

Informacje uzupełniające: Projektowanie podstawy słupa utwierdzonego

W tym dokumencie przedstawiono zasady dotyczące projektowania podstaw słupów utwierdzonych. Zasady te ograniczają się do symetrycznych, nieusztynionych podstaw słupów których trzon wykonany jest z profili dwuteowych i obciążony siłą osiową, siłą poprzeczną i momentem zginającym działającym względem osi większej bezwładności słupa. Przedstawione zasady mogą być w ograniczonym zakresie zastosowane w przypadku określania nośności podstaw słupów, których trzon wykonany jest z innych typów kształtowników.

Spis treści

1. Wprowadzenie.....	2
2. Oznaczenia	4
3. Model obliczeniowy i granice stosowania	5
4. Sytuacja projektowa 1: Wymiarowanie blachy czołowej podstawy słupa obciążonej siłą osiową i momentem zginającym	8
5. Sytuacja projektowa 2: Określenie nośności obliczeniowej blachy czołowej podstawy słupa	12

1. Wprowadzenie

Ten dokument NCCI przedstawia zasady projektowania sztywnych podstaw słupów, których trzon wykonany jest z profili dwuteowych i obciążony siłą osiową, poprzeczną i momentem zginającym. Prostokątna blacha podstawy jest przyspawana do trzonu słupa i ustawiona w taki sposób, aby jej środek ciężkości pokrywał się ze środkiem ciężkości przekroju poprzecznego trzonu słupa Rys. 1.1. Śruby kotwiące rozmieszczone są symetrycznie po obydwu stronach blachy. Blacha podstawy opiera się symetrycznie (lub nie) na fundamencie betonowym.

W praktyce spotyka się dwie sytuacje projektowe:

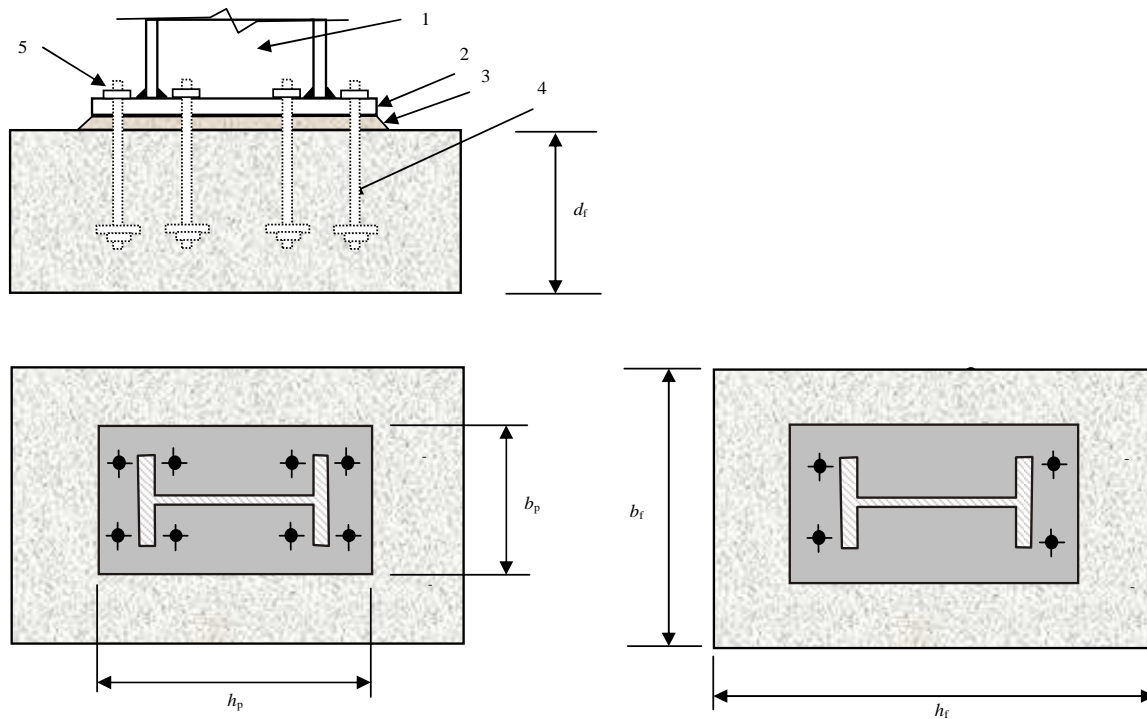
1. Znane są rodzaj kształtownika trzonu słupa i działające na nie go obciążenie. Określa się wymiary blachy czołowej podstawy i rodzaj śrub kotwiących.
2. Znane są wymiary blachy czołowej podstawy, rodzaj kształtownika trzonu słupa i wymiary fundamentu, sprawdza się ich nośność pod wpływem działania różnych kombinacji obciążenia w postaci siły osiowej, poprzecznej i momentu zginającego.

Procedury obliczeniowe dotyczące powyższych sytuacji przedstawiono odpowiednio w Rozdziałach 4 i 5.

Nośność połączenia ze względu na siłę poprzeczną określa się według [SN037](#) i jeżeli nośność ze względu na przesunięcie poziome blachy (siły tarcia) nie jest zachowana, według [SN043](#).

Siły ścinające nie są uważane za mające wpływ na nośność podstawy.

Sztywność połączenia wyznacza się zgodnie z [SN045](#).



Oznaczenia :

1. Dwuteowy trzon słupa
2. Blacha czołowa podstawy słupa
3. Podlewka betonowa
4. Fundament betonowy
5. Śruby kotwiące

Rys. 1.1 *Typowe utwierdzone połączenie podstawy słupa*

2. Oznaczenia

Tab. 2.1 Oznaczenia

Definition		Definition	
b_{eff}	Szerokość efektywna ściskanego T-stubu.	A_s	Przekrój popteczny trzpienia śruby kotwiącej.
c	Szerokość dodatkowa ściskanego T-stubu (mierzona od krawędzi słupa)	$F_{t,Rd}$	Wytrzymałość śrub kotwiących na rozciąganie
e_N	Mimośród obciążenia wyrażony przez współczynnik M_{Ed}/N_{Ed}	$F_{t,bond,Rd}$	Wytrzymałość śruby na przyczepność
b_f, h_f, d_f	Szerokość, długość i wysokość fundamentu.	$F_{t,anchor,Rd}$	Nośność obliczeniowa śrub kotwiących na rozciąganie = $\min(F_{t,Rd}; F_{t,bond,Rd})$
f_{yb}	Granica plastyczności stali śrub kotwiących.	$F_{t,l,Rd}$	Nośność obliczeniowa na rozciąganie rzędu śrub w T-stubach znajdujących się po lewej stronie.
f_{yp}	Granica plastyczności stali blachy czołowej połączenia.	$F_{t,r,Rd}$	Nośność obliczeniowa na rozciąganie rzędu śrub w T-stubach znajdujących się po prawej stronie.
f_{jd}	Wytrzymałość na docisk do podlewki.	$F_{C,l,Rd}$	Nośność obliczeniowa na ściskanie T-stubów znajdujących się po lewej stronie.
f_{cd}	Wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie, według EN 1992-1-1.	$F_{C,r,Rd}$	Nośność obliczeniowa na ściskanie T-stubów znajdujących się po prawej stronie.
$b_{tc}, t_{tc}, t_{wc}, h_c$	Szerokość i grubość pasa, grubość środnika wysokość przekroju trzonu słupa.	L_B	Długość śrub kotwiących poddanych rozciąganiu.
b_p, h_p, t_p	Szerokość, długość i grubość blachy podstawy.	M_{Ed} $M_{j,Ed}$	Moment zginający w trzonie słupa (wartość dodatnia gdy działa zgodnie z ruchem wskazówek zegara), współdziałający z siłą osiową N_{Ed} .
b_{eff}, l_{eff}	Szerokość efektywna rozciąganego T-stubu.	$M_{j,Rd}$	Nośność obliczeniowa ze względu na zginanie
m, n, e	Wymiary geometryczne rozciąganego T-stubu.	N_{Ed} $N_{j,Ed}$	Siła osiowa w trzonie słupa (wartość dodatnia gdy rozciągająca) współdziałająca z momentem zginającym M_{Ed} .
γ_{M0}	Częściowy współczynnik bezpieczeństwa.	$N_{j,Rd}$	Nośność obliczeniowa ze względu na siłę osiową
z	ramię sił wewnętrznych (odległość siły z lewej strony do siły z prawej strony)		
$z_{T,r}$	Odległość pomiędzy śrubami kotwiącymi znajdującymi się po prawej stronie i osią trzonu słupa.		
$z_{T,l}$	Odległość pomiędzy śrubami kotwiącymi znajdującymi się po lewej stronie i osią trzonu słupa.		
$z_{C,l}$	Odległość pomiędzy środkiem T-stuba znajdującego się po lewej stronie i osią trzonu słupa.		
$z_{C,r}$	Odległość pomiędzy środkiem T-stuba znajdującego się po prawej stronie i osią trzonu słupa.		

