

Informacje uzupełniające: Projektowanie kratownic dachowych

Ten dokument zajmuje się kilkoma specjalnymi przypadkami, jakie mogą występować podczas projektowania kratownic dachowych. Np. jak traktować brak osiowego przekazywania się sił w połączeniach, przyłożenie obciążeń nie w węzłach konstrukcji, obciążenia zmiennoznakowe, itp.

Spis treści

1. Wprowadzenie	2
2. Projektowanie pasa górnego	2
3. Projektowanie pasa dolnego	5
4. Projektowanie prętów skratowania	10
5. Mimośrodowość	10
6. Węzły podporowe kratownicy i styki montażowe	12
7. Literatura	13

1. Wprowadzenie

W tradycyjnej analizie przyjmuje się, że obciążenia przyłożone są do węzłów kratownicy, a wszystkie węzły kratownicy są traktowane jak przeguby. Chociaż założenie to nie jest do końca prawdziwe, gdyż pasy górny i dolny są elementami ciągłymi, a pręty skratowania są zazwyczaj łączone z pasami za pomocą spawania, to jednak siły osiowe w prętach kratownicy są wyznaczone przy założeniu, że węzły kraty są połączeniami przegubowymi. W sytuacji, gdy pas górny kratownicy jest wykonany z kształtowników charakteryzujących się dużą wysokością, a wysokość kratownicy jest stosunkowo niewielka, powinno się uwzględniać wpływ momentów zginających, spowodowanych uwzględnieniem w obliczeniach ciągłości pasa kratownicy. Należy jednak zaznaczyć, że obliczenia uwzględniające ten fakt są w praktyce inżynierskiej dość rzadko stosowane. Wpływ momentów zginających jest uwzględniany w inny sposób, co zostało przedstawione w prezentowanym przykładzie.

Ten dokument dotyczy swobodnie podpartych kratownic dachowych Rys. 2.1.

Biorąc pod uwagę założenia przedstawione w poprzednim paragrafie obliczenia statyczne kratownic są zagadnieniem nieskomplikowanym i nie są przedmiotem rozważań w tym dokumencie. Należy jednak pamiętać, że obliczenia te mogą się skomplikować, gdy:

- Przekrycie dachowe jest zamocowane bezpośrednio do pasa kratownicy lub jeśli w przypadku stosowania płatwi są one zamocowane nie tylko w węzłach kratownicy, ale i pomiędzy nimi, co powoduje pojawienie się momentów zginających w pasie górnym.
- Na skutek mimośrodowego połączenia pasów z prętami skratowania, mogą się pojawić dodatkowe momenty zginające, co powinno być uwzględnione podczas obliczeń.
- W przypadku dachów charakteryzujących się małym kątem pochylenia połaci, jako jeden z przypadków obciążenia wiatrem, może pojawić się obciążenie ssaniem wiatru, co powoduje pojawienie się sił ściskających w pasie dolnym kratownicy i konieczność jego projektowania z uwzględnieniem wybożenia.

2. Projektowanie pasa górnego

2.1 Wprowadzenie

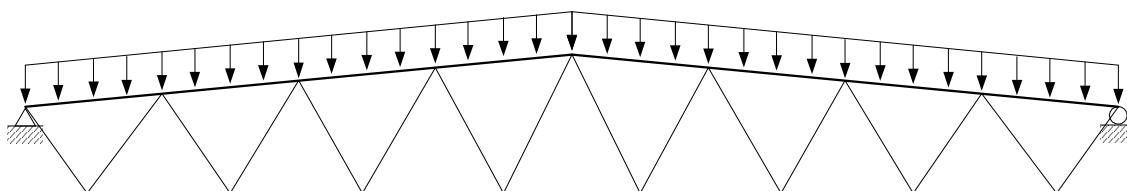
W przypadku, gdy obciążenia przyłożone są do węzłów, w pasie górnym kratownicy pojawiają się tylko siły osiowe. Gdy w górnym pasie pojawiają się siły ściskające, wybożenie tego pasa w płaszczyźnie kratownicy jak i z płaszczyzny kratownicy powinno być brane pod uwagę, o ile pas nie jest zabezpieczony przed wybożeniem w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny kraty. Zgodnie z [Annex BB of EN 1993-1-1](#) [1], długość wybożeniowa w płaszczyźnie kratownicy jest równa odległości pomiędzy węzłami w tym pasie. Długość wybożeniowa z płaszczyzny kratownicy, równa się natomiast rozstawowi płatwi. Jeżeli pas górny kratownicy jest elementem wielogąteżowym, powinien być projektowany zgodnie z zaleceniami zawartymi w

[§6.4 of EN1993-1-1](#) z uwagi na wyboczenie w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny kratownicy.

