenia wartości pomocniczych (pręt nie stężony)



Pręt stężony

Zwichrzenie

☐ Podam moment krytyczny przy zwichrzeniu M_{cr} 0.0 kNm
☒ Podam współczynnik poprawkowy k_c 1.0 **O współczynniku k_c ?**
☐ Korzystam z opcji

Opcje

☒ Jest jedno stężenie $k_c=0.800$
☐ Jest więcej stężeń $k_c=0.902$

Wróć 
 Dalej... 

Ten przycisk wyświetla krótkie objaśnienie dotyczące współczynnika

Rys. 5.5. Okno do określenia wartości pomocniczych (pręt stężony)

W przypadku okna jak na rys. 5.4. trzecia z opcji sprowadza się do wskazania jednego z czterech wykresów momentów (i odpowiadającej mu wartości współczynnika k_c), najbardziej odpowiadającego rozpatrywanemu przypadkowi. W przypadku okna jak na rys. 5.5 odpowiedzi są dwie.

Okna jak na rys. 5.4 i 5.5 mogą pojawić się nawet tyle razy, ile schematów obciążeń zostało zadeklarowanych.

Dla profili RHS, ze względu na bardzo dużą sztywność na skręcanie, zwykle nie ma zagrożenia zwichrzeniem. Ze względu na ekstremalne sytuacje obliczeniowe zwichrzenie jest obliczane dla stałego momentu M_y , na długości wyboczeniowej przyjętej dla osi z.

W przypadku analizowania profilu RHS pojawia się okno przedstawione na rys.5.6, dotyczące zginania elementu w płaszczyźnie xz.

Dla każdego z wyświetlonych schematów obciążenia wybierz z rozwijanej listy oznaczenie szkicu odwzorowującego przebieg momentów zginających M_z na długości elementu.

		$M_{z,1}$ [kNm]	$M_{z,2}$ [kNm]	$M_{z,3}$ [kNm]	Obciążenie
1. schemat obc.	C	4.0	-3.0	-5.0	<input type="radio"/> BRAK <input type="radio"/> CIĄGŁE <input type="radio"/> SKUPIONE
2. schemat obc.	C	4.0	-3.0	-5.0	<input type="radio"/> BRAK <input type="radio"/> CIĄGŁE <input type="radio"/> SKUPIONE

Wróć Dalej...

Rys. 5.6. Okno Momenty M_z (dla profili RHS)

Okno to jest analogiczne do zakładki **Momenty zginające** (przedstawionej na rys. 4.4) i nie wymaga ponownego omówienia.

W przypadku profilu opartego poprzez półkę z zaznaczoną opcją "**Sprawdź nośność na podporze**" pojawi się okno jak na rys. 5.7.

Symbol podpory: 1A

$h_w = 217.0 \text{ mm}$

Odległość końca elementu od skraju podpory $c = 100.0 \text{ mm}$

Szerokość podpory $s_s = 90.0 \text{ mm}$

Moment zginający na podporze $M_{y,Ed} = 0.50 \text{ kNm}$

Siła skupiona (reakcja) $F_{Ed} = 4.50 \text{ kN}$

Wysokość środknika w osi pasów (h_w)
Wyświetlona jako informacja, bo $c > 1.5 h_w$ to wartość graniczna (por. p. 6.17 w [2])

Wróć Pomiń Dalej...

Rys. 5.7. Okno do zadeklarowania danych niezbędnych do analizy nośności w strefie podpory (wariant dla profilu otwartego).

Dla profilu RHS okno różni się nieco swoją zawartością (trzeba np. zdecydować, czy sprawdzana jest nośność nad podporą skrajną czy pośrednią).

Okno jak na rys. 5.7, lub podobne, pojawia się w trakcie obliczeń dwukrotnie dla każdego schematu (zestawu) obciążeń. Przycisk **Pomiń** umożliwia ograniczenie liczby sprawdzanych przypadków.

W przypadku sprawdzania elementów o przekroju: 2 Ceowniki lub 2 Sigmy wobec potwierdzonych błędów w PN-EN 1993-1-3 program odchodzi częściowo od wzorów normowych. Omówienie problemu znajduje się w p.11 Części III niniejszej broszury.