3. Model obliczeniowy i granice stosowania

3.1 Model obliczeniowy

Model obliczeniowy podstawy słupa z blachą czołową, obciążoną siłą osiową i momentem zginającym działającym względem osi większej bezwładności przekroju trzonu słupa, przedstawiono w §6.2.8 of EN 1993-1-8.

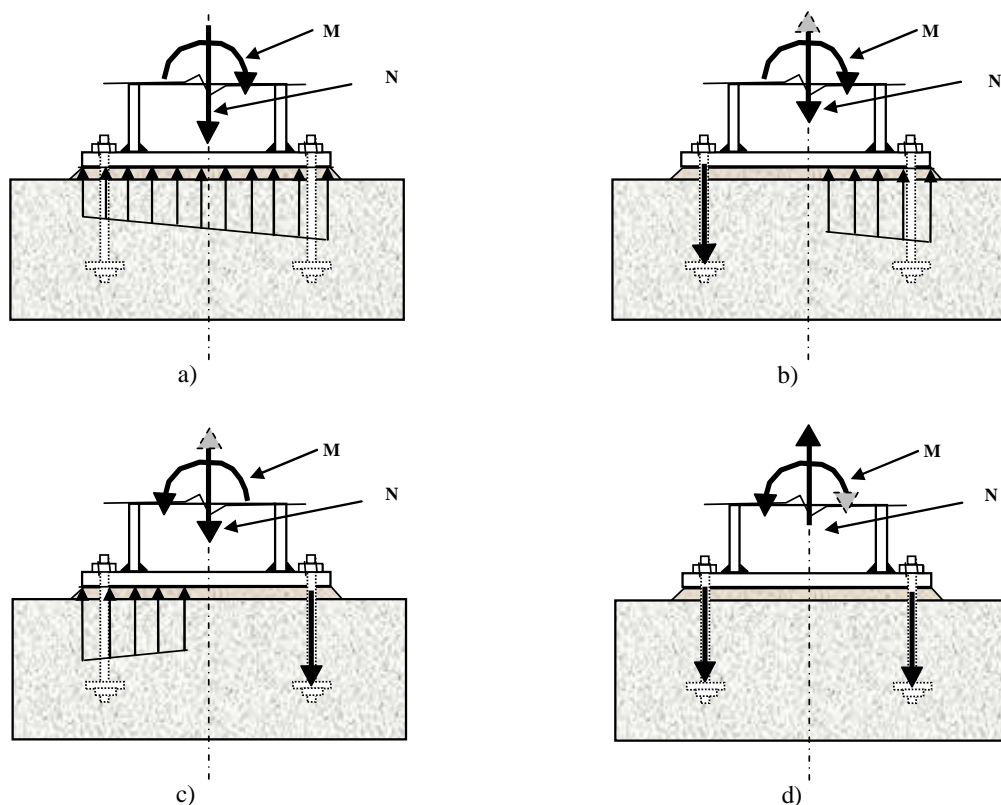
Typowe rozkłady obciążenia działającego na podstawę słupa przedstawione na Rys. 3.1 a), b) i c) przedstawiają się następująco:

- Dominujące działanie osiowej siły ściskającej połączone z działaniem momentu zginającego
 - moment zginający działający zgodnie z ruchem wskazówek zegara
 - moment zginający działający przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.
- Rozciąganie po lewej stronie i ściskanie po prawej stronie blachy czołowej, na skutek dominacji momentu zginającego działającego zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Obciążenie w postaci siły osiowej:
 - siła osiowa ściskająca
 - siła osiowa rozciągająca (unoszenie).
- Ściskanie po lewej stronie i rozciąganie po prawej stronie blachy czołowej, na skutek dominacji momentu zginającego działającego przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. Obciążenie w postaci siły osiowej:
 - siła osiowa ściskająca
 - siła osiowa rozciągająca.

W formułach obliczeniowych przedstawionych w [Table 6.7 of EN 1993-1-8](#) w przypadku niesymetrycznych podstaw słupów obciążonych siłą osiową i momentem zginającym, rozróżniono dwa ostatnie przypadki wprowadzając różne oznaczenia parametrów i konwencję znakowania. Dodatkowy przypadek obciążeniowy w którym podstawa słupa obciążona jest siłą rozciągającą, na skutek dominacji osiowej siły rozciągającej (Rys. 3.1 d)), uzupełnia teoretycznie możliwe kombinacje obciążeń. Jakkolwiek przypadek ten nie jest często spotykany w typowych konstrukcjach budowlanych.

Przyjęto model mechaniczny uproszczony, w którym występuje rozciąganie w szeregu śrub kotwiących i ściskanie pod powierzchnią docisku, skoncentrowaną pod pasem słupa. Nośność obliczeniowa najbardziej wytężonego składnika połączenia (ściskanego lub rozciąganego T-stubu) decyduje o nośności obliczeniowej podstawy z uwagi na jej obciążenie momentem zginającym i siłą osiową.

Wzory przedstawione w [Tab. 6.7 EN 1993-1-8](#) wyprowadzono na podstawie warunków równowagi pomiędzy kombinacją obciążeń zewnętrznych i odpowiadającymi jej siłami wewnętrznymi w podstawie słupa. Obejmują one przedstawione powyżej cztery kombinacje działającego obciążenia w postaci siły osiowej i momentu zginającego, Rys. 3.1.



Oznaczenia :

- a) Ściskanie pod całą podstawą słupa
- b) Ściskanie po prawej stronie podstawy, rozciąganie po lewej
- c) Ściskanie po lewej stronie podstawy, rozciąganie po prawej
- d) Rozciągana podstawa słupa

Rys. 3.1 *Kmbinacje obciążeń i rozkład sił wewnętrznych*

3.2 Nośność na docisk

Nośność ściskanej części połączenia jest zapewniona, gdy wartość naprężeń pod blachą czołową podstawy słupa nie przekracza nośności podlewki na docisk i nośności blachy czołowej podstawy ze względu na zginanie.

W modelu obliczeniowym przyjęto, że nośność ze względu na docisk wyznacza się dla ściskanych T-stubów, w zależności od wielkości strefy docisku, odpowiednio do występującego przypadku obciążenia, Rys. 3.1. Wartość naprężeń docisku przyjmuje się jednakową na całej powierzchni T-stubu, Rys. 3.2. Pomija się tu nośność pod środkiem słupa.

Sposób wyznaczania nośności obliczeniowej ściskanego T-stubu przedstawiono w [SN037](#).

3.3 Nośność śrub kotwiących na rozciąganie

Model obliczeniowy szeregów śrub kotwiących podlegających rozciąganiu jest podobny do modelu śrub rozciąganych w blasze czołowej połączenia doczołowego obciążonego momentem zginającym. Biorąc to pod uwagę siły rozciągające w śrubach kotwiących nie powinny być większe niż:

- ❑ Nośność obliczeniowa rozciąganego T-stubu. Uwzględnia się tutaj trzy modele zniszczenia T-stubu, przedstawione w [Tab. 6.2 EN 1993-1-8](#). Można też stosować model łączący model 1 i [\(Tab. 6.2 EN 1993-1-8\)](#). Ten model zniszczenia występuje wtedy, gdy w połączeniu nie pojawia się efekt dźwigni, ze względu na brak kontaktu blachy i betonu wskutek wydłużania się śrub.
- ❑ Nośność obliczeniowa na rozciąganie środka słupa, w przypadku gdy rozpatruje się rzędy śrub kotwiących znajdujące się pomiędzy pasami trzonu słupa.

Sposób obliczeń (projektowania) jest identyczny jak w przypadku połączenia doczołowego, biorąc pod uwagę również fakt, że nośności śrub kotwiących zależy również od ich długości zakotwienia w fundamencie.

W uproszczonym modelu mechanicznym, nośność na rozciąganie jest określana tylko dla jednego szeregu śrub kotwiących.

W celu ułatwienia obliczeń, w przypadku szeregów śrub kotwiących znajdujących się po obydwu stronach środka trzonu słupa, zaleca się przyjęcie ekwiwalentnego, pojedynczego rzędu śrub o wytrzymałości na rozciąganie równej wytrzymałości zastępowanych rzędów śrub.

Nie zaleca się uwzględniać nośności większej liczby szeregów śrub przy określaniu nośności podstawy słupa obciążonej siłą osiową i momentem zginającym.