Powyższe stwierdzenie, że długość wyboczeniowa z płaszczyzny kratownicy jest równa rozstawowi płatwi, wymaga aby płatwie stanowiły podparcie w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny kraty, co znaczy, że uniemożliwia się ich przemieszczanie w tym kierunku. Oznacza to, że płatwie powinny być usztywnione stężeniami w płaszczyźnie dachu i pionowymi tężnikami w ścianach. Możliwe jest także wykorzystanie pokrycia dachowego, jeżeli jego sztywność jest wystarczająca do pracy jako przepona i spełnia wymagania odnośnie przekrojów klasy 1 lub 2 zgodnie z EN 1993-1-3 [2]. W [SS050](#) przykłady stabilizacji kratownic zostały przedstawione i wyjaśnione.

Jeżeli pokrycie dachowe jest ułożone bezpośrednio na pasie kratownicy (np. arkusze blachy fałdowej ułożone bezpośrednio na pasach górnych dźwigarów, tzw. dachy bezpłatwiowe), sprawdzenie nośności pasa ze względu na wyboczenie z płaszczyzny kratownicy może być pominięte, przy spełnieniu wymagań zawartych w EN 1993-1-3 [2].

W idealnym przypadku, gdy na dźwigarze dachowym płatwie zamocowane są w węzłach pasa górnego, tylko nośność elementów obciążonych siłami osiowymi powinna być sprawdzona. Taka sytuacja nie zawsze ma miejsce. W przypadku dachów bezpłatwiowych, w których arkusze pokrycia dachowego opierają się bezpośrednio na pasach dźwigarów, pas górny jest nie tylko ściskany, ale również zginany. Ten sposób obciążenia pokazano na Rys. 2.1.



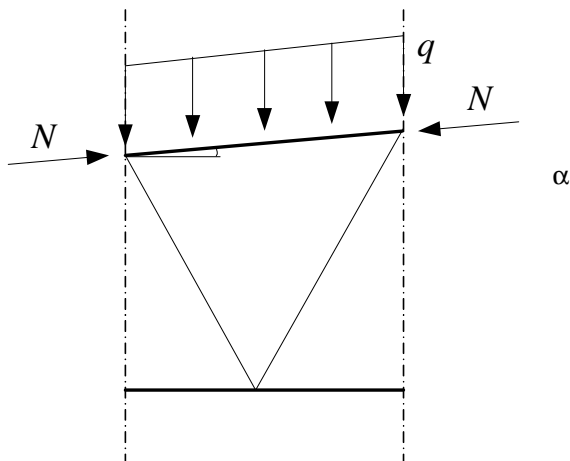
Rys. 2.1 *Przykładowy dźwigar dachowy, w którym pokrycie dachowe przekazuje obciążenie w sposób ciągły bezpośrednio na pas górny.*

W tym przypadku pas górny dźwigara powinien być traktowany jak belka ciągła obciążona momentami zginającymi i siłą osiową. Uproszczony schemat obliczeniowy pokazano na poniższym rysunku.

Podczas projektowania kratownic mogą z różnych powodów wystąpić mimośrodowość w węzłach pomiędzy pasami i prętami skratowania (Rys. 5.1). Powoduje to powstanie momentów zginających w prętach kratownicy, które należy uwzględnić w trakcie wymiarowania elementów. Zostało to opisane w Rozdziale 5.

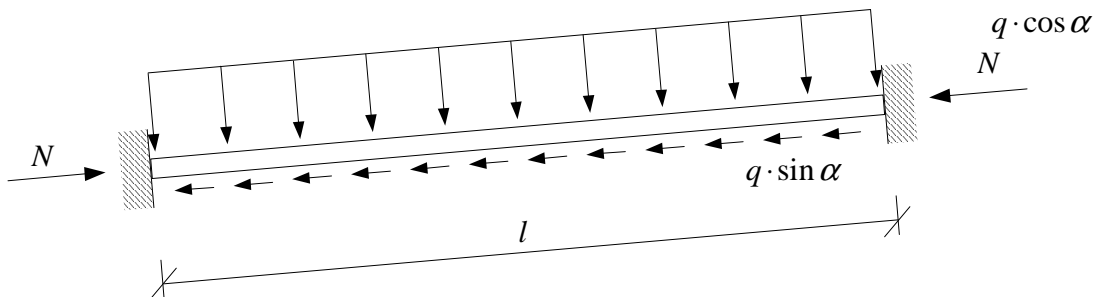
2.2 Przykład schematyczny kratownicy której pas górny jest obciążony obciążeniem ciągłym

Pod uwagę wzięto kratownicę dachową (Rys. 2.1) obciążoną obciążeniem ciągłym. W celu uproszczenia wzięto pod uwagę tylko środkowy segment kratownicy (Rys. 2.2).



