

Wymiarowanie zbrojenia

Poradnik SectionPro — Wymagane zbrojenie dla przekrojów sześciokątnych, kwadratowych pustych i belek U pod obciążeniami SLS i ULS (EC2, NBR-6118, BAEL 91)

BridgeKernel · 2026

Wprowadzenie

Dla zadanego zestawu sił wewnętrznych (N, M_y, M_z) i predefiniowanego rozmieszczenia prętów (pozycje i rozstaw), SectionPro wyznacza minimalną średnicę prętów φ_s wymaganą do spełnienia warunków normatywnych w każdej pozycji. Jest to problem odwrotny wobec analizy weryfikacji naprężeń (Artykuł #2): zamiast sprawdzać, czy dane zbrojenie jest wystarczające, program znajduje zbrojenie zapewniające równowagę pod zadanymi obciążeniami.

Solver iteruje po φ_s , aż stan odkształcenia $(\varepsilon_0, \kappa_y, \kappa_z)$ spełni równowagę wewnętrzną z dokładnym osiągnięciem normatywnych granic odkształceń. Gdy beton sam jest w stanie przenieść obciążenia bez zbrojenia, wynik to $A_s = 0$ — stal nie jest potrzebna.

Artykuł wykorzystuje te same trzy przekroje i te same przypadki obciążeń co Artykuł #2. W Artykule #2 zbrojenie było ustalone i niektóre przypadki obciążeń przekraczały nośność przekroju (FS > 1, sprawdzenie KO). Tutaj wyznaczamy zbrojenie, które byłoby potrzebne. Korelacja jest bezpośrednia: wyższy FS w Artykule #2 oznacza większe φ_s wymagane w Artykule #3.

Obliczone wyniki

SectionPro podaje trzy kategorie wyników dla każdego obciążenia:

Naprężenia i odkształcenia + wymiarowanie

σ_c — Naprężenie betonu
 $\sigma_{s, \min}, \sigma_{s, \max}$ — Naprężenia stali
 ε_c — Odkształcenie betonu
 $\varepsilon_{s, \min}, \varepsilon_{s, \max}$ — Odkształcenia stali
Pivot — Tryb zniszczenia (A, B, $A_s = 0$)
 φ_s — Wymagana średnica

Siły wewnętrzne

N_c — Wypadkowa ściskania
 N_t — Wypadkowa rozciągania
 (x_C, y_C) — Środek strefy ściskanej
 (x_T, y_T) — Środek strefy rozciąganej
 z — Ramię dźwigni

Zbieżność

N_{iter} — Iteracje
Tol — Tolerancja
 $N_{\text{int}}, M_{z, \text{int}}, M_{y, \text{int}}$ — Siły wewnętrzne
 $\varepsilon_0, \kappa_x, \kappa_y$ — Stan odkształcenia

Punkty zniszczenia

Punkt zniszczenia wskazuje, który materiał osiąga granicę odkształceń jako pierwszy:

- **Pivot A — Zniszczenie stali.** Zbrojenie rozciągane osiąga ε_{su} przed zgnieciem betonu. Typowe dla przekrojów słabo zbrojonych. Odkształcenie decydujące: $\varepsilon_s = \varepsilon_{su}$.
- **Pivot B — Zniszczenie betonu.** Beton osiąga ε_{cu} przed pełną plastycznością stali. Typowe dla przekrojów silnie obciążonych. Odkształcenie decydujące: $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$.
- **Pivot C — Silne ściskanie.** Odkształcenie osiąga $\varepsilon_c = \varepsilon_{c2}$ w punkcie odległym o $(1 - \varepsilon_{c2}/\varepsilon_{cu2}) \cdot h$ od najbardziej ściskanego włókna ($3h/7$ dla $\varepsilon_{c2} = 2\text{‰}$ i $\varepsilon_{cu2} = 3.5\text{‰}$). Rzadki przypadek.
- **Pivot $A_s = 0$ — Zbrojenie niepotrzebne.** Beton sam przenosi obciążenia. Wymagane pole zbrojenia wynosi zero.

Pełny przekrój sześciokątny

Dane wejściowe

Beton

- Przekrój sześciokątny
- Szerokość $B = 2.00$ m
- Grubość min. $h_1 = 0.60$ m, maks. $h_2 = 1.00$ m

Zbrojenie

- Rozstaw 150 mm — 30 pozycji
- Otulina 50 mm — 1 warstwa
- Średnica φ_s : do wyznaczenia

Materiały (EC2)

- Beton C30/37: $f_{ck} = 30$ MPa
- Stal B500B: $f_{yk} = 500$ MPa

Data

Solid hexagonal section

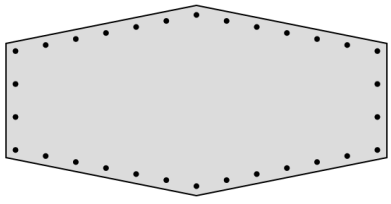
Concrete

Height h1 (m): Height h2 (m): Width (m):

Reinforcement

Mode: uniform spacing

Bar spacing (mm): Bar diameter (mm): Concrete cover (mm): Layers (1 or 2):



Rysunek 1: Przekrój sześciokątny.