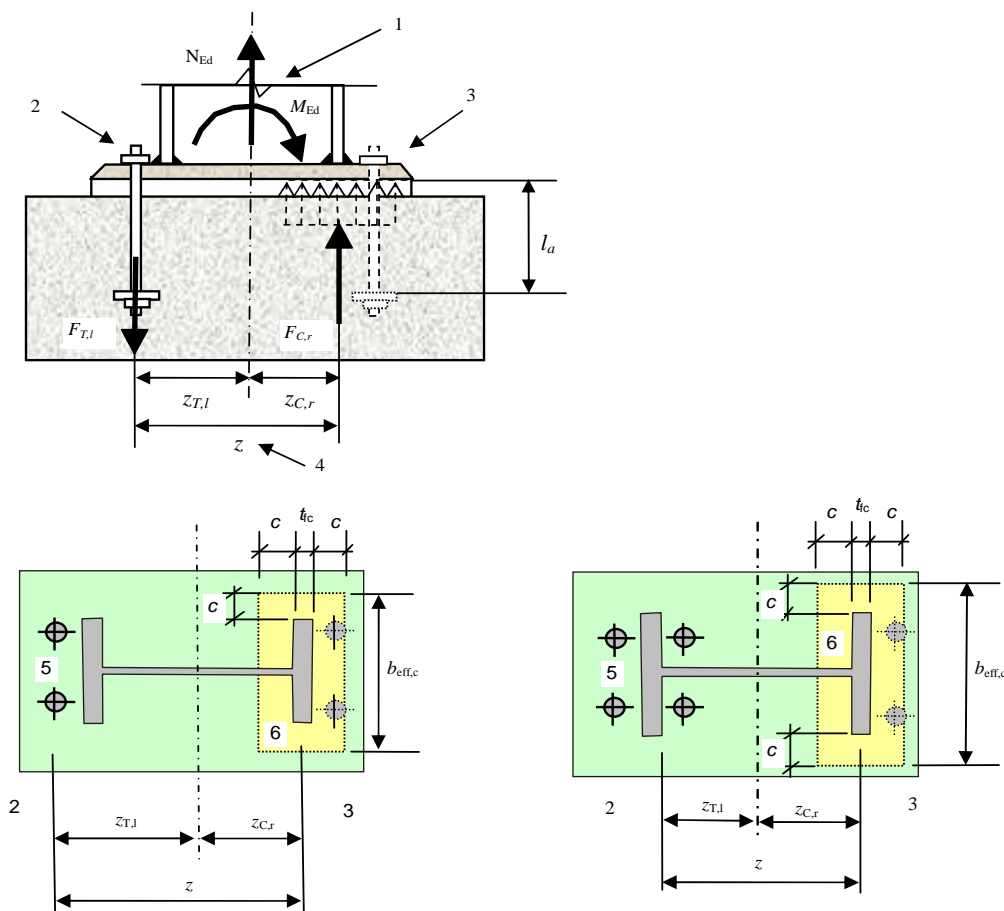
3.4 Zakres stosowania

Przedstawione zasady obliczeń ograniczają się do nieuzębrowanych podstaw słupów, przedstawionych na Rys. 1.1. Trzony tych słupów obciążone są siłą osiową i momentem zginającym działającym względem osi większej bezwładności przekroju trzonu słupa. Przyjęto że stosuje się dwie śruby kotwiące w pojedynczym szeregu.

EN 1992-1-1 nie podaje zasad obliczania podstaw na przyczepność. Nie jest zalecane stosowanie regół jak dla prętów żebrowanych w stosunku do prętów zakotwień. Nie ma też reguł dotyczących obliczania prętów z płytkami kotwiącymi. Będą one podane w załącznikach krajowych.

W niniejszym NCCI obliczeniową długość zakotwienia śruby kotwiącej, przyjęto jak dla pręta uźebrowanego, podzieloną przez współczynnik wynoszący 2,25. Jest to zgodne z zasadami obowiązującymi w niektórych krajach i z pierwszymi wersjami normy Eurocode 2.

Zgodnie z [EN 1993-1-8 §6.2.6.12\(5\)](#) granicę plastyczności stali z której wykonano śruby kotwiące (fajkowe) należy przyjmować nie większą niż 300 N/mm².



Oznaczenia:

- 1 Siła osiowa i moment zginający obciążające podstawę słupa (wartość dodatnią obciążenia przyjęto według EN 1993-1-8, siła rozciągająca jest dodatnia, moment zginający działający zgodnie z ruchem wskazówek zegara jest dodatni)
- 2 Lewa strona połączenia z rozciąganą śrubą kotwiącą: siła rozciągająca jest przenoszona przez T-stub składający się z blachy czołowej podstawy słupa i śrub kotwiących.
- 3 Prawa strona połączenia obciążona siłami ściskającymi: ściskany T-stub połączenia sprawdzany jest na siły docisku powstałe na skutek działania siły osiowej i momentu zginającego.
- 4 Ramię sił wewnętrznych, odległość pomiędzy siłą rozciągającą w śrubach kotwiących i wypadkową naprężeń docisku pod blachą czołową podstawy słupa.
- 5 Śruby kotwiące.
- 6 Pole powierzchni ściskanego T-stubu.

Rys. 3.2 Siły ściskające i rozciągające powstałe na skutek działania siły osiowej i momentu zginającego na podstawę słupa.

4. Sytuacja projektowa 1: Wymiarowanie blachy czołowej podstawy słupa obciążonej siłą osiową i momentem zginającym

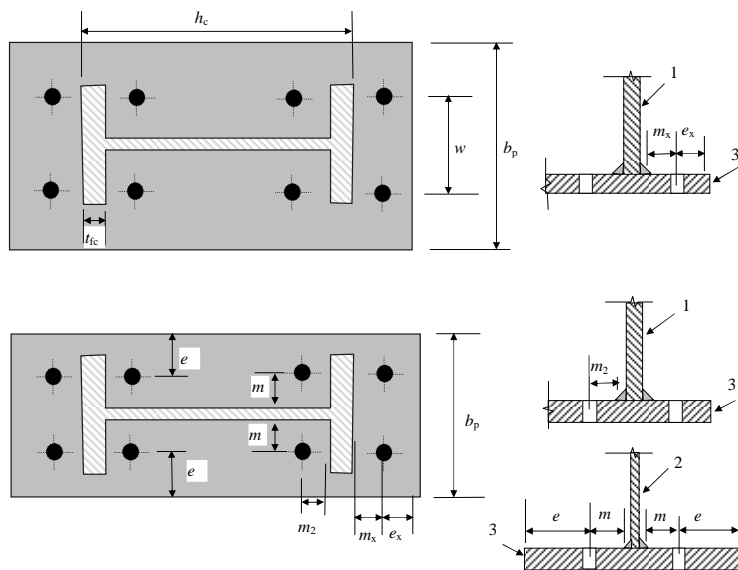
4.1 Wybór typu blachy czołowej

Z uwagi na wygodę rozmieszczenia śrub kotwiących po obydwu stronach trzonu słupa, zaleca się stosowanie blach czołowych z dużym wysięgiem. Blacha ta pozwala również na zwiększenie ramienia sił wewnętrznych w połączeniu, co powoduje redukcję sił rozciągających w śrubach kotwiących.

Poniżej zaprezentowano sposób wymiarowania symetrycznej podstawy słupa. Zastosowano w niej blachę czołową z dużym wysięgiem, co pokazano na Rys. 4.1. Śruby kotwiące rozmieszczono w sposób następujący:

- pojedynczy rząd śrub na wystającej części blachy,
- dwa rzędy śrub przypadające na pas (po jednym z każdej strony pasa).

W każdym rzędzie znajdują się dwie śruby kotwiące, rozmieszczone symetrycznie względem osi większej bezwładności przekroju trzonu słupa.



Oznaczenia:

1. Pas słupa
2. Średnik słupa
3. Blacha czołowa podstawy słupa

Rys. 4.1 Wymiary geometryczne rozciąganego T-stubu

4.2 Wybór materiału

Przed rozpoczęciem obliczeń należy przyjąć klasę betonu, kategorię wytrzymałościową stali z której wykonana jest blacha czołowa klasę śrub kotwiących. W przypadku typowych konstrukcji zazwyczaj przyjmuje się śruby klasy 4.6 lub rzadziej 8.8. Kategorie wytrzymałościowa stali blachy czołowej nie musi być taka sama jak trzonu słupa.

4.3 Przybliżone wyznaczenie maksymalnych wartości sił ściskających i rozciągających działających na fundament

Biorąc pod uwagę wszystkie kombinacje siły osiowej i momentu zginającego (N_{Ed} , M_{Ed}) obciążające podstawę słupa, maksymalne wartości sił ściskającej i rozciągającej, obciążające fundament wyznacza się według wzorów:

$$- \max(F_{C,Ed}) \text{ maksymalna wartość siły ściskającej } F_{C,Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{h_c - t_{fc}} - \frac{N_{Ed}}{2}$$

$$- \max(F_{T,Ed}) \text{ maksymalna wartość siły rozciągającej } F_{T,Ed} = \frac{|M_{Ed}|}{h_c - t_{fc}} + \frac{N_{Ed}}{2}$$

Uwaga: siła osiowa ma wartość dodatnią, jeżeli jest rozciągająca, ujemną jeżeli jest ściskająca; przyjęto oznaczenia N_{Ed} , M_{Ed} , N_{Rd} , i M_{Rd} odpowiednio jako $N_{j,Ed}$, $M_{j,Ed}$, $N_{j,Rd}$ i $M_{j,Rd}$.

4.4 Wymiarowanie blachy czołowej ze względu na maksymalną ściskającą siłę osiową

W celu określenia nośności blachy czołowej podstawy słupa obciążonej osiową siłą ściskającą należy stosować procedurę przedstawioną w Rozdziale 4 [SN037](#). Obciążenie ściskające przyjmuje się według wzoru:

$$N_{j,Ed} = 2 \max(F_{C, Ed})$$

Przyjęto blachę typu z dużym wysięgiem. Jako wynik obliczeń otrzymano wymiary blachy czołowej – szerokość i wysokość (b_p , h_p) i grubość (t_p).