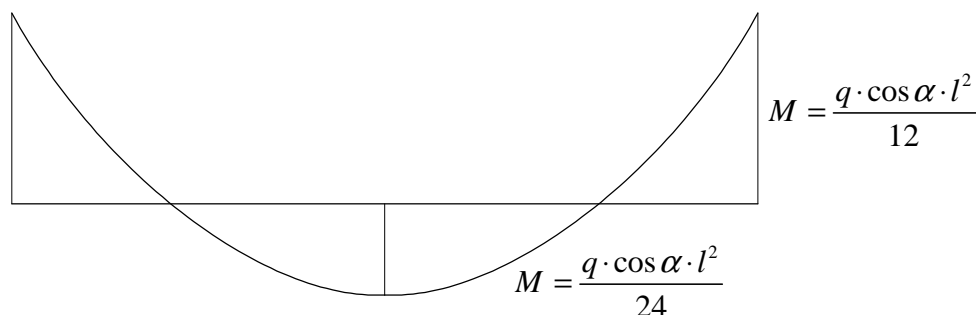
Rys. 2.2 Segment kratownicy wzięty pod uwagę w rozpatrywanym przykładzie.

Pas górny kratownicy może być traktowany jako belka ciągła obciążona siłami ściskającymi na końcach (Rys. 2.3). Jest to oczywiście pewne uproszczenie, a dokładniejsze wyniki obliczeń można otrzymać przy wykorzystaniu obliczeń komputerowych.



Rys. 2.3 Pas górny kratownicy traktowany jako belka obciążona siłami ściskającymi na końcach.

Biorąc pod uwagę uproszczenie pokazane na Rys. 2.3, wyznaczono rozkład momentów zginających Rys. 2.4.



Rys. 2.4 Rozkład momentów zginających pomiędzy węzłami pasa górnego kratownicy.

Pas górny powinien być sprawdzony biorąc pod uwagę obciążenie siłą ściskającą i momentem zginającym. W tym przypadku, gdy pokrycie dachowe jest zamocowane do górnego pasa kratownicy, jako jego usztywnienie ze względu na wyboczenie w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny kratownicy, kształtownik powinien być sprawdzony ze względu na wyboczenie w płaszczyźnie kratownicy, zgodnie z to [§6.3 of EN 1993-1-1](#) [1]. Zaleca się, aby arkusze pokrycia dachowego należały do 1 lub drugiej klasy przekrojów, zgodnie z EN 1993-1-3 [2]. Jeżeli blacha pokrycia zalicza się do klasy 3, nie usztywnia pasa dźwigara w wystarczający sposób. W tym przypadku należy sprawdzić nośność pasa na wyboczenie w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny kratownicy.

Przedstawiony powyżej model obliczeniowy, stosuje się również w przypadku płatwi zamocowanych pomiędzy węzłami pasa górnego kratownicy. W fazie koncepcyjnej projektu, gdy nie znamy dokładnej lokalizacji płatwi, wartość momentu zginającego może być wyznaczona według wzoru $wL^2/6$, gdzie L jest odległością pomiędzy węzłami pasa górnego kratownicy, w jest sumą sił skupionych działających na odcinku pomiędzy w/w węzłami, podzieloną przez rozstaw płatwi.

3. Projektowanie pasa dolnego

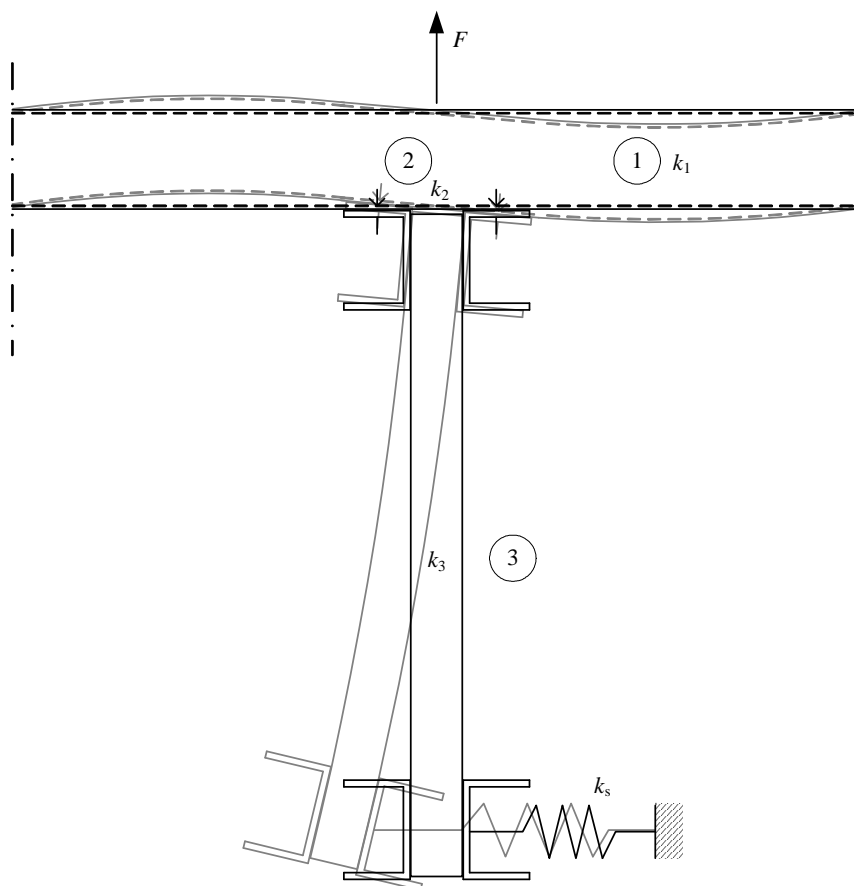
W przypadku, gdy na dźwigar dachowy działa obciążenie stałe i zmienne, pas dolny dźwigara jest rozciągany i powinien być wymiarowany ze względu na siły rozciągające.