SLS — Zginanie ze ścisaniem ($N + M_z$)

Narzucone obciążenia: $N = 500$ kN, $M_z = 1000$ kN · m, $M_y = 0$

Visualization of stresses and strains

Load 1 σ ϵ N Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y

Napężenia i odkształcenia + wymiarowanie

σ_c	-11.30 MPa
$\sigma_{s, \min}$	-139.49 MPa
$\sigma_{s, \max}$	400.00 MPa
ε_c	-0.847‰
$\varepsilon_{s, \min}$	-0.697‰
$\varepsilon_{s, \max}$	2.000‰
Pivot	A
φ_s	17.60 mm

Siły wewnętrzne

N_c	1697.8 kN
N_t	-1197.8 kN
x_C	0.000 m
y_C	0.364 m
x_T	0.000 m
y_T	-0.320 m
z	0.683 m

Zbieżność

N_{iter}	4
Tol	3.57×10^{-8}
N_{int}	500.0 kN
$M_{z, \text{int}}$	1000.0 kN · m
$M_{y, \text{int}}$	0.0 kN · m
ε_0	0.651×10^{-3}
κ_x	-2.997×10^{-3}
κ_y	0.000×10^{-3}

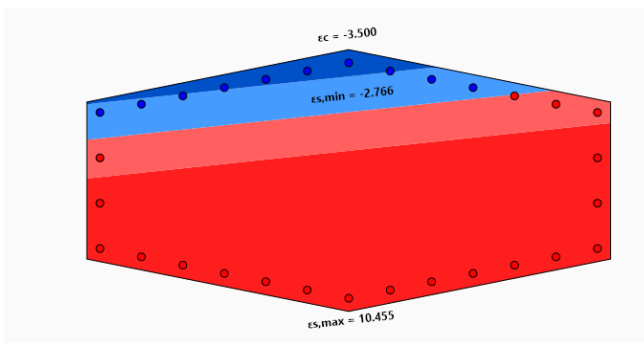
Pivot A: decyduje stal ($\varepsilon_{s, \max} = 2.000\text{‰} = \varepsilon_{su}$). Wymagana średnica wynosi $\varphi_s = 17.60$ mm dla wszystkich 30 pozycji prętów.

ULS — Zginanie dwuosiowe ($N + M_y + M_z$)

Narzucone obciążenia: $N = 2000$ kN, $M_z = 3000$ kN · m, $M_y = 1800$ kN · m

Visualization of stresses and strains

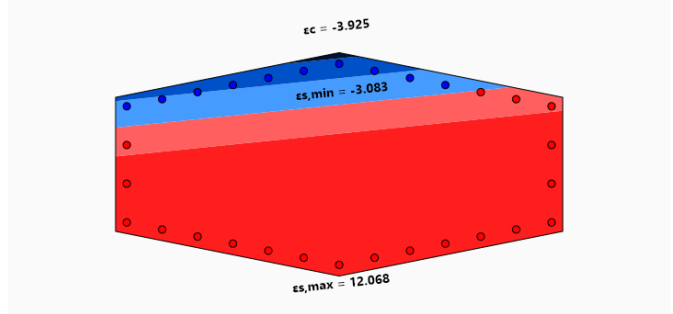
Load 2 σ ε N Q Q Details



Rysunek 4: Rozkład naprężeń.

Visualization of stresses and strains

Load 2 σ ε N Q Q Details



Rysunek 5: Rozkład odkształceń.

Napężenia i odkształcenia + wymiarowanie

σ_c	-20.00 MPa
$\sigma_{s, \min}$	-435.21 MPa
$\sigma_{s, \max}$	440.81 MPa
ε_c	-3.500‰
$\varepsilon_{s, \min}$	-2.766‰
$\varepsilon_{s, \max}$	10.455‰
Pivot	B
φ_s	25.12 mm

Siły wewnętrzne

N_c	5827.2 kN
N_t	-3827.2 kN
x_C	-0.255 m
y_C	0.355 m
x_T	0.082 m
y_T	-0.243 m
z	0.687 m

Zbieżność

N_{iter}	43
Tol	3.66×10^{-8}
N_{int}	2000.0 kN
$M_{z, \text{int}}$	3000.0 kN · m
$M_{y, \text{int}}$	1800.0 kN · m
ε_0	3.845×10^{-3}
κ_x	-14.689×10^{-3}
κ_y	-1.556×10^{-3}

Pivot B: decyduje beton ($\varepsilon_c = -3.500\text{‰} = \varepsilon_{cu}$). Wymagana średnica wynosi $\varphi_s = 25.12$ mm dla obciążenia ULS dwuosiowego.