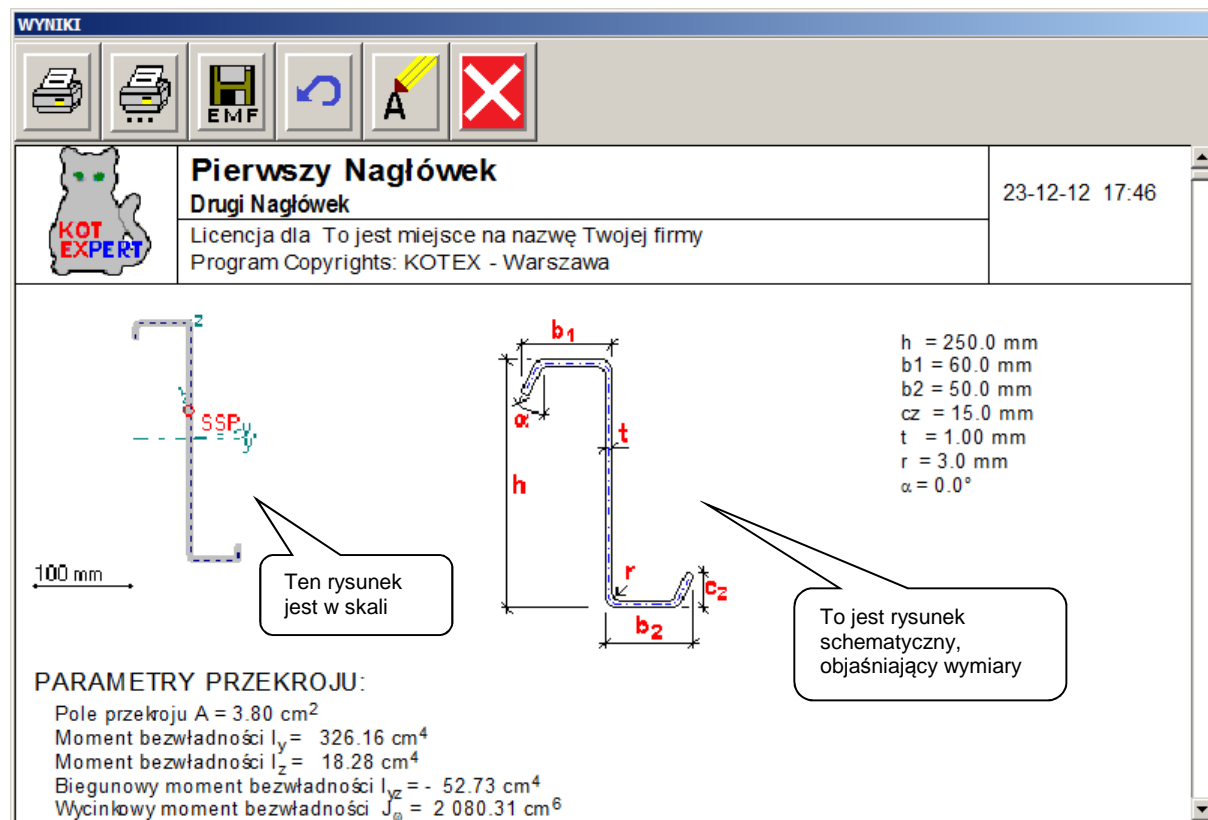
Ostatnie kliknięcie w przycisk Dalej... lub Pomiń uruchamia ostatnią porcję obliczeń i program wyświetla okno wyników.

W trakcie realizacji obliczeń program dokonuje różnorodnego sprawdzania danych, co skutkuje wyświetleniem odpowiednich komunikatów.

Pierwsza grupa takich komunikatów dotyczy wymiarów przekroju. W każdym przypadku zaleca się zweryfikowanie i korektę wprowadzonych wymiarów. W razie wątpliwości proszę sprawdzić proporcje wymiarów wg [2].

Druga grupa dotyczy poprawności zadeklarowanych momentów zginających. W przypadku komunikatu "To nie jest wykres typu ..." należy sprawdzić wprowadzone wartości, ich znaki i w razie wątpliwości porównać z Tablicą B.3 z [1]. Poza tym w przypadku pręta stężonego program weryfikuje, czy momenty zginające M_y na końcach stężonego odcinka nie przekraczają zakresu wartości ekstremalnych momentów zadeklarowanych na pręcie.

6. Wyniki



Rys. 6.1. Okno wyników – część I

Dostępne polecenia zgromadzone są w postaci ikon na pasku u góry okna:



Wydruk wyników na drukarce domyślnej.



Wydruk wyników z możliwością wyboru drukarki.



Zapis wyników na dysku w graficznym formacie EMF (Enhanced Meta File) - użytkownik zostanie zapytany o nazwę i lokalizację pliku.



Odpowiednik przycisku „Wróć”. Powrót do okna głównego wprowadzania danych.