Należy jednak brać pod uwagę fakt, że z różnych powodów mogą wystąpić mimośrodowość w połączeniach pomiędzy pasem dolnym a prętami skratowania. W tym przypadku należy uwzględnić wpływ pojawiających się momentów zginających na nośność elementów. Zagadnie to zostało opisane w Rozdziale 5.

W przypadku obciążenia wiatrem, bierze się zazwyczaj pod uwagę parcie wiatru, jednak w przypadku dachów o niewielkim kącie nachylenia połaci dachowej, może wystąpić obciążenie ssaniem wiatru, a także ciśnienie wewnętrzne co powinno być przeanalizowane w trakcie projektowania kratownicy. Część prętów kratownicy może mieć niewystarczającą nośność, gdy zostanie obciążona siłami ściskającymi. Gdy pas dolny kratownicy zostanie obciążony siłami ściskającymi, należy brać pod uwagę

możliwość utraty jego stateczności, na skutek wybożenia w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny kratownicy.

Często jest możliwe potwierdzenie nośności pasa dolnego bez jego stężenia, poprzez uwzględnienie sztywności łączonych elementów. Rozważany przykład pokazano na Rys. 3.1 gdzie pokrycie dachowe jest klas 1 lub 2, zgodnie z EN 1993-1-3.



Oznaczenia

- 1 Pokrycie dachowe charakteryzujące się sztywnością k_1 ,
- 2 Połączenie z kratownicą dachową, charakteryzujące się sztywnością k_2 ,
- 3 Kratownica dachowa charakteryzująca się sztywnością k_3 .

Rys. 3.1 Część kratownicy na którą działa obciążenie skierowane pionowo do góry, np. ssanie wiatru.

Gdy połączenie pomiędzy prętami stratowania i pasami zostało zaprojektowane przy zastosowaniu blach węzłowych, to sztywność tego połączenia też należałoby uwzględnić. Fikcyjna sprężyna modelująca podparcie pasa dolnego ma sztywność:

$$k_s = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}} \quad (1)$$

gdzie

k_1 sztywność pokrycia dachowego

k_2 sztywność połączenia pomiędzy pokryciem dachowym i pasem górnym kratownicy

k_3 sztywność prętów skratowania na zginanie

Sztywność jest obliczana na jednostkę długości, tzn. jednostką jest siła na kwadrat długości.

Sztywność pokrycia dachowego k_1 , wyznacza się według wzoru:

$$k_1 = \frac{1}{\delta} \quad (2)$$

Przyjmując siłę jednostkową (np 1N/m) moment zginający wyznacza się zgodnie z Rys. 3.2.