Przekrój kwadratowy pusty

Dane wejściowe

Beton

- Przekrój kwadratowy pusty
- Bok zewnętrzny $a = 2.0$ m, grubość ścianki $t = 0.30$ m

Zbrojenie

- Rozstaw 150 mm — 64 pozycje
- Otulina 40 mm — 1 warstwa na ściankę (wew. +zew.)
- Średnica φ_s : do wyznaczenia

Materiały (NBR-6118)

- Beton C30: $f_{ck} = 30$ MPa
- Stal: $f_{yk} = 500$ MPa

■ Data
← Hollow Square Section

Concrete
Side length (m) Thickness (m)
2 0.3

Reinforcement ⓘ
Mode: uniform spacing ▾
Bar spacing (mm) Bar diameter (mm) Concrete cover (mm) Layers (1 or 2)
200 20 40 1

Submit Infos

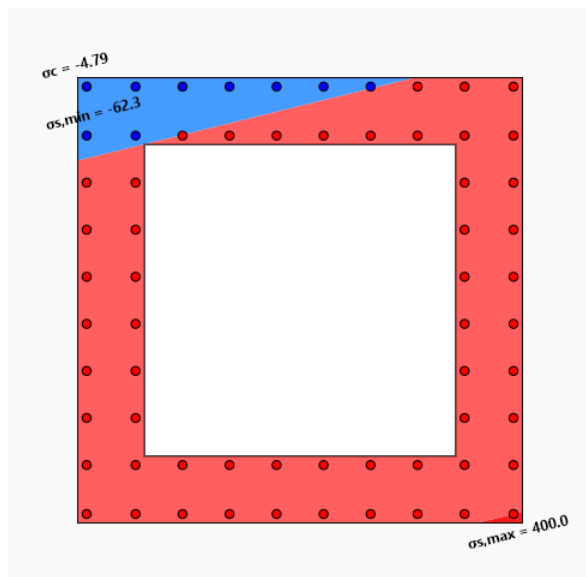
Rysunek 6: Przekrój kwadratowy pusty — geometria i rozmieszczenie zbrojenia.

SLS — Zginanie dwuosiowe ($N + M_y + M_z$)

Narzucone obciążenia: $N = -400$ kN, $M_z = 900$ kN · m, $M_y = 400$ kN · m

Visualization of stresses and strains

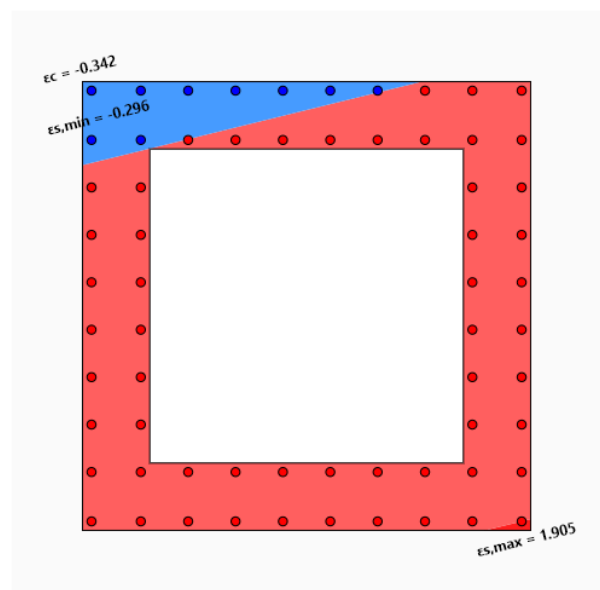
Load 1 ▾ σ ε N 🔍 🔍 🔄 Details



Rysunek 7: Rozkład naprężeń.

Visualization of stresses and strains

Load 1 ▾ σ ε N 🔍 🔍 🔄 Details



Rysunek 8: Rozkład odkształceń.