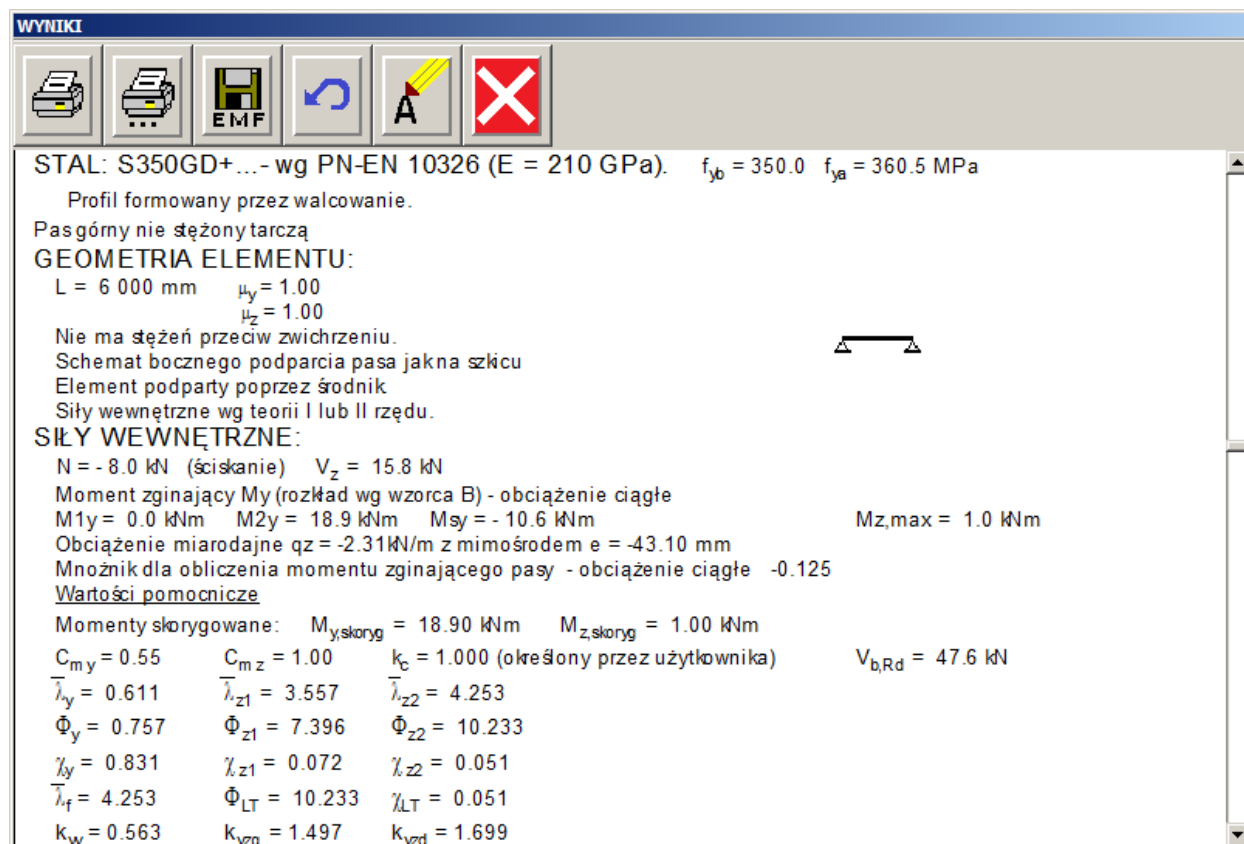
Wywołanie okna (por. komentarz 3, poniżej) do edycji dwóch wierszy nagłówka, zdefiniowanych na początku.



Zakończenie pracy programu. Wprowadzone dane zostaną zapisane na dysku i pojawią się przy ponownym uruchomieniu programu.

Pierwsza część okna wyników zawiera repetycję wprowadzonych danych oraz powtórzenie charakterystyki przekroju z omawianego wcześniej okna **Właściwości przekroju**. Repetycja danych kończy się powtórzeniem wprowadzonych sił dla każdego schematu obciążeń, uzupełnionym o wartości pomocnicze (wyniki pośrednie) – Rys. 6.2. Wartości pomocnicze opatrzone są symbolami

zgodnymi z [1] i [2]. Objaśnienie symboli można również uzyskać z systemu pomocy (F1 | Wyniki | Oznaczenia symboli).



Rys. 6.2. Wyniki cz. II repetycji danych

Dalej dla każdego schematu obciążeń wyświetlane jest wykorzystanie nośności przekroju i wykorzystanie nośności elementu.

Komentarze:

1. Zawartość wydruku w pełni odpowiada zawartości okna **WYNIKI**. Przy czym wyniki dzielone są automatycznie na formatki A4.
2. Funkcję druku na dowolną drukarkę można wykorzystać do sporządzania dokumentów w formacie *.PDF. W komputerze musi być w tym celu zainstalowany (zwykle darmowy) program typu PDFCreator, novaPDF, doPDF lub podobny.
3. Za pomocą ikony z żółtym ołówkiem można wywołać okno przedstawione na rysunku obok i zmodyfikować treść nagłówków.