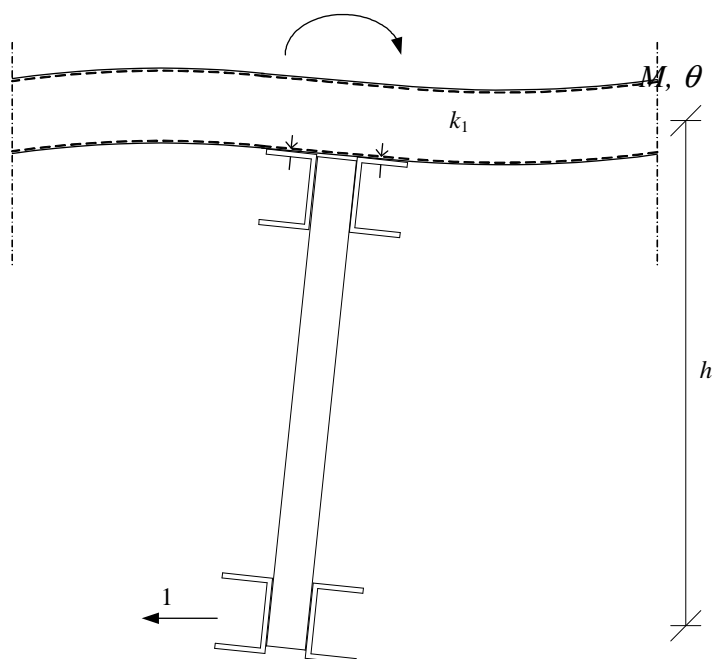
$$M = h \cdot 1 \quad (3)$$

kąt obrotu, θ

$$\theta = \frac{M \cdot l_{\text{roof}}}{2 \cdot EI_{\text{roof}}} = \frac{h \cdot 1 \cdot l_{\text{roof}}}{2 \cdot EI_{\text{roof}}} \quad (4)$$

Kąt obrotu, θ , wyznacza się przy założeniu, że pas każdej następnej kratownicy jest zginany w przeciwnym kierunku.

Sztywność pokrycia dachowego na zginanie wyrażona jest na jednostkę szerokości pokrycia.



Rys. 3.2 Wyjaśnienie, jak wyznaczać sztywność k_1 .

Przemieszczenie spowodowane siłą jednostkową wynosi:

$$\delta = h \cdot \theta = h \cdot \frac{h \cdot l_{\text{roof}}}{2 \cdot EI_{\text{roof}}} \quad (5)$$

szytywność k_1 wyznacza się jako

$$k_1 = \frac{2 \cdot EI_{\text{roof}}}{h^2 \cdot l_{\text{roof}}} \quad (6)$$

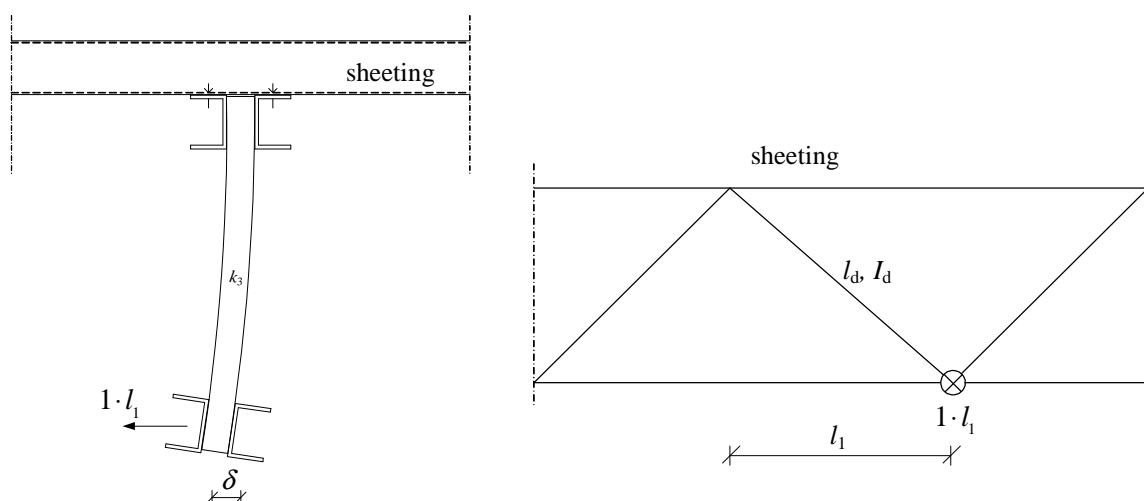
Szytywność k_2 połączenia przekrycia dachowego z pasem górnym kratownicy określa się zgodnie z [§10.1.5 of EN1993-1-3](#). Ma ona największy wpływ na szytywność układu. Wkręty w tym połączeniu obciążone są siłami rozciągającymi, co powoduje duże deformacje na skutek obciążenia pokrycia prostopadle do jego płaszczyzny. W celu uzyskania pożądanej szytywności, wkręty powinny być rozmieszczone zygzakowato, a gdy to nie wystarcza, powinno się podwoić ich liczbę.

Szytywność na zginanie z płaszczyzny kratownicy prętów skratowania, wyznacza się według wzoru:

$$k_3 = \frac{1}{\delta} \quad (7)$$

gdzie δ może być określone jako przemieszczenie pod obciążeniem jednostkowym, Rys. 3.3, według równania (8).

$$\delta = \frac{1 \cdot l_1 \cdot l_d^3}{3 \cdot EI_d} \quad (8)$$



Rys. 3.3 Wyjaśnienie, jak wyznaczać szytywność k_3 .