Naprężenia i odkształcenia + wymiarowanie

σ_c	-4.79 MPa
$\sigma_{s,\min}$	-62.26 MPa
$\sigma_{s,\max}$	400.02 MPa
ε_c	-0.342‰
$\varepsilon_{s,\min}$	-0.296‰
$\varepsilon_{s,\max}$	1.905‰
Pivot	A
φ_s	10.00 mm

Siły wewnętrzne

N_c	468.2 kN
N_t	-868.2 kN
x_C	-0.622 m
y_C	0.908 m
x_T	0.126 m
y_T	-0.547 m
z	1.636 m

Zbieżność

N_{iter}	575
Tol	2.63×10^{-8}
N_{int}	-400.0 kN
$M_{z,\text{int}}$	900.0 kN · m
$M_{y,\text{int}}$	400.0 kN · m
ε_0	0.804×10^{-3}
κ_x	-0.920×10^{-3}
κ_y	-0.226×10^{-3}

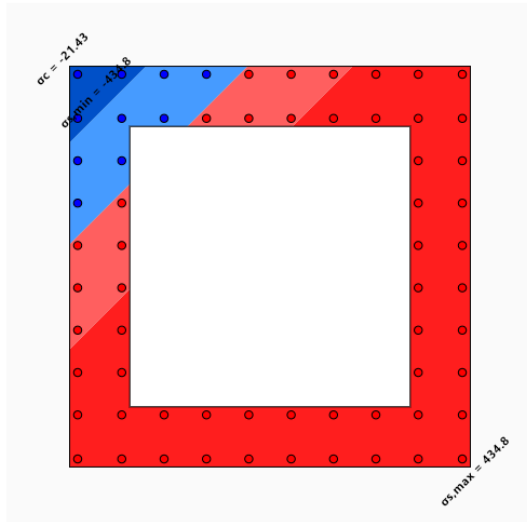
Pivot A: decyduje stal ($\varepsilon_{s,\max} = 2.000\text{‰} = \varepsilon_{su}$). Wymagana średnica wynosi $\varphi_s = 10.00$ mm.

ULS — Zginanie dwuosiowe ($N + M_y + M_z$)

Narzucone obciążenia: $N = 0$ kN, $M_z = 6000$ kN · m, $M_y = 6000$ kN · m

Visualization of stresses and strains

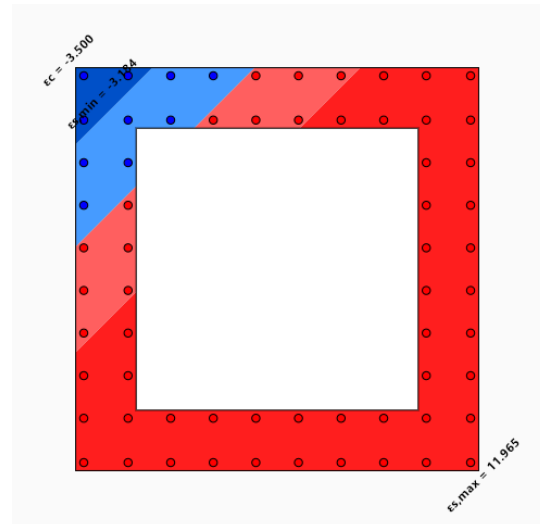
Load 2 σ ε N κ_x κ_y Details



Rysunek 9: Rozkład naprężeń.

Visualization of stresses and strains

Load 2 σ ε N κ_x κ_y Details



Rysunek 10: Rozkład odkształceń.

Naprężenia i odkształcenia + wymiarowanie

σ_c	-21.43 MPa
$\sigma_{s,\min}$	-434.78 MPa
$\sigma_{s,\max}$	434.78 MPa
ε_c	-3.500‰
$\varepsilon_{s,\min}$	-3.184‰
$\varepsilon_{s,\max}$	11.965‰
Pivot	B
φ_s	19.38 mm

Siły wewnętrzne

N_c	5901.2 kN
N_t	-899.0 kN
x_C	-0.756 m
y_C	0.751 m
x_T	-0.179 m
y_T	0.421 m
z	0.664 m

Zbieżność

N_{iter}	41
Tol	3.40×10^{-8}
N_{int}	0.0 kN
$M_{z,\text{int}}$	6000.0 kN · m
$M_{y,\text{int}}$	6000.0 kN · m
ε_0	4.390×10^{-3}
κ_x	-3.945×10^{-3}
κ_y	-3.945×10^{-3}

Pivot B: decyduje beton ($\varepsilon_c = -3.500\text{‰} = \varepsilon_{cu}$). Wymagana średnica wynosi $\varphi_s = 19.38$ mm dla obciążenia ULS dwuosiowego.

Przekrój niestandardowy — Belka U

Dane wejściowe

Przekrój wykorzystuje funkcję **niestandardowej geometrii pełnej**. Kontur zewnętrzny definiuje się listą punktów XY, a zbrojenie tabelą pozycji (x, y) . Zalecana procedura dla geometrii niestandardowych.