Część III: UWAGI NA TEMAT METOD OBLICZENIOWYCH I UŻYTYCH W PROGRAMIE INTERPRETACJI Eurokodów

1. Obliczanie parametrów przekroju brutto

Parametry przekroju brutto, w tym także moment wycinkowy przekroju poprzecznego, są obliczane z uwzględnieniem zaokrągleń naroży. Zaokrąglenie jest modelowane z pomocą takiej liczby odcinków prostych, aby dokładność wyników wynosiła od 1 do 2%.

2. Obliczanie efektywnych szerokości ścianek i grubości usztywnień

Szerokości efektywne ścianek są obliczane wg rozdz. 4.4 w [3]. Wg pozycji [2] bibliografii grubość efektywna usztywnień jest wstępnie obliczana dla naprężeń równych wytrzymałości blachy przed formowaniem profilu, bez względu na wartość średnich naprężeń w usztywnieniu $\sigma_{com,Ed}$ (obliczanych w jego środku ciężkości). Jest to wartość ostateczna dla ściskania osiowego w przypadku stosowania teorii I rzędu, gdy zakłada się:

$$\sigma_{com,Ed} = f_{db} = f_{yb} / \gamma_{M0} \quad (1)$$

W przypadku stosowania teorii II rzędu lub przy zginaniu może być:

$$\sigma_{com,Ed} < f_{db} = f_{yb} / \gamma_{M0} \quad (2)$$

Wtedy wg [2] jest:

$$A_{s,red} = A_{s,e} \left(\frac{f_{yb} / \gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}} \right) = \chi_d A_s \left(\frac{f_{yb} / \gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}} \right) \leq A_s \quad (3)$$

gdzie A_s jest polem przekroju brutto usztywnienia, χ_d jest współczynnikiem wyboczenia usztywnienia traktowanego jak pręt na podłożu sprężystym. Przekłada się to na zależność zredukowanej grubości ścianek usztywnienia:

$$t_{red} = t A_{s,red} / A_s \quad (4)$$

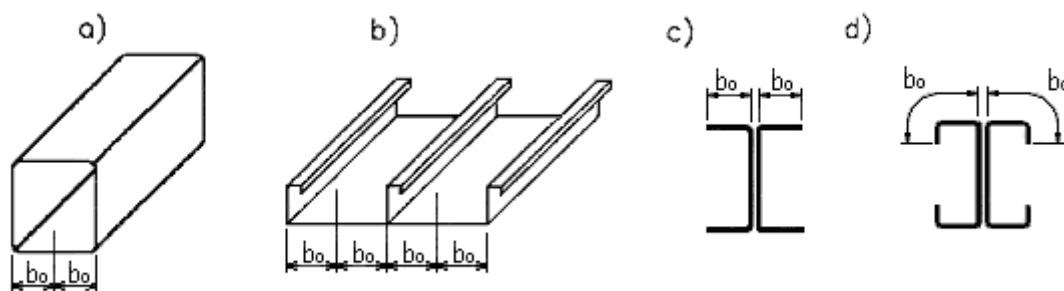
od naprężeń w środku ciężkości usztywnienia.

3. Zredukowany wysięg pasa

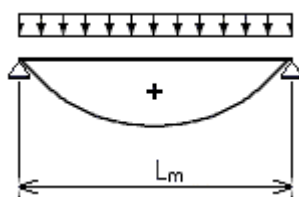
Redukcję wysięgu pasa zrealizowano w programie wg rozdziału 3.2 tablica 3.1 z [3].

Dla kształtowników profilowanych na zimno przyjęto występujący w tej tablicy współczynnik $\alpha_0=1$, zaś

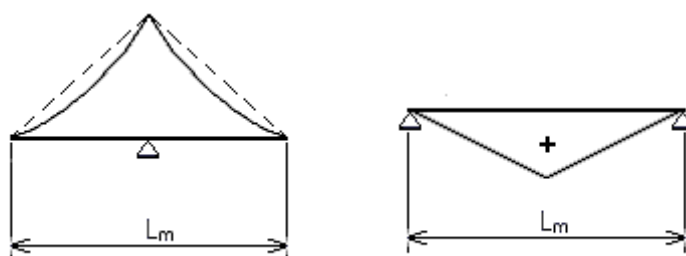
$$L_e = L_m.$$



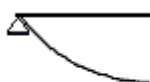
Rys. III.1. Nominalny wysięg pasa



Rys. III.2. Moment w belce swobodnie podpartej



Rys. III.3. Moment w belce ciągłej na podporze lub swobodnie podpartej, obciążonej siłą skupioną