Szytywność k_3 , może być wyznaczona według wzoru

$$k_3 = \frac{3 \cdot EI_d}{l_1 \cdot l_d^3} \quad (9)$$

Siłę krytyczną N_{cr} przy wyboczeniu jednoząziowego pasa dolnego wyznacza się według wzoru:

$$N_{cr} = 2\sqrt{EI \cdot k_s} \quad (10)$$

Jeżeli pas dolny jest elementem dwużaziowym należy uwzględnić redukcję sztywności elementu na skutek lokalnych deformacji kształtowników pomiędzy przewiązkami.

W przypadku dwużaziowego pasa kratownicy z ciągłym usztywnieniem sprężystym, następująca procedura jest rozszerzeniem procedury zawartej w [§6.4 of EN 1993-1-1](#). Oznaczenia przyjęto według [§6.4](#) i tylko zmiany w tej procedurze są tu przedstawione. Zakłada się, że przewiązki są spawane do pasa I mają długość conajmniej równą ich podwójnej szerokości, co powoduje, że wykazują znaczną sztywność pozwalającą pominąć w obliczeniach ich podatność.

Długość wyboczeniową, l_c , wyznacza się z zależności

$$l_c = \pi \sqrt[4]{\frac{EI_{eff}}{k}} \quad (10)$$

sztywność przewiązek na ścinanie

$$S_v = \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2} \quad (11)$$

gdzie a jest odległością pomiędzy środkami ciężkości przewiązek.

Siłę krytyczną wyznacza się według wzoru:

$$N_{cr} = \sqrt{kEI_{eff}} \left[2 - \frac{\sqrt{kEI_{eff}}}{S_v} \right] \quad \text{if } S_v / \sqrt{kEI_{eff}} > 1 \quad (12)$$

$$N_{cr} = \frac{kEI_{eff}}{S_v} \quad \text{if } S_v / \sqrt{kEI_{eff}} \leq 1 \quad (13)$$

Wzór na wyznaczenie M_{Ed} z punktu [§6.4.1\(6\) EN 1993-1-1](#) przekształcono:

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} e_0 + M_{Ed}^I}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}}} \quad (14)$$

gdzie e_0 jest wstępną imperfekcją, $e_0 = \frac{L}{500}$, M_{Ed}^I jest wartością obliczeniową maksymalnego momentu zginającego w środku rozpiętości elementu, wyznaczoną

według teorii pierwszego rzędu. Dalsze obliczenia należy przeprowadzić zgodnie z [§6.4 of EN 1993-1-1](#).

Nośność pasa dolnego na wyboczenie wyznacza się zgodnie z [§6.3 of EN 1993-1-1](#) [1].

Jeżeli jest to konieczne, można stosować różnego rodzaju stężenia w celu stabilizacji położenia pasa dolnego i zabezpieczenia przed wyboczeniem.

Przewiązki elementów dwugałęziowych oraz pasy kratownicy powinny być obliczane zgodnie z [§6.4 of EN 1993-1-1](#). Z powodu sprężystych odkształceń przewiązek, pręty należy sprawdzać na kombinację siły osiowej, momentu zginającego lub siły poprzecznej.

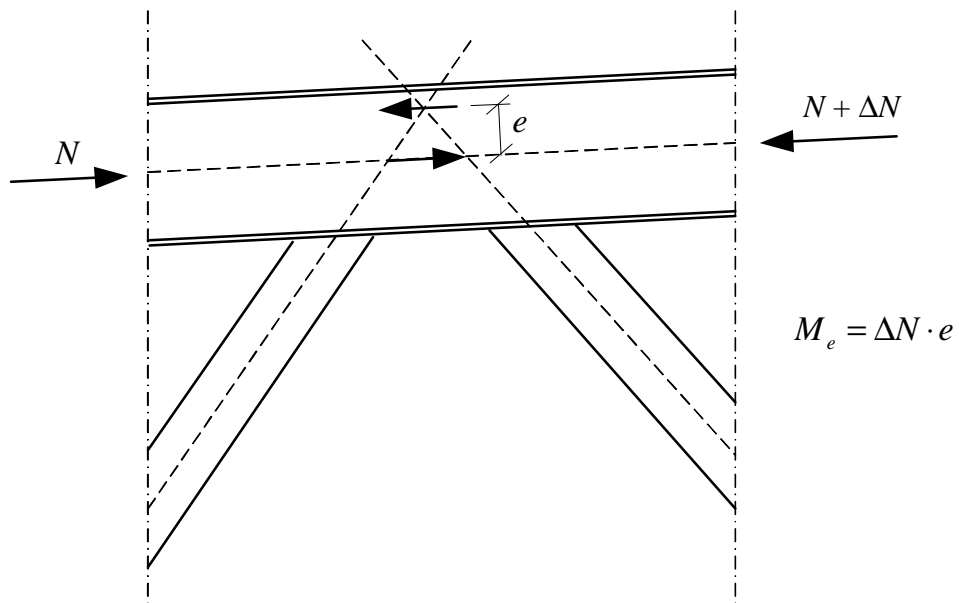
Pojedyncze gałęzie słupa należy sprawdzać w osi przewiązek oraz w odległości pomiędzy przewiązkami na układ sił zgodnie z [Figure 6.11 in EN 1993-1-1](#).