Beton

- Belka U ze ściankami pochyłymi
- Wysokość całkowita $h = 1.20$ m

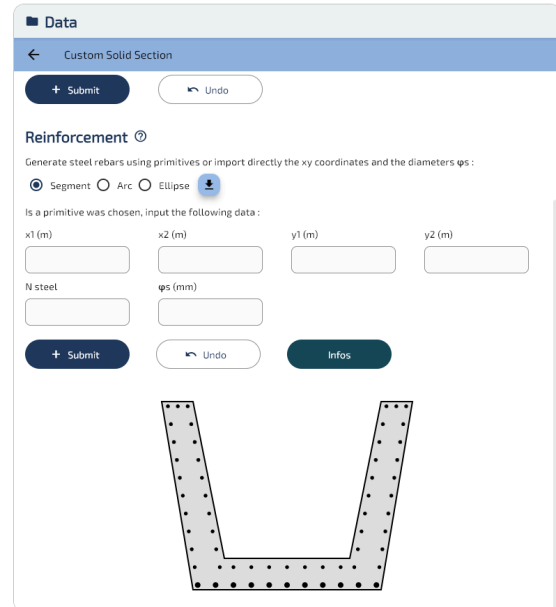
Zbrojenie

- Rozstaw 150 mm — płyta dolna: 11, ścianki: 49 pozycji
- 2 warstwy na ściankę

- Średnica φ_s : do wyznaczenia

Materiały (BAEL 91)

- Beton: $f_{c28} = 30$ MPa, $\theta = 0.85$
- Stal fe500: $f_e = 500$ MPa

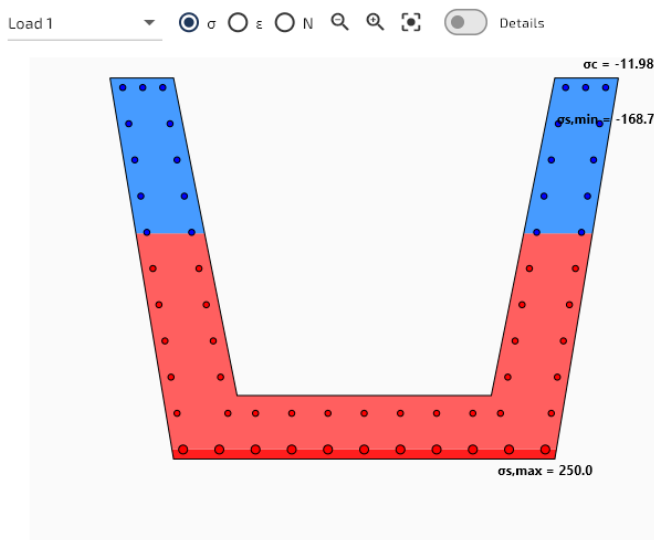


Rysunek 11: Belka U — geometria i rozmieszczenie zbrojenia.

SLS — Czyste zginanie (M_z)

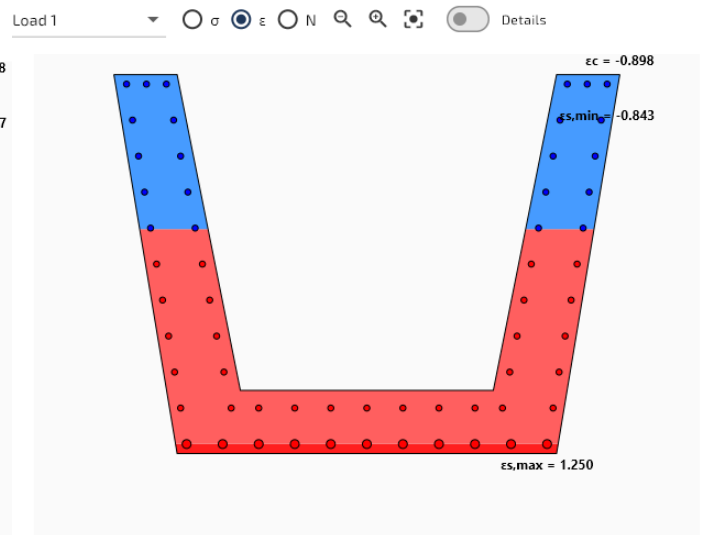
Narzucone obciążenia: $N = 0$ kN, $M_z = 1500$ kN · m, $M_y = 0$

Visualization of stresses and strains



Rysunek 12: Rozkład naprężeń.

Visualization of stresses and strains



Rysunek 13: Rozkład odkształceń.