Rys. III.4. Moment przy skrajnej podporze belki ciągłej

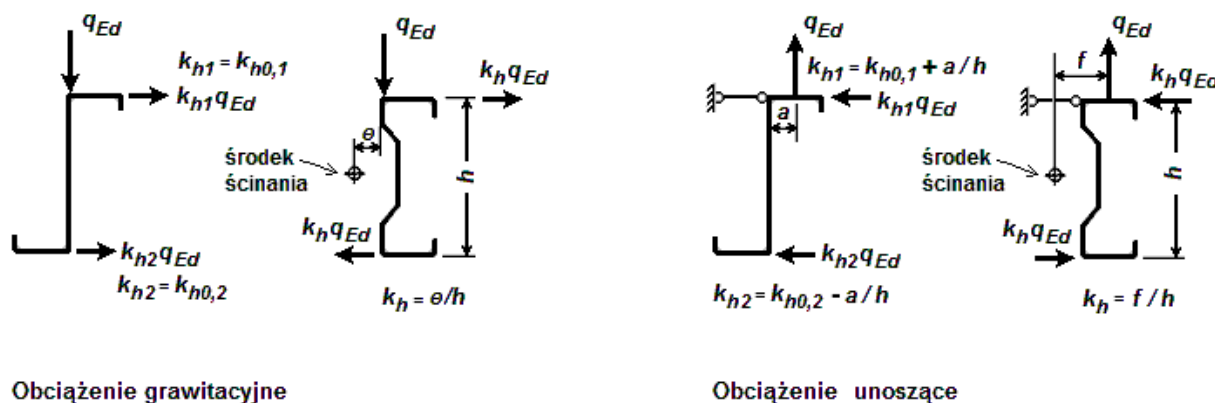


Rys. III.5. Przęsło wspornika

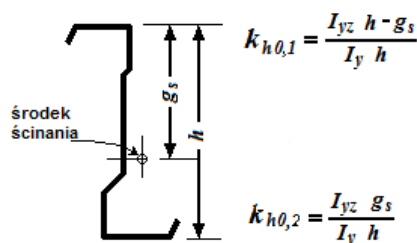
W większości przypadków zastosowań kształtowników znajdujących się w katalogach producentów powinny być spełnione warunki braku redukcji wysięgu pasa.

4. Skręcanie i zginanie elementu o profilu otwartym, w płaszczyźnie prostopadłej do środka

Pojedyncze kształtowniki tego typu przy obciążeniach grawitacyjnych w płaszczyźnie środka ulegają skręcaniu (profile sigma i ceowniki) lub zginaniu w płaszczyźnie prostopadłej do środka jak zetowniki (Rys. III.6). Przy obciążeniach skierowanych przeciwnie ze względu na sposób mocowania elementów wprowadzających obciążenie (unoszących) występuje wzrost momentów skręcających.



Rys. III.6



Kształtowniki typu Z

Rys.III.7

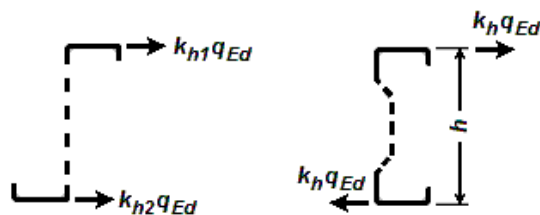
W prętach otwartych o stałej grubości t mamy następujące parametry skręcania swobodnego, gdy występuje stan czystego ścinania [2]:

$$J_s = s * t^3 / 3 \text{ moment bezwładności,}$$

$$W_s = s * t^2 / 3 \text{ wskaźnik wytrzymałości,}$$

gdzie s – rozwinięcie profilu.

W przypadku kształtowników giętych na zimno wartości obu tych parametrów są bardzo małe i pomijalne wobec sztywności na skręcanie nieswobodne. Skręcanie nieswobodne i zginanie w płaszczyźnie prostopadłej do środka wg [2] realizuje się w sposób uproszczony przez zginanie pasów w ich płaszczyznach wg rys.III.8.



Rys. III.8

Wstawianie jako jedynego parametru sztywności na skręcanie J_s do programu statycznego, z pominięciem momentu wycinkowego i tym samym sztywności na skręcanie nieswobodne powoduje, nawet w przypadku konstrukcji z kształtowników walcowanych i spawanych, błędy obliczeń zaniżające momenty skręcające. Znaczną dokładność obliczeń umożliwiłoby zastąpienie kształtownika profilowanego na zimno przez trzy pręty:

- pręt przenoszący zginanie w płaszczyźnie środka,
- dwa pręty oddalone o wysokość h , przenoszące zginanie w płaszczyźnie pasów.