4. Projektowanie prętów skratowania

Obliczanie prętów skratowania należy przeprowadzać biorąc pod uwagę siły osiowe. Jeżeli w połączeniach prętów skratowania z pasami występują mimośrodowość, należy stosować się do zaleceń zawartych w Rozdziale 5. Pręty ściskane powinny być sprawdzane na wyboczenie w płaszczyźnie i z płaszczyzny kratownicy. Nośność na wyboczenie w płaszczyźnie kratownicy powinna być wyznaczana przy przyjęciu długości wyboczeniowej, L_{cr} równej 90% długości pręta ($0,9L$). Nośność na wyboczenie z płaszczyzny kratownicy należy wyznaczać przy przyjęciu długości wyboczeniowej L_{cr} równej długości pręta L . ([Annex BB of EN 1993-1-1](#) [1]).

5. Mimośrodowość

W węzłach kratownicy, osie prętów skratowania powinny przecinać z osią pasa górnego lub dolnego w jednym punkcie. Jednak ten wymóg nie zawsze jest spełniony. W przypadku pojawienia się mimośrodków w projektowanych węzłach, fakt ten należy uwzględnić poprzez obciążenie prętów kratownicy dodatkowymi momentami zginającymi wyznaczonymi według Rys. 5.1.

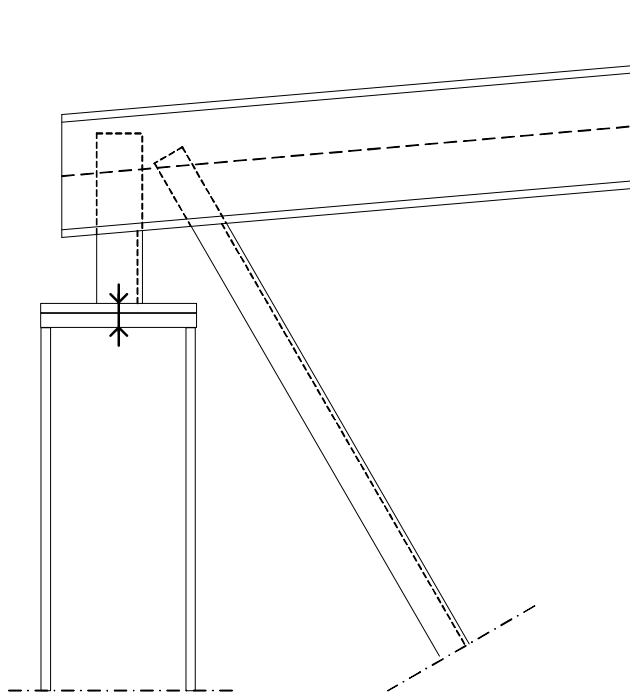


Rys. 5.1 **Przykład mimośrodowego połączenia prętów.**

Moment zginający M_e , spowodowany mimośrodowym zamocowaniem prętów powinien być rozdzielony jednakowo na obydwie strony pasa kratownicy, tzn. pręty skratowania oblicza się jedynie na siły osiowe.