Naprężenia i odkształcenia + wymiarowanie

σ_c	-11.98 MPa
$\sigma_{s,min}$	-168.65 MPa
$\sigma_{s,max}$	250.00 MPa
ε_c	-0.898‰
$\varepsilon_{s,min}$	-0.843‰
$\varepsilon_{s,max}$	1.250‰
Pivot	A
φ_s	17.88 mm

Siły wewnętrzne

N_c	1680.9 kN
N_t	-1680.9 kN
x_C	0.000 m
y_C	0.571 m
x_T	0.000 m
y_T	-0.321 m
z	0.892 m

Zbieżność

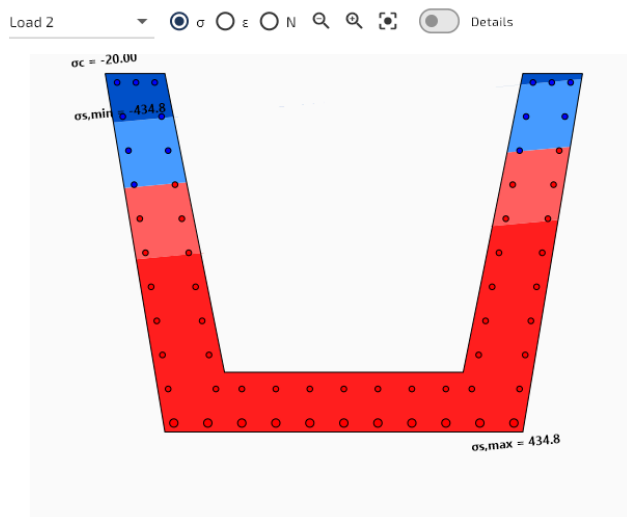
N_{iter}	4
Tol	2.21×10^{-7}
N_{int}	0.0 kN
$M_{z,int}$	1500.0 kN · m
$M_{y,int}$	0.0 kN · m
ε_0	0.434×10^{-3}
κ_x	-1.836×10^{-3}
κ_y	0.000×10^{-3}

Pivot A: decyduje stal ($\sigma_{s,max} = 250.00 \text{ MPa} = \bar{\sigma}_s$, dopuszczalne naprężenie BAEL). Wymagana średnica: $\varphi_s = 17.88 \text{ mm}$ dla 60 pozycji prętów.

ULS — Zginanie dwuosiowe ($M_y + M_z$)

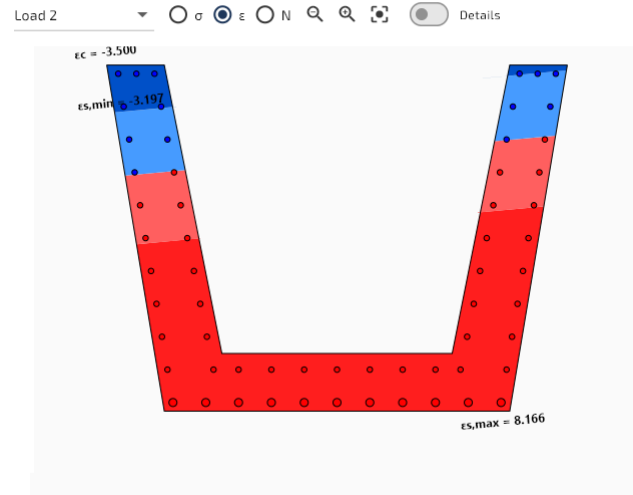
Narzucone obciążenia: $N = 0 \text{ kN}$, $M_z = 2000 \text{ kN} \cdot \text{m}$, $M_y = 500 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Visualization of stresses and strains



Rysunek 14: Rozkład naprężeń.

Visualization of stresses and strains



Rysunek 15: Rozkład odkształceń.

Naprężenia i odkształcenia + wymiarowanie

σ_c	-20.00 MPa
$\sigma_{s,min}$	-434.78 MPa
$\sigma_{s,max}$	434.78 MPa
ε_c	-3.500‰
$\varepsilon_{s,min}$	-3.197‰
$\varepsilon_{s,max}$	8.166‰
Pivot	B
φ_s	13.26 mm

Siły wewnętrzne

N_c	2386.2 kN
N_t	-405.4 kN
x_C	-0.142 m
y_C	0.596 m
x_T	-0.060 m
y_T	0.191 m
z	0.413 m

Zbieżność

N_{iter}	39
Tol	3.29×10^{-8}
N_{int}	0.0 kN
$M_{z,int}$	2000.0 kN · m
$M_{y,int}$	500.0 kN · m
ε_0	3.693×10^{-3}
κ_x	-8.996×10^{-3}
κ_y	-0.833×10^{-3}

Pivot B: decyduje beton ($\varepsilon_c = -3.500\text{‰} = \varepsilon_{cu}$). Wymagana średnica wynosi $\varphi_s = 13.26 \text{ mm}$ dla obciążenia ULS dwuosiowego.