5. Wytrzymałość przekroju elementu o przekroju otwartym

Wytrzymałość przekroju rozciąganego i zginanego wg rozdz. 6.1.8, ściskanego i zginanego wg rozdz. 6.1.9 w [2] jest w istocie określana na podstawie sumy maksymalnych wyężeń od siły osiowej i momentów zginających, oddzielnie po stronie ściskanej i rozciąganej. Np. po stronie rozciąganej pręta zginanego i rozciąganego osiowo powinna być spełniona nierówność:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1 \quad (5)$$

Obliczamy osobno wytrzymałość w płaszczyźnie pasa górnego, osobno w płaszczyźnie pasa dolnego. Np. dla pasa górnego obciążenie $k_{h1}q_{Ed}$, powodujące moment zginający M_{fz1} , jest równoznaczne z podstawieniem:

$$M_{z,Ed} = M_{fz,1}$$

W rezultacie otrzymamy następujące wyrażenie, gdy zginanie wywołuje naprężenia rozciągające pasa górnego:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} \right) + \frac{M_{fz,1}}{M_{cz,Rd,fz,1}} \leq 1$$

Nośność przekroju można przedstawić następująco:

$$N_{t,Ed} = A_{eff} f_y$$

$$M_{cy,Ed,ten,1} = W_{y,eff,1} f_y$$

$$M_{cz,Ed,fz,1} = W_{fz,1} f_y$$

Po pomnożeniu nierówności przez f_y otrzymamy:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,eff,1}} \right) + \frac{M_{fz,1}}{W_{fz,1}} \leq f_y \quad (6)$$

W programie obliczana jest wytrzymałość przekroju dla pasa dolnego i górnego, z uwzględnieniem znaków naprężeń od siły osiowej oraz zginania momentem $M_{y,Ed}$. Sumowane są bezwzględne wartości naprężeń od wyrażenia w nawiasie i momentu $M_{fz,1}$.

6. Usztywnienie boczne elementu o profilu otwartym

W praktyce inżynierskiej występują dwa sposoby usztywniania bocznego belki cienkościennej:

- blachą trapezową mocowaną do górnego pasa belki,
- stężenia poprzeczne, w postaci tężników prętowych.




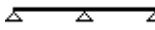

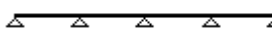

Pierwszy z tych sposobów jest przedmiotem rozdz.10 w [2], gdzie wzory 10.1a i 10.1b określają uproszczone warunki stężenia nieprzesuwnego w płaszczyźnie przylegania blachy do pasa kształtownika. Planujemy uwzględnienie tego sposobu stężenia w następnej edycji programu CProf E (dla sprawdzenia profili walcowanych można użyć naszego programu Kozob E).

Drugi sposób proponujemy uwzględniać następująco:

Rozważmy pas jako wieloprzęsłową belkę ciągłą. Ekstremalne momenty zginające w takiej belce, przy obciążeniu ciągłym równomiernym można wyrazić wzorem $M = \beta \cdot q_h \cdot L^2$. Dla obciążenia skupionego wzór ten przyjmie postać $M = \beta \cdot Q_h \cdot L$.

We wzorach tych L oznacza rozstaw stężeń, q_h i Q_h odpowiednio obciążenie zastępcze działające w płaszczyźnie pasa, wywołujące w elemencie przyjętym do wymiarowania moment zginający względem osi obojętnej pasa. Wartości współczynnika β wynikają z zasad statyki i są zestawione w tablicy 1 dla przekrojów przęsłowych i podporowych w różnych schematach podparcia. Jako obciążenie skupione przyjęto siłę działającą w środku rozpiętości L . W górnej części tablicy 1 umieszczone są także współczynniki dla belek jednoprzęsłowych o różnych warunkach podparcia. W dalszych obliczeniach zaleca się uwzględniać wartości ekstremalne współczynników. W przypadku nieregularnego rozkładu obciążenia w płaszczyźnie pasa lub nieregularnego rozstawu stężeń należy rozwiązać statykę belki i "ręcznie" wyznaczyć wartość współczynnika β .