4.5 Określenie grubości blachy czołowej i średnicy śrub kotwiących ze względu na obciążenie podstawy słupa osiową siłą rozciągającą

4.5.1 Nośność śrub kotwiących

Nośność śrub kotwiących i nośność części rozciąganej podstawy słupa

Uwzględniając różne modele zniszczenia rozciąganego T-stubu, nośność obliczeniową śrub kotwiących należy przyjmować jako wartość monimalną z:

□ Nośność obliczeniowa zakotwienia:

- Średnica śruby $\phi \leq 32$ mm: $F_{t,bond,Rd} = \frac{1}{2,25} (\pi \phi l_b f_{bd})$,
- Średnica śruby $\phi > 32$ mm: $F_{t,bond,Rd} = \frac{(132 - \phi) / 100}{2,25} (\pi \phi l_b f_{bd})$.

Gdzie l_b jest podstawową długością zakotwienia trzpienia śruby i f_{bd} jest obliczeniową przyczepnością pręta do betonu w strefie zakotwienia zgodnie z ([§8.4.2\(2\) of EN 1992-1-1](#)).

- *Uwaga: EN 1992-1-1 specyfikuje wytrzymałość obliczeniową pręta do betonu w strefie zakotwienia tylko dla prętów uźebrowanych. W niniejszym NCCI przyjęto, że wartość obliczeniowej przyczepności pręta do betonu w strefie zakotwienia dla pręta gładkiego, jako wartość z [§8.4 of EN 1992-1-1](#) podzieloną przez współczynnik 2,25.*

- nośność obliczeniowa na rozciąganie przekroju śruby kotwiącej, $F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb,traction}}$

Aneks A dołączony do niniejszego NCCI zawiera wartości nośności obliczeniowej zakotwienia śrub kotwiących różnych średnic (śruby klasy 4.6), jako funkcję długości zakotwienia trzpienia śruby w fundamencie.

Redukcję długości zakotwienia trzpienia śruby w fundamencie stosuje się, gdy trzpień śruby jest zakrzywiony (śruby fajkowe). Ponieważ ekwiwalentna długość zakotwienia nie jest podana w EN 1993-1-1, konieczne jest zaadoptowanie zasad podanych w istniejących normach krajowych.

Ostateczny wybór rodzaju śrub kotwiących i szczegółów zakotwienia zależy od wysokości fundamentu.

Nośność obliczeniową pojedynczej śruby kotwiącej wyznacza się według wzoru:

$$F_{t,anchor,Rd} = \min[F_{t,bond,Rd} ; F_{t,Rd}]$$

Rozmiar śruby kotwiącej

Aby uniknąć trzeciego modelu zniszczenia połączenie (zerwanie trzpieni śrub), nośność śrub kotwiących musi spełniać następujący warunek:

$$2F_{t,anchor,Rd} \geq \max(F_{T,Ed})$$

W pierwszym przybliżeniu, przyjmuje się, że śruby kotwiące osiągają pełną nośność na rozciąganie: $F_{t,anchor,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$. Wymagane pole powierzchni trzpieni śrub wynosi:

$$A_s \geq F_{T,Ed} \left(\frac{\gamma_{M2}}{1,8 f_{ub}} \right) \text{ i na tej podstawie wyznacza się liczbę i średnicę śrub.}$$

Dwa rzędy śrub kotwiących

W przypadku gdy stosuje się dwa rzędy śrub kotwiących, pole powierzchni trzpieni śrub wyznacza się według wzoru:

$$A_s \geq F_{T,Ed} \left(\frac{\gamma_{M2}}{3,6 f_{ub}} \right)$$

Końcowe sprawdzenie nośności śrub kotwiących wykonuje się, gdy zostanie przyjęta długość zakotwienia trzpieni śrub i szczegóły konstrukcyjne połączenia. Doświadczenia i praktyka inżynierska związana z projektowaniem fundamentów pozwalają projektantowi na wybór odpowiedniego typu śrub kotwiących. Jeżeli dla danej średnicy i klasy śruby kotwiącej nie może być zapewniona odpowiednia długość zakotwienia trzpienia śruby, konieczne jest przyjęcie mniejszej nośności śruby, niż nośność wynikająca z pola powierzchni jej trzpienia.

4.5.2 Nośność obliczeniowa rozciąganego T-stubu z dwoma rzędami śrub kotwiących

Grubość blachy czołowej

Grubość blachy czołowej t_p wyznaczona na podstawie wymiarowania ściskanej części podstawy słupa, może być niewystarczająca.

Bazując na 1 modelu zniszczenia (uplastycznienie blachy czołowej), grubość blachy czołowej wyznacza się według wzorów (Rys. 4.1):

$$\text{Jeden rząd śrub kotwiących: } t_p \geq \sqrt{\frac{F_{T,Ed} \gamma_{M0}}{f_{yp} 2\pi}}$$

$$\text{Dwa rzędy śrub kotwiących: } t_p \geq \sqrt{\frac{F_{T,Ed} \gamma_{M0}}{f_{yp} 4\pi}}$$

4.6 Sprawdzenie nośności podstawy słupa

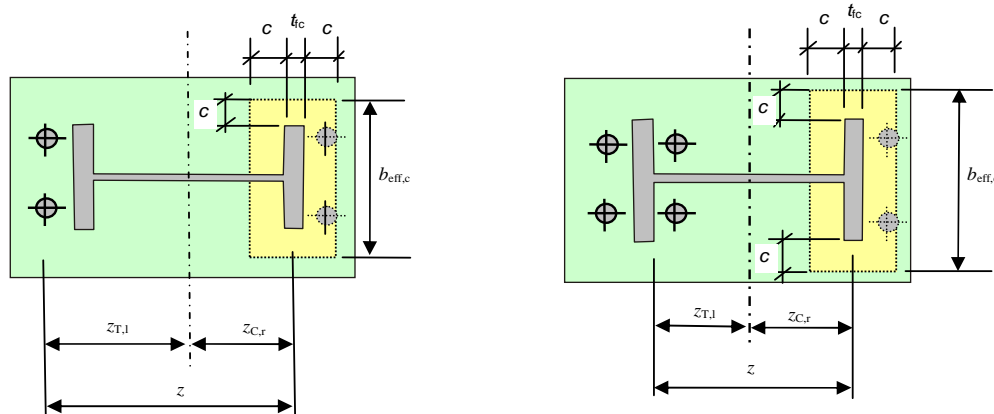
Sprawdzenie nośności obliczeniowej podstawy słupa przeprowadza się zgodnie z zasadami przedstawionymi w Rozdziale 5. W razie konieczności należy przeprowadzić niezbędne modyfikacje polegające na korekcie wymiarów blachy czołowej podstawy lub śrub kotwiących.

5. Sytuacja projektowa 2: Określenie nośności obliczeniowej blachy czołowej

5.1 Typ połączenia

Przyjęto połączenie symetryczne z jednym lub dwoma rzędami śrub kotwiących (dwie śruby w rzędzie) po każdej ze stron połączenia (patrz Rys. 5.1).

Uwaga: W przypadku połączenia symetrycznego, odległości $z_{T,l} = z_{T,r} = z_T$ i $z_{C,l} = z_{C,r} = z_C$.



Rys. 5.1 Strefa ściskana i śruby kotwiące w podstawie słupa.

5.2 Sprawdzenie nośności śrub kotwiących

Nośność obliczeniowa śruby kotwiącej, $F_{t,anchor,Rd}$, wyznaczona zgodnie z 4.5.1 wynosi:

$$F_{t,anchor,Rd} = \min[F_{t,bond,Rd} ; F_{t,Rd}]$$

5.3 Wyznaczenie nośności ze względu na osiową siłę ściskającą

Nośność podstawy słupa ze względu na ściskającą siłę osiową wyznacza się zgodnie z Rozdziałem 5 ? [SN037](#), pod warunkiem, że podstawa słupa nie jest obciążona momentem zginającym.

Obliczenia te dostarczają pierwszych wskazówek dotyczących kombinacji obciążeń w postaci momentu zginającego i siły osiowej działających na połączenie.

Należy zaznaczyć, że jeżeli część osiowego obciążenia ściskającego jest przenoszona przez T-stub reprezentujący środek słupa, wyznaczona nośność jest większa niż suma nośności wyznaczonych przy wzięciu pod uwagę ściskane T-stuby reprezentujące pasy trzonu słupa. W EN 1993-1-8 przedstawiono uproszczony model (biorący pod uwagę tylko nośność T-stubów reprezentujących pasy trzonu słupa) służący do wyznaczania nośności podstawy słupa obciążonej osiową siłą ściskającą.

Nośność każdego ze ściskanych T-stubów oznaczono jako $F_{C,Rd}$. Nośność podstawy słupa wyznacza się na podstawie nośności T-stubów, jako:

$$N_{C,Rd} = -(2 F_{C,Rd}), \text{ - wartość ujemna, jeżeli siła jest ściskająca.}$$

5.4 Określenie nośności podstawy słupa ze względu na siłę rozciągającą

W przypadku tym wyznacza się nośność śrub kotwiących ze względu na rozciąganie.