Walidacja wyników

Sprawdzenie równowagi wewnętrznej

Obciążenia (N, M_y, M_z) to **dane wejściowe**. SectionPro wyznacza φ_s i stan odkształcenia $(\varepsilon_0, \kappa_y, \kappa_z)$ iteracyjnie, a następnie całkuje naprężenia, uzyskując siły **wewnętrzne** $(N_{\text{int}}, M_{y,\text{int}}, M_{z,\text{int}})$. Po zbieżności muszą one odpowiadać obciążeniom:

$$N_{\text{int}} \approx N \quad M_{y,\text{int}} \approx M_y \quad M_{z,\text{int}} \approx M_z$$

Przekrój	Obciążenie	N (kN)	N_{int} (kN)	M_z (kN·m)	$M_{z,\text{int}}$ (kN·m)	Δ
Sześciokątny	SLS	500.0	500.0	1000.0	1000.0	0.00 %
	ULS	2000.0	2000.0	3000.0	3000.0	0.00 %
Kwadr. pusty	SLS	-400.0	-400.0	900.0	900.0	0.00 %
	ULS	0.0	0.0	6000.0	6000.0	0.00 %
Belka U	SLS	0.0	0.0	1500.0	1500.0	0.00 %
	ULS	0.0	0.0	2000.0	2000.0	0.00 %

Równowaga wewnętrzna jest spełniona z precyzją maszynową we wszystkich sześciu przypadkach — trzy geometrie, trzy normy, prawa materiałowe liniowe (SLS) i nieliniowe (ULS).

Porównanie krzyżowe z Artykułem #2

Tabela porównuje współczynnik bezpieczeństwa z Artykułu #2 (stałe zbrojenie) z wymaganą średnicą φ_s z niniejszego artykułu. Jednolita φ_s dla wszystkich prętów.

Przekrój	Obciąż.	φ_s (Art. #2)	FS (Art. #2)	Spr. (Art. #2)	Pivot	φ_s wymagane
Sześciokątny	SLS	25 mm	0.527	OK	A	17.6 mm
	ULS	25 mm	1.121	KO	B	25.1 mm
Kwadr. pusty	SLS	20 mm	0.274	OK	A	10.0 mm
	ULS	20 mm	0.634	OK	B	19.4 mm
Belka U	SLS	20/12 mm	1.209	KO	A	17.9 mm
	ULS	20/12 mm	0.436	OK	B	13.3 mm

Dla przekrojów ze zbrojeniem jednolitym (sześciokątny i kwadratowy pusty), korelacja jest bezpośrednia: $FS > 1$ oznacza $\varphi_{s,\text{required}} > \varphi_{s,\text{original}}$ i odwrotnie. Dla belki U, która miała mieszane średnice (20 mm w ściankach i 12 mm w płycie dolnej), porównanie musi być wykonane na podstawie całkowitego pola zbrojenia, a nie samej φ_s .

Test wydajności — 100 000 przypadków obciążeń

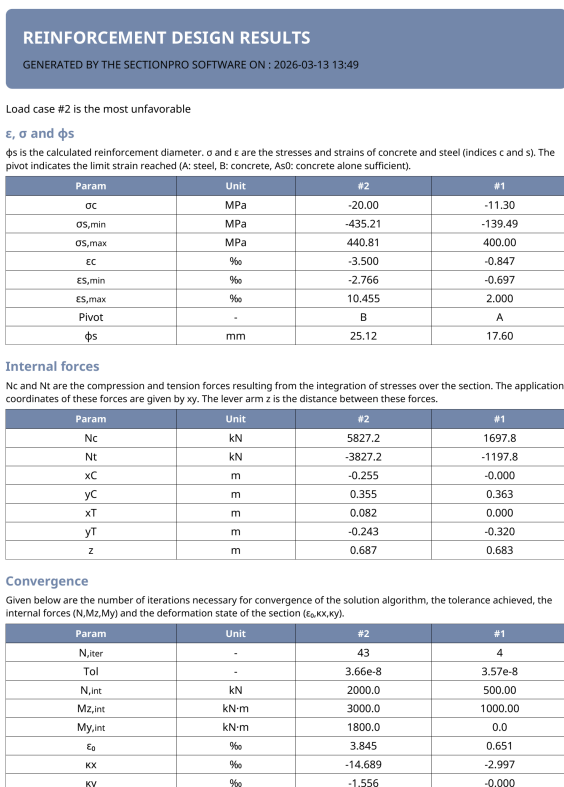
Test wydajności: 100 000 obciążeń na **każdym z trzech przekrojów** (SLS/ULS, jedno-/dwuosiove). Mierzony jest czysty czas obliczeń bez narzutu UI. Zbieżność uzyskano we wszystkich 300 000 przypadkach.

Wskaźnik	Sześciokątny	Kwadratowy pusty	Belka U
Przypadki obciążeń	100 000	100 000	100 000
Czas obliczeń	5.26 s	5.30 s	5.35 s
Wydajność	19 000 obciąż./s	18 900 obciąż./s	18 700 obciąż./s

Wszystkie trzy przekroje kończą obliczenia w 5,3 s dla 100 000 przypadków — prędkości 18 700–19 000 wymiarowań/s. Wolniejsze niż weryfikacja naprężeń (Artykuł #2): wymiarowanie dodaje zewnętrzną pętlę po φ_s , z pełnym rozwiązaniem ($\varepsilon_0, \kappa_y, \kappa_z$) w każdej iteracji. Zbieżność uzyskano we wszystkich 300 000 przypadkach. SectionPro wymiaruje 100 000 przypadków w mniej niż 6 s.

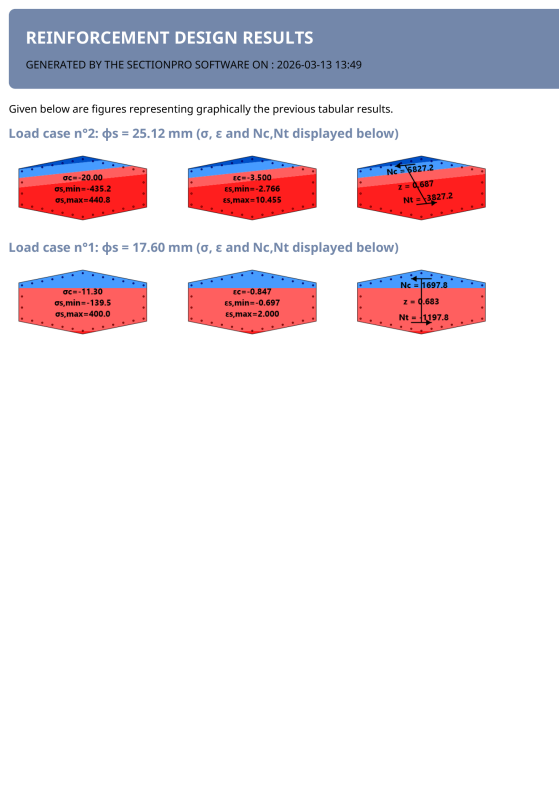
Eksport

Wyniki eksportowalne jako **PDF**, **tekst** i **Excel** (.xlsx). Dane na przypadek: naprężenia, odkształcenia, pivot, φ_s , siły wewnętrzne i zbieżność.



GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE

Rysunek 16: Eksport PDF — strona 1: tabele wyników.



GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE

Rysunek 17: Eksport PDF — strona 2: wykresy.

| Podsumowanie

W praktyce inżynierskiej konstruktor staje przed dwoma komplementarnymi problemami: weryfikacją przekroju ze znanym zbrojeniem — jak omówiono w Artykule #2 — lub wyznaczeniem zbrojenia wymaganego do przeniesienia danego zestawu obciążeń. Funkcja wymiarowania zbrojenia odpowiada bezpośrednio na drugi przypadek. Gdy rozmieszczenie prętów jest znane, ale średnica nie jest jeszcze ustalona, SectionPro wyznacza minimalną φ_s , przy której przekrój jest obciążony dokładnie do 100% swojej nośności przy normatywnych granicach odkształceń. To daje inżynierowi ściśle minimalne zbrojenie jako punkt wyjścia, od którego można dobrać praktyczną średnicę prętów.

Wyniki są spójne z formułą problemu odwrotnego: równowaga wewnętrzna jest spełniona z precyzją maszynową we wszystkich przypadkach obciążeń, dla trzech różnych geometrii, trzech kodów normatywnych oraz stanów granicznych SLS i ULS. Solver jest zbieżny niezawodnie we wszystkich przypadkach. Jeśli chodzi o wydajność, benchmark 100 000 przypadków obciążeń stanowi górną granicę — w praktyce inżynier konstruktor pracuje zazwyczaj z kilkuset kombinacjami obciążeń. Przy zmierzonej prędkości 19 000 wymiarowań na sekundę, 500 kombinacji kończy się w poniżej 30 milisekund: obliczenia są zasadniczo natychmiastowe.