Tablica 1

Schemat statyczny podparcia bocznego		Obciążenie ciągłe			Obciążenie skupione			Uwaga
		przęsło	podpora	przyjęte do obliczeń	przęsło	podpora	przyjęte do obliczeń	
pas bez stężeń		0.125	0	0.125	0.25	0	0.25	
		0.0703	-0.125	-0.125	0.156	-0.1875	-0.1875	
		0.0417	-0.0833	-0.0833	0.125	-0.125	0.125	
pas stężony		0.0703	-0.125	-0.125	0	0	0	a
		0.0800	-0.1000	-0.1000	0.175	-0.075	0.175	b
		0.0770	-0.1070	-0.1070	0	0	0	c
		0.0781	-0.105	-0.1056	0.1707	-0.0865	0.1707	d

Uwagi do tablicy 1:

a – jedno usztywnienie na belce jednoprzęsłowej

b – belka jednoprzęsłowa z dwoma usztywnieniami

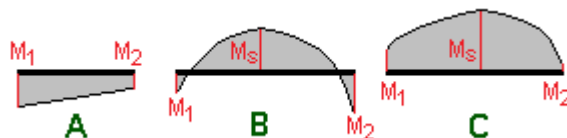
c - belka dwuprzęsłowa z jednym usztywnieniem w każdym przęśle

d - schemat belki pięcioprzęsłowej przyjęto dla wszystkich pozostałych przypadków

7. Współczynnik k_c (profile otwarte)

Wykorzystując tablicę B3 z [1] do określenia przebiegu momentów zginających na długości elementu

wyberamy kształt wykresu wg rys. III.9 oraz charakter obciążenia (ciągłe, skupione lub brak obciążenia). Natomiast przechodząc do tablicy 6.6 (również w [1]) dla określenia współczynnika poprawkowego k_c , zwanego także współczynnikiem uwzględniającym rozkład momentów zginających, napotykamy na inny zestaw wykresów. Dodatkowym utrudnieniem jest fakt, że wykres momentów wg tablicy B3 odpowiada długości całego elementu, natomiast z tablicy 6.6 korzysta się również przy analizie zwiczenia, a więc w sytuacji, gdy wykres momentów odpowiada długości stężonego odcinka.



Rys. III.9. Wykresy momentów zginających

Tablica 2

Pręt	Typ wykresu wg tablicy B3 [1]	Obciążenie	Metoda	Wartości
bez stężeń	A	brak	Automat	$k_c = 1/(1.33 - 0.33\psi)$
	B	ciągłe	Interakcja projektanta – pręt nie stężony	Opcje: M_{cr}, k_c , wybór wykresu
		skupione		
	C	ciągłe		
		skupione		
stężony	A	brak	Automat	$k_c = 1/(1.33 - 0.33\psi)$
	B	ciągłe	Interakcja projektanta – pręt stężony	Opcje: M_{cr}, k_c , 0.800/0.902
		skupione	Interakcja projektanta – pręt stężony	Opcje: M_{cr}, k_c , wybór wykresu
	C	ciągłe	Interakcja projektanta – pręt stężony	Opcje: M_{cr}, k_c , 0.800/0.902
		skupione	Interakcja projektanta – pręt stężony	Opcje: M_{cr}, k_c , wybór wykresu

Słowami można go opisać następująco:

- W przypadku liniowego wykresu momentów zginających, co odpowiada prętowi bez obciążenia poprzecznego aplikuje się formuła cytowana w Tablicy 2.
- Formuły tej użyto dla przypadku pręta stężonego, obciążonego siłą skupioną.
- W pozostałych przypadkach niezbędna wydaje się interwencja projektanta:
 - w przypadku pręta niestężonego istotne są dwie możliwości podanie współczynnika k_c na podstawie osobnych („ręcznych”) obliczeń lub skorzystanie z tablicy 6.6, przez wybranie wykresu najbardziej odpowiadającego rozpatrywanemu przypadkowi,
 - w przypadku pręta stężonego możliwości są zasadniczo takie same jak dla pręta niestężonego, chociaż dla obciążenia ciągłego można wg [1] współczynniki k_c narzucić wartość 0.800 - przy jednym stężeniu, lub 0.902 - przy większej liczbie stężeń (wg Tabl. 10.2b w [2]).

W programie uwzględniono również możliwość wprowadzenia wartości momentu krytycznego M_{cr} .

8. Stateczność elementu o profilu otwartym

Rozpatruje się wyboczenie pręta ściskanego w płaszczyźnie środnika i w płaszczyznach pasów. Wyboczenie giętno-skrętne zostało zastąpione wyboczeniem izolowanego pasa w jego płaszczyźnie zgodnie z rozdz.10 w [2]. Zwichrzenie zostało zastąpione wyboczeniem izolowanego pasa ściskanego zgodnie z rozdz. 10 w [2] i rozdz. 5.3.2.4 w [1], punkt (2)B.

9. Interakcja zginania dwukierunkowego ze ściskaniem

Przyjęto Metodę 2 wg załącznika B [1] dla przekrojów klasy 3 i 4, i przekrojów niewrażliwych na deformacje skrętne – Tablica B.1, ponieważ skręcanie przekroju zostało zastąpione zginaniem pasów w ich płaszczyznach. Profile RHS są zgodnie z tym załącznikiem traktowane jako niewrażliwe na skręcanie.