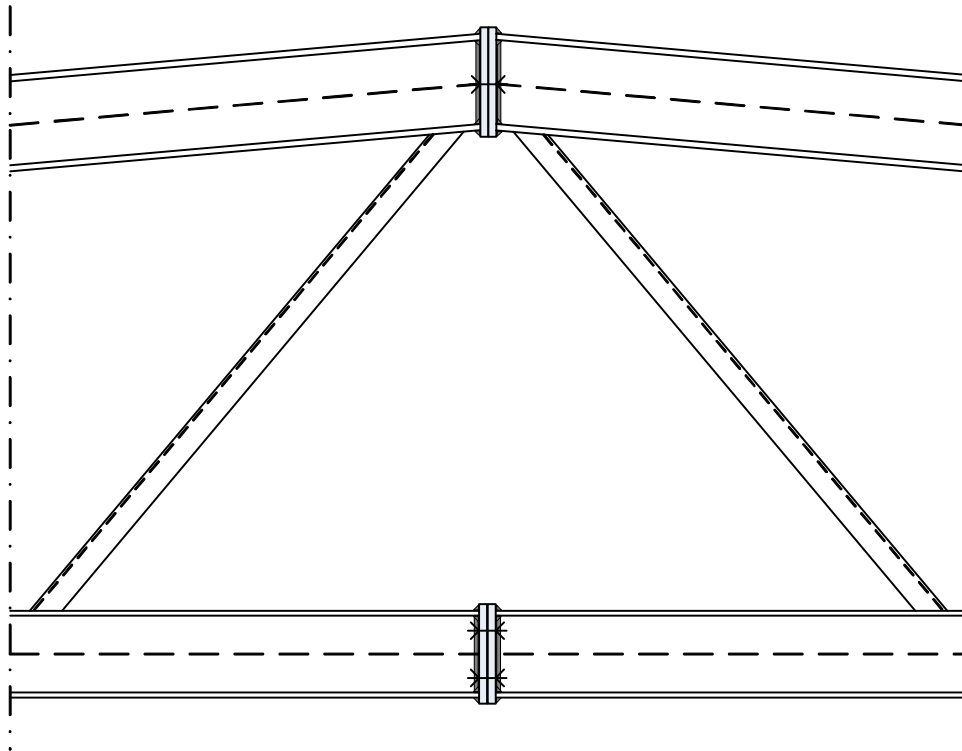
6. Węzły podporowe kratownicy i styki montażowe

Typowe i najbardziej popularny węzeł podporowy (oparcie kratownicy na słupie) przedstawiono na Rys. 6.1.



Rys. 6.1 *Przykład prostego węzła podporowego kratownicy.*

Z uwagi na konieczność przetransportowania kratownicy z warsztatu wykonawczego na miejsce budowy, kratownicę dzieli się na segmenty montażowe o określonej długości. Segmenty te są następnie łączone, zazwyczaj za pomocą połączeń śrubowych. Typowy styk montażowy, znajdujący się w środku rozpiętości kratownicy pokazano na Rys. 6.2.



Rys. 6.2 *Przykładowy styk montażowy w środku rozpiętości kratownicy.*

7. Literatura

- [1] EN 1993-1-1, Design of steel structures, General rules and rules for buildings
- [2] EN 1993-1-3, Design of steel structures, Supplementary rules for cold-formed members and sheeting

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU	Informacje uzupełniające: Projektowanie kratownic dachowych		
Odniesienie(a)			
ORYGINAŁ DOKUMENTU			
	Nazwisko	Firma	Data
Stworzony przez	Jonas Gozzi	SBI	
Zawartość techniczna sprawdzona przez	Bernt Johansson	SBI	
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez			
Techniczna zawartość zaaprobowana przez następujących partnerów STALE:			
1. UK	G W Owens	SCI	23/5/06
2. France	A Bureau	CTICM	23/5/06
3. Sweden	B Uppfeldt	SBI	23/5/06
4. Germany	C Müller	RWTH	23/5/06
5. Spain	J Chica	Labein	23/5/06
Zasób zatwierdzony przez technicznego koordynatora	G W Owens	SCI	12/7/06
DOKUMENT TŁUMACZONY			
Tłumaczenie wykonane przez:		A. Wojnar, PRz	
Przetłumaczony zasób zatwierdzony przez:		A. Kozłowski, PRz	

Informacje ramowe

Tytuł*	Informacje uzupełniające: Projektowanie kratownic dachowych	
Seria		
Opis*	Ten dokument zajmuje się kilkoma specjalnymi przypadkami, jakie mogą występować podczas projektowania kratownic dachowych. Np. jak traktować brak osiowego przekazywania się sił w połączeniach, przyłożenie obciążeń nie w węzłach konstrukcji, obciążenia zmiennoznakowe, itp.	
Poziom dostępu*	Ekspertyza	Praktyka
Identyfikator*	Nazwa pliku	C:\Documents and Settings\awojnar\Moje dokumenty\2009\tlumaczenie\2009-04-08!_SN\027\SN027a-PL-EU.doc
Format	Microsoft Office Word; 14 Pages; 295kb;	
Kategoria*	Tytuł zasobu	Informacje uzupełniające
	Punkt widzenia	Inżynier
Przedmiot*	Obszar zastosowania	Budynki jednokondygnacyjne
Daty	Data utworzenia	25/05/2006
	Data ostatniej modyfikacji	
	Data sprawdzenia	
	Ważny od	
	Ważny do	
Język(i)*	Polski	
Kontakt	Autor	Jonas Gozzi, SBI
	Sprawdzony przez	Bernt Johansson, SBI
	Zatwierdzony przez	
	Redaktor	
	Ostatnio modyfikowany przez	
Słowa