Efektywna długość T-stubu

Możliwe modele zniszczenia rozciąganych T-stubów pokazano schematycznie na Rys. 5.2. Długość efektywną T-stub przyjmuje się według wzorów (wymiarów geometrycznych jak Rys. 4.1):

☐ Zewnętrzny rząd śrub:

○ Mechanizmy kołowe: $l_{eff,cp} = \min[(2\pi m); (\pi m_x + w), (\pi m_x + 2e)]$

○ Mechanizmy niekołowe:

$$l_{eff,nc} = \min[0,5b_p; (4m + 1,25e_x); (e + 2m_x + 0,625e_x); (0,5w + 2m_x + 0,625e_x)]$$

Model 1, długość efektywna T-Stubu: $l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp} : l_{eff,nc})$

Model 2, długość efektywna T-Stubu: $l_{eff,2} = l_{eff,nc}$

☐ Wewnętrzny rząd śrub

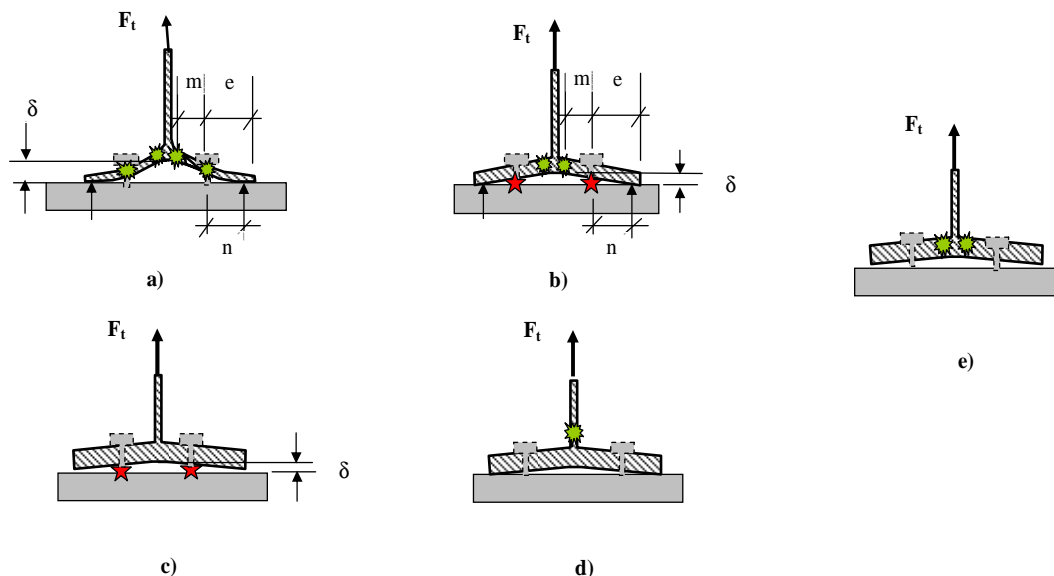
○ Mechanizmy kołowe: $l_{eff,cp} = 2\pi m$

○ Mechanizmy niekołowe $l_{eff,nc} = (4m + 1,25e)$

Model 1, długość efektywna T-Stubu: $l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp} : l_{eff,nc})$

Model 2, długość efektywna T-Stubu: $l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},nc}$

W przypadku przedstawionym na Rys. 5.2 e), efektywną długość T-stubu wyznacza się jak dla pierwszego modelu zniszczenia (Rys. 5.2 a)).



Oznaczenia:

- a) Plastyczny model zniszczenia (Model 1),
- b) Częściowo plastyczny model i zerwanie trzpieni śrubial (Model 2),
- c) Zerwanie trzpieni śrub (Model 3),
- d) Uplastycznienie środnika (Model 4),
- e) Uplastycznienie w pasach w przypadku odrywania się blachy podstawy od fundamentu.

Rys. 5.2 **Możliwe modele zniszczenia rozciąganego T-stubu**

Specjalny model zniszczenia zastępujący Modele 1 i 2 jest możliwy wtedy, gdy następujące warunki dotyczące długości trzpienia śruby są spełnione:

$$L_b > L_b^* = \frac{8,8A_s}{l_{\text{eff},1}} \left[\frac{m}{t_p} \right]^3$$

Gdzie odległość m pokazano na Rys. 5.2 a) efektywna długość T-stubu l_{eff} wynosi jak wyżej.

Nośność T-stubów na rozciąganie

W punkcie tym przedstawiono sposób określenia nośności T-stubów obciążonych rozciągającą siłą osiową. Nośność obliczeniową rzędu rozciąganych śrub kotwiących wyznacza się jako najmniejszą wartość określoną dla modeli zniszczenia jak na Rys. 5.2 i oznacza jako $F_{t, \text{anchor}, Rd}$.

Nośność ze względu na uplastycznienie: $M_{pl,Rd} = l_{\text{eff}} m_{pl,Rd} = l_{\text{eff}} \frac{t_p^2 f_y}{4\gamma_{M0}}$.

Wartość ta może się różnić dla modeli zniszczenia oznaczonych jako Model 1 (z $l_{\text{eff},1}$) i Model 2 (z $l_{\text{eff},2}$).

Nośność rozciąganych T-stubów obciążonych siłą $F_{t,Rd}$ określa się jako wartość najmniejszą z

- Model 1: $F_{t,1,Rd} = \frac{4M_{pl,Rd,1}}{m}$
- Model 2: $F_{t,2,Rd} = \frac{2M_{pl,Rd,2} + 2nF_{t,anchor,Rd}}{m+n}$, $n = \min(e; 1,25m)$
- Modele 1-2: Jeżeli warunki wymagają przyjęcia specjalnych modeli zniszczenia, nośność dla modelu zniszczenia 1 i 2 zastępuje się przez:
 - : $F_{t,1/2,Rd} = \frac{2M_{pl,Rd,1}}{m}$.
- Model 3: Zerwanie trzpienia śruby $F_{t,3,Rd} = 2F_{t,anchor,Rd}$
- Model 4: Dla wewnętrznego rzędu śrub, nośność środka słupa na rozciąganie:

$$F_{t,wc,Rd} = b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

Nośność wszystkich rzędów śrub kotwiących znajdujących się po rozciąganej stronie połączenia wyznacza się według wzoru:

$$F_{T,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

Sumowanie dotyczy jeden lub dwa rzędy rząd śrub po rozciąganej stronie połączenia.

Nośność ze względu na rozciągającą siłę osiową

Nośność połączenia symetrycznego na rozciąganie wyznacza się według wzoru:

$$N_{T,Rd} = 2 F_{T,Rd}$$

Wzór ten jest ważny, gdy nie występuje obciążenie w postaci momentu zginającego.

5.5 Nośność ze względu na moment zginający

Jeżeli nie występuje obciążenie w postaci siły osiowej, nośność połączeń symetrycznych ze względu na moment zginający wyznacza się jako wartość minimalną według wzoru:

$$M_{0,Rd} = \min (z F_{T,Rd} : z F_{C,Rd}), \text{ gdzie ramię sił wewnętrznych wynosi } z = z_T + z_C$$

5.6 Kombinacje siły osiowej i momentu zginającego

W przypadku, gdy podstawa słupa jest obciążona kombinacją siły osiowej i momentu zginającego (M_{Ed} , N_{Ed}), sprawdzenie nośności ogranicza się do następujących kroków:

- a) Rozkład naprężeń w przekroju poprzecznym trzonu słupa dostarcza informacji na temat rodzaju obciążenia działającego na podstawę słupa. Pozwala to ustalić rozkład obciążeń na podstawie według [tab. 6.7 of EN 1993-1-8](#).

- b) Wielkość mimośrodów siły osiowej określa się dla danej kombinacji obciążeń (M_{Ed} , N_{Ed}) według wzoru $e_N = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$ for the applied combination is (M_{Ed} , N_{Ed}). W zależności od znaku momentu zginającego i siły osiowej, wartość mimośrodu może być dodatnia albo ujemna.
- c) Nośność rzędu śrub rozciąganego T-stubu $F_{T,Rd}$, wyznacza się zgodnie z punktem 5.3 dokumentu. Ponieważ połączenie jest symetryczne nośność obliczeniowa na rozciąganie jest taka sama dla obydwu stron podstawy słupa. (Obliczeń tych nie wykonuje się, gdy cały przekrój jest ściskany).
- d) Nośność T-stubu imitującego ściskany pas trzonu słupa $F_{C,Rd}$ wyznacza się zgodnie z punktem 5.2 dokumentu. Ponieważ połączenie jest symetryczne nośność obliczeniowa na ściskanie jest taka sama dla obydwu stron podstawy słupa. (Obliczeń tych nie wykonuje się, gdy cały przekrój jest rozciągany).
- e) Wymiary geometryczne podstawy słupa, a w szczególności ramię sił wewnętrznych wyznacza się jak pokazano na Rys. 5.1. Z uwagi na symetrię połączenia: $z_{T,l} = z_{T,r} = z_T$ i $z_{C,l} = z_{C,r} = z_C$.
- f) Sprawdzenie czy momenty, M_{Ed} i M_{Rd} , są tych samych znaków i czy $|M_{Ed}| \leq |M_{Rd}|$. Jeżeli tak, nośność połączenia jest zachowana.

Wzory przedstawione w Table 5.1 dotyczą połączeń symetrycznych i zostały przyjęte na podstawie [table 6.7 of EN 1993-1-8](#).

Tab. 5.1 Nośność obliczeniowa ze względu na moment zginający M_{Rd}

Obciążenie	Ramię sił wewnętrznych z	Nośność ze względu na moment zginający M_{Rd}	
Rozciąganie z lewej strony	$z = z_{T,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} > 0$ i $e > z_{T,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ i $e \leq -z_{C,r}$
Ściskanie z prawej strony	$z = z_T + z_C$	Wartość mniejsza z $\frac{F_{T,Rd}z}{z_C/e+1}$ i $\frac{-F_{C,Rd}z}{z_T/e+1}$	
Rozciąganie z lewej strony	$z = z_{T,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ i $0 < e < z_{T,l}$	$N_{Ed} > 0$ i $-z_{T,r} < e \leq 0$
Rozciąganie z prawej strony	$z = z_T + z_T$	Wartość mniejsza z $\frac{F_{T,Rd}z}{z_T/e+1}$ i $\frac{F_{T,Rd}z}{z_T/e-1}$	
Ściskanie z lewej strony	$z = z_{C,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ i $e \leq -z_{T,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ i $e > z_{C,l}$
Rozciąganie z prawej strony	$z = z_C + z_T$	Wartość mniejsza z $\frac{-F_{C,Rd}z}{z_T/e+1}$ i $\frac{F_{T,Rd}z}{z_C/e-1}$	
Ściskanie z lewej strony	$z = z_{C,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ i $0 < e < z_{C,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ i $-z_{C,r} < e \leq 0$
Ściskanie z prawej strony	$z = z_C + z_C$	Wartość mniejsza z $\frac{-F_{C,Rd}z}{z_C/e+1}$ i $\frac{-F_{C,Rd}z}{z_C/e-1}$	

$M_{Ed} > 0$ gdy działa zgodnie z ruchem wskazówek zegara, $N_{Ed} > 0$ gdy rozciągająca, $e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$

Wzory podane wyżej dotyczą połączeń symetrycznych, więc: $z_{T,l} = z_{T,r} = z_T$ i $z_{C,l} = z_{C,r} = z_C$

Jeżeli $|M_{Ed}| \leq |M_{Rd}|$ nośność połączenia jest zachowana.

5.7 Interakcja siły osiowej i momentu zginającego

Gdy podstawa słupa obciążona momentem zginającym i siłą osiową osiąga swoją nośność, to:

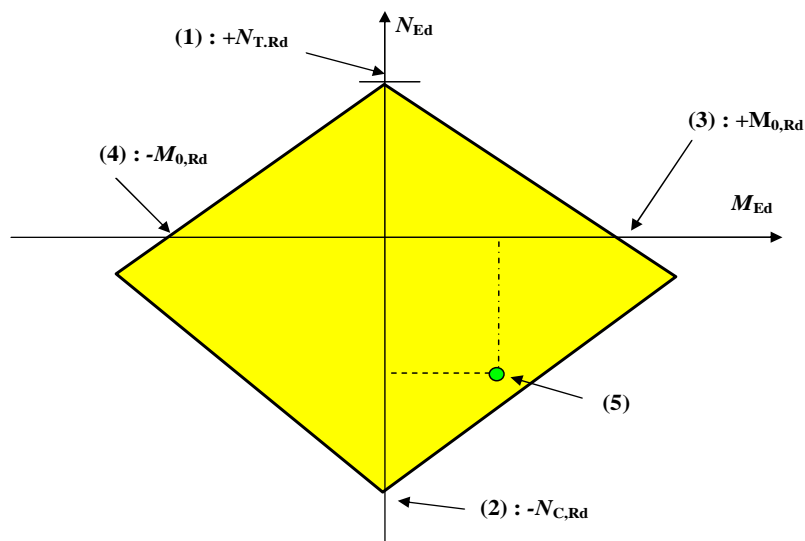
$$M_{Ed} = M_{Rd}$$

$$N_{Ed} = N_{Rd}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}}$$

Wykres pokazany na Rys. 5.3 wykonano dla połączenia symetrycznego z dwoma szeregami śrub po każdej stronie połączenia, przyjęto że odległości od osi większej bezwładności przekroju trzonu słupa do środka ściskanego T-stubu reprezentującego pas i do środka strefy rozciąganej (z_C i z_T) są równe. Gdy odległości te nie są równe, wyznaczone pole będzie się różnić nieznacznie od zaprezentowanego na wykresie.

Opracowano różne typy wykresów przedstawiających interakcję siły osiowej i momentu zginającego. Pozwala ona na szybkie sprawdzenie kombinacji obciążeń działających na podstawę słupa. Wszystkie dopuszczalne kombinacje obciążeń spełniające warunki nośności znajdują się we wnętrzu opracowanego wykresu.



Oznaczenia:

- | | |
|---|---|
| 1) Nośność ze względu na rozciąganie osiowe | 4) Nośność ze względu na ujemny moment zginający |
| 2) Nośność ze względu na ujemną siłę | 5) Dopuszczalne kombinacje momentu zginającego i siły osiowej |
| 3) Nośność ze względu na dodatni moment zginający | |

Rys. 5.3 Podstawa słupa: Wykres interakcji momentu zginającego i siły osiowej

Tab. 5.2 Interakcja nośności obliczeniowych N_{Rd} i M_{Rd}

Obciążenie	Ramię sił wewnętrznych z	Nośność obliczeniowa M_{Rd} odpowiadająca N_{Rd}	
Rozciąganie z lewej strony	$z = z_T + z_C$	$0 \leq N_{Rd}$ i $e > z_T$	$N_{Rd} \leq 0$ i $e \leq -z_C$
Ściskanie z prawej strony		Decyduje nośność strefy ściskanej: $M_{Rd} = -N_{C,Rd} \frac{z}{2} + N_{Rd} z_T$	Decyduje nośność strefy ściskanej: $M_{Rd} = -N_{C,Rd} \frac{z}{2} + N_{Rd} z_T$
Dominacja dodatniego momentu zginającego z obciążeniem ściskającym lub rozciągającym (Rys. 5.1)		Decyduje nośność strefy rozciąganej: $M_{Rd} = N_{T,Rd} \frac{z}{2} - N_{Rd} z_C$	Decyduje nośność strefy rozciąganej: $M_{Rd} = N_{T,Rd} \frac{z}{2} + N_{Rd} z_C$
Obie strony		$N_{Rd} > 0$ i $0 < e < z_T$	$N_{Rd} > 0$ i $-z_T < e \leq 0$

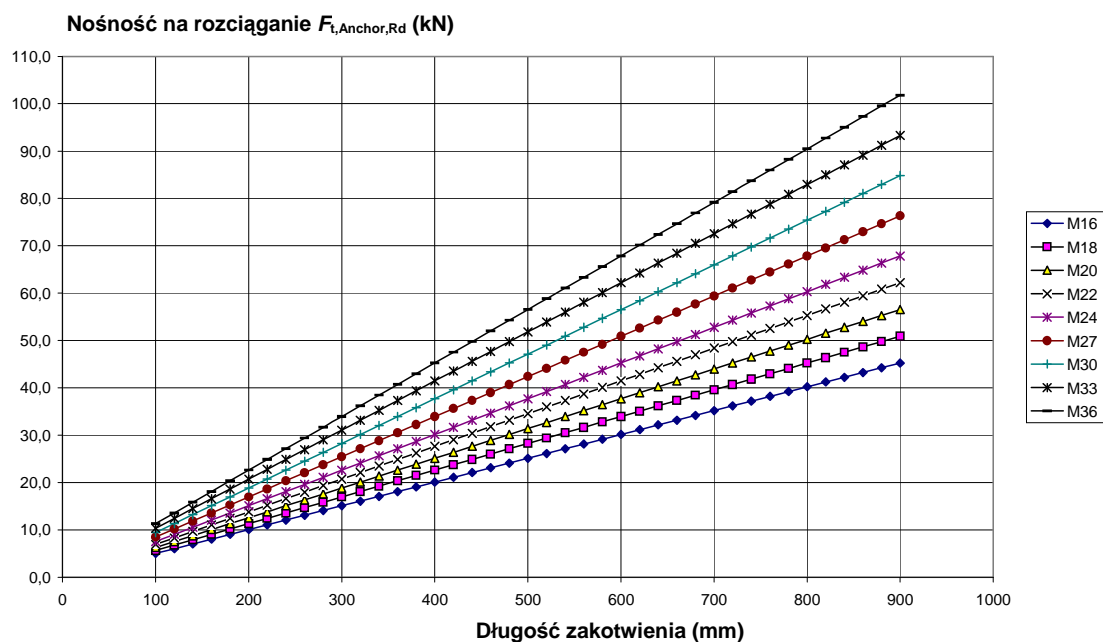
rozciągane Dominacja rozciągającego obciążenia osiowego z momentem zginającym dodatnim lub ujemnym	$z = 2 z_T$	$M_{Rd} = (N_{T,Rd} - N_{Rd}) \frac{z}{2}$	$M_{Rd} = -(N_{T,Rd} - N_{Rd}) \frac{z}{2}$
Ściskanie z lewej strony Rozciąganie z prawej strony Dominacja ujemnego momentu zginającego z obciążeniem ściskającym lub rozciągającym	$z = z_C + z_T$	$0 \leq N_{Rd}$ and $e \leq -z_T$ Decyduje nośność strefy ściskanej: $M_{Rd} = N_{C,Rd} \frac{z}{2} - N_{Rd} z_T$ Decyduje nośność strefy rozciąganej: $M_{Rd} = -N_{T,Rd} \frac{z}{2} + N_{Rd} z_C$	$N_{Rd} \leq 0$ and $e > z_C$ Decyduje nośność strefy ściskanej: $M_{Rd} = N_{C,Rd} \frac{z}{2} - N_{Rd} z_T$ Decyduje nośność strefy rozciąganej: $M_{Rd} = -N_{T,Rd} \frac{z}{2} + N_{Rd} z_C$
Obie strony ściskane. Dominacja osiowej siły ściskającej momentem zginającym dodatnim lub ujemnym	$z = 2 z_C$	$N_{Rd} \leq 0$ i $0 < e < z_C$ $M_{Rd} = (N_{C,Rd} - N_{Rd}) \frac{z}{2}$	$N_{Rd} \leq 0$ i $-z_C < e \leq 0$ $M_{Rd} = -(N_{C,Rd} - N_{Rd}) \frac{z}{2}$
$M_{Ed} > 0$ gdy działa zgodnie z ruchem wskazówek zegara, $N_{Ed} > 0$ gdy rozciągająca, $e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$ Wzory podane wyżej dotyczą połączeń symetrycznych, więc: $z_{T,l} = z_{T,r} = z_T$ i $z_{C,l} = z_{C,r} = z_C$ Jeżeli $ M_{Ed} \leq M_{Rd} $ nośność połączenia jest zachowana.			

Aneks A: Nośność obliczeniowa śrub kotwiących

Norma EN 1992-1-1 przedstawia wytyczne dotyczące zakotwienia śrub kotwiących wykonanych z prętów żebrowanych. Nie przedstawia natomiast wytycznych dotyczących zakotwień śrub wykonanych z prętów gładkich, które są często stosowane.

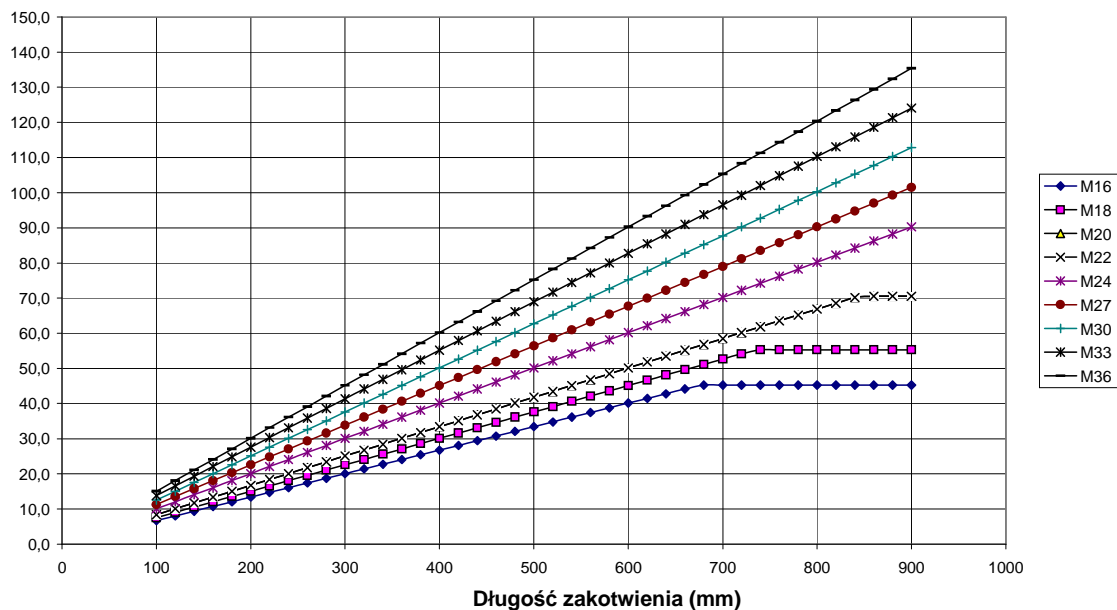
W tym dokumencie przyjęto, że wartości obliczeniowe nośności zakotwienia śrub wykonanych z prętów gładkich wyznacza się na podstawie nośności zakotwień śrub wykonanych z prętów żebrowanych (według §8.4 of EN 1992-1-1), dzieląc je przez współczynnik 2,25.

Poniższe wykresy przedstawiają zależność pomiędzy nośnością zakotwienia śrub kotwiących a długością ich zakotwienia w betonie. Przyjęto, że śruby są klasy 4.6 i 5.6.



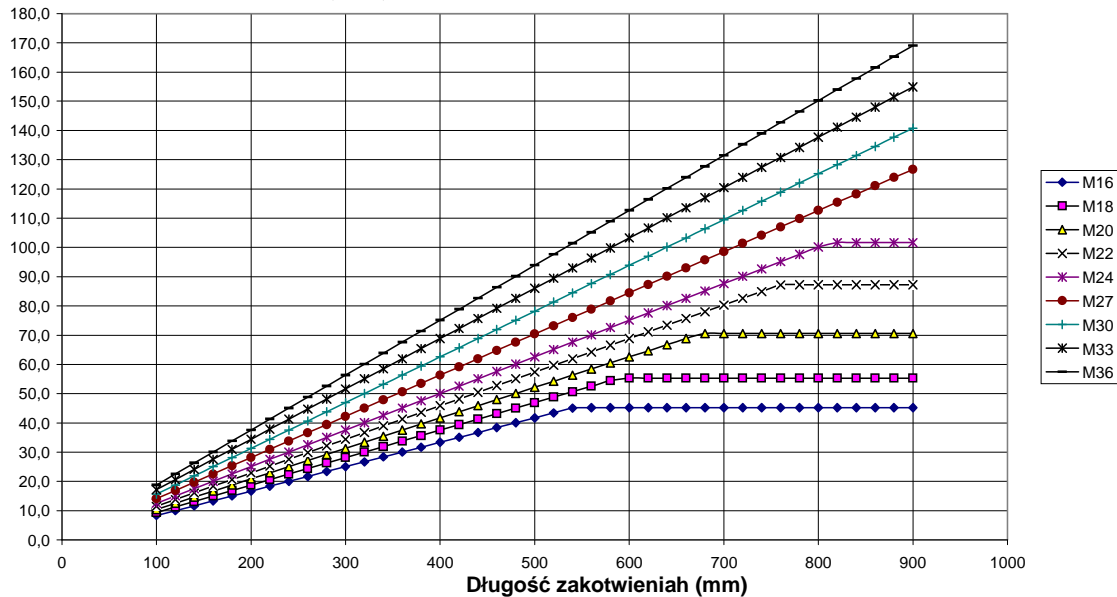
Rys A.1 Nośność zakotwienia śrub kotwiących – śruba klasy 4.6, beton C20/25

Nośność na rozciąganie $F_{t,Anchor,Rd}$ (kN)

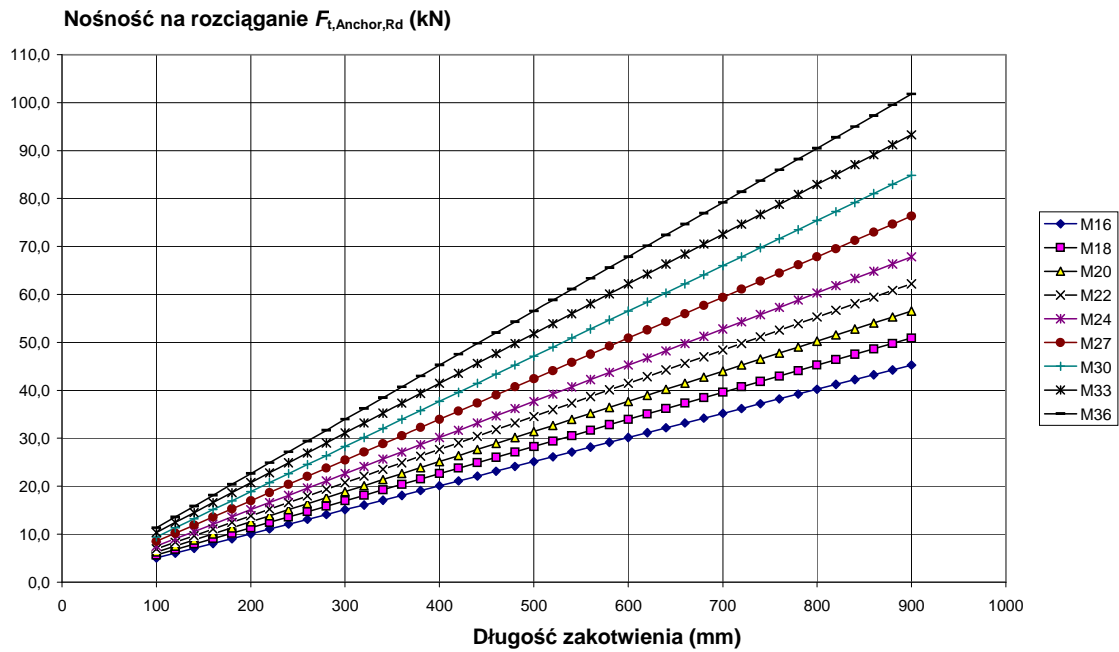


Rys A.2 Nośność zakotwienia śrub kotwiących – śruba klasy 4.6, beton C30/37

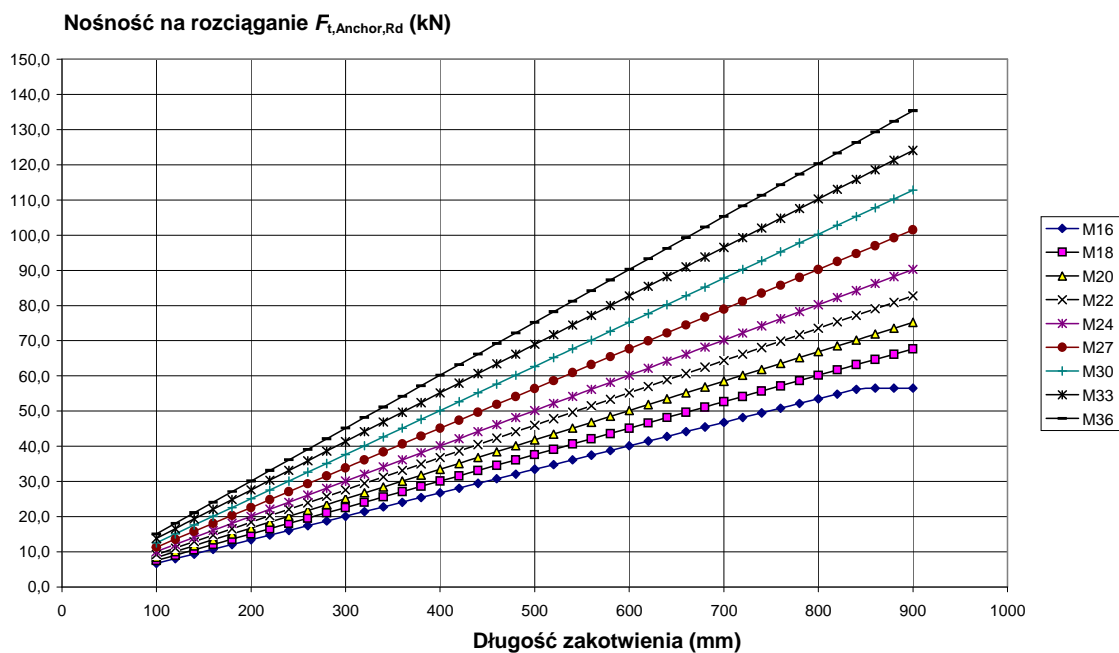
Nośność na rozciąganie $F_{t,Anchor,Rd}$ (kN)



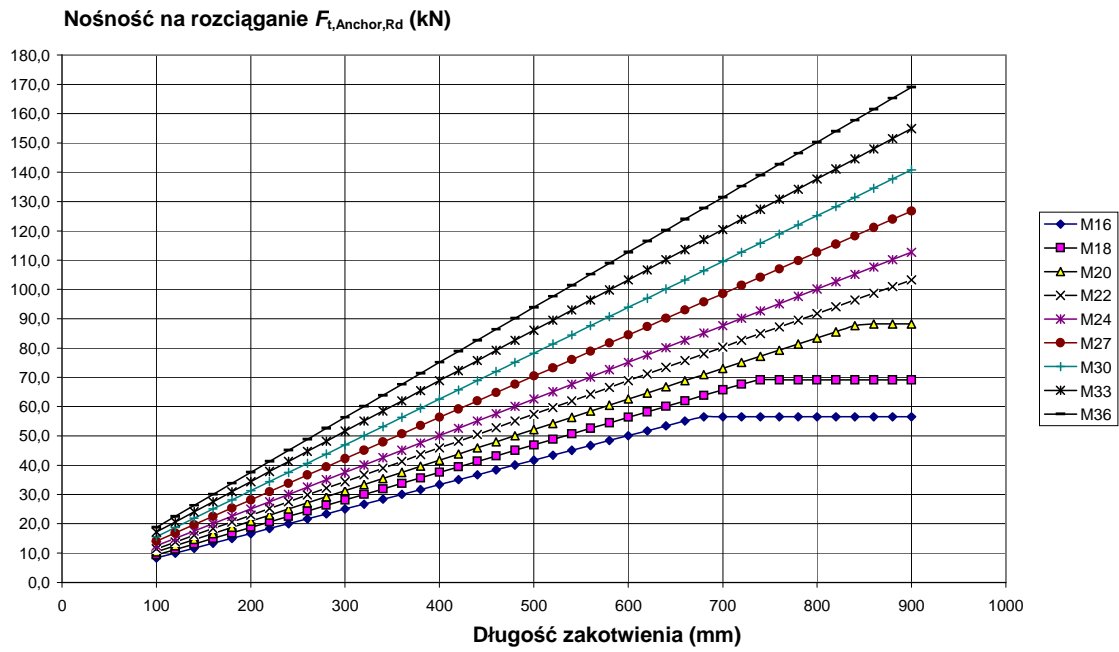
Rys A.3 Nośność zakotwienia śrub kotwiących – śruba klasy 4.6, beton C40/50



Rys A.4 *Nośność zakotwienia śrub kotwiących – śruba klasy 5.6, beton C20/25*



Rys A.5 *Nośność zakotwienia śrub kotwiących – śruba klasy 5.6, beton C40/50*



Rys A.6 *Nośność zakotwienia śrub kotwiących – śruba klasy 5.6, beton C40/50*

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU	Informacje uzupełniające: Projektowanie podstawy słupa		
Odniesienie(a)			
ORYGINAŁ DOKUMENTU			
	Name	Company	Date
Stworzony przez	Ivor Ryan	CTICM	06/02/2006
Zawartość techniczna sprawdzona przez	Alain Bureau	CTICM	06/02/2006
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez			
Techniczna zawartość zaaprobowana przez następujących partnerów STALE:			
1. UK	G W Owens	SCI	07/04/06
2. France	A Bureau	CTICM	07/04/06
3. Sweden	B Uppfeldt	SBI	07/04/06
4. Germany	C Müller	RWTH	07/04/06
5. Spain	J Chica	Labein	07/04/06
Zasób zatwierdzony przez technicznego koordynatora	G W Owens	SCI	18/08/06
DOKUMENT TŁUMACZONY			
Tłumaczenie wykonane przez:		A. Wojnar, PRz	
Przetłumaczony zasób zatwierdzony przez:		A. Kozłowski, PRz	

Informacje ramowe

Tytuł*	Informacje uzupełniające: Projektowanie podstawy słupa	
Seria		
Opis*	W tym dokumencie przedstawiono zasady dotyczące projektowania podstaw słupów utwierdzonych. Zasady te ograniczają się do symetrycznych, nieusztynwionych podstaw słupów których trzon wykonany jest z profili dwuteowych i obciążony siłą osiową, siłą poprzeczną i momentem zginającym działającym względem osi większej bezwładności słupa. Przedstawione zasady mogą być w ograniczonym zakresie zastosowane w przypadku określania nośności podstaw słupów, których trzon wykonany jest z innych typów kształtowników.	
Poziom dostępu*	Ekspertyza	Praktyka
Identyfikator*	Nazwa pliku	C:\Documents and Settings\awojnar\Moje dokumenty\2009\Access Steel\2009-04-08!_SN\043\SN043a-PL-EU.doc
Format		Microsoft Office Word; 24 Pages; 1396kb;
Kategoria*	Tytuł zasobu	Informacje uzupełniające
	Punkt widzenia	Inżynier
Przedmiot*	Obszar zastosowania	Budynki jednokondygnacyjne
Daty	Data utworzenia	10/04/2006
	Data ostatniej modyfikacji	10/04/2006
	Data sprawdzenia	10/04/2006
	Ważny od	
	Ważny do	
Język(i)*		Polski
Kontakt	Autor	Ivor Ryan, CTICM
	Sprawdzony przez	Alain Bureau, CTICM
	Zatwierdzony przez	
	Redaktor	
	Ostatnio modyfikowany przez	
Słowa kluczowe*	Podstawa słupa	
Zobacz też	Odniesienie do Eurocodu	EN 1993-1-8, EN 1992
	Przykład(y) obliczeniowy	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inne	
Omówienie	Narodowa przydatność	EU
Szczególne instrukcje		