10. Interakcja ścinania ze zginaniem i ściskaniem

Redukcję nośności przekroju zrealizowano w programie wg p. 6.2.8 [1]. następująco:

- dla $V_{Ed}/V_{Rd} \leq 0.5$ przyjęto współczynnik redukcji $\rho = 0.0$

- dla $V_{Ed}/V_{Rd} > 0.5$ przyjęto

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed,z}}{V_{w,Rd,z}} - 1 \right)^2$$

przy czym nośność przekroju zredukowano mnożnikiem $(1-\rho)$.

11. Nośność poprzeczna środnika przekrojów dwugałęziowych

Zgodnie z punktem 6.1.7.2(4) nośność poprzeczna środników elementów złożonych z dwóch ceowników lub dwóch sigma w przypadku pojedynczego obciążenia lub reakcji podpór, gdy $c < 1.5 h_w$, powinna być wyznaczana ze wzoru (6.16a)

$$R_{w,Rd} = \frac{k_7 \left[8.8 + 1.1 \sqrt{\frac{S_s}{t}} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}$$

zaś gdy $c > 1.5 h_w$ ze wzoru 6.16b

$$R_{w,Rd} = \frac{k_5^* k_6 \left[11.2 + 2.87 \sqrt{\frac{S_s}{t}} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}$$

Niestety Eurokod zawiera błędy w definicjach wzorów do obliczenia k_6 i k_7 . Oficjalnie potwierdził nam to PKN (szef Sektora Budownictwa i Konstrukcji Budowlanych) w oparciu o opinię dr. J. Łaguny (Bardzo dziękujemy Panie Janiel!). Błędy powstały przy tworzeniu oryginalnego EN 1993-1-3. PKN zainicjuje proces wprowadzenia stosownych poprawek. W pierwszym przypadku jest to zamiana znaku + na -, w drugim błędne ograniczenie wartości k_7 .

Poprawny wzór na k_6 to: $k_6 = 0.88 + 0.12 t / 1.9$

zaś ograniczenie współczynnika k_7 to: $k_7 = 1.20$ gdy $h_w / t > 150$

Oba te wzory w poprawionej wersji potwierdza publikacja [4].


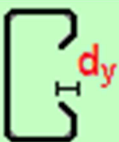
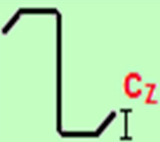
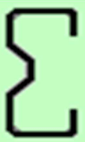
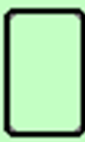
12. Bibliografia

- [1] PN-EN 1993-1-1 czerwiec 2006. Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [2] PN-EN 1993-1-3 sierpień 2008. Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-3: Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno.
- [3] PN-EN 1993-1-5. Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-5: Blachownice.
- [4] D. Dubina, V. Ungureanu, R. Landolfo.: Design of Cold-Formed Steel Structures. Eurocode 3: Design of Steel Structures. Part 1-3 - Design of Cold-formed Steel Structures, ECCS - Eurocode Design Manuals. 1st Edition, 2012.

Korzystając z okazji pragniemy zaproponować **inne nasze programy**, które mogą zostać zainstalowane na Państwa komputerze i chronione tym samym kluczem. Wersje demo tych programów zamieszczone są na naszej stronie internetowej www.kotex.waw.pl.
Tamże szczegółowy cennik.

Załącznik 1: Geometria przekroju

CProf E akceptuje profile spełniające poniższe warunki geometryczne:

				
$b / t \leq 60$	$b / t \leq 90$	$b / t \leq 60$	$b / t \leq 60$	$b / t \leq 500$
$c / t \leq 50$	$c / t \leq 60$	$c_z / t \leq 50$	$c / t \leq 50$	
$d_y / t \leq 50$				
$h / t \leq 500$				<i>Tabl. 5.1</i>
$R > 0.04 t E / f_y$				<i>pkt 5.1.6</i>
$0.2 < c / b < 0.6$			<i>(5.2a)</i>	
$0.1 < d_y / b \leq 0.3$			<i>(5.2b)</i>	$h \geq b$ <i>CProf E</i>

Przy podparciu przez półkę:

$r / t \leq 6$	<i>(6.14b)</i>	■	$r / t \leq 10$ <i>(6.17a)</i>
$h_w / t < 200$	<i>(6.14a)</i>	■	$h_w / t < 200$ <i>(6.14a)</i>

Odwołania w powyższej tablicy odnoszą się do PN-EN 1993-1-3 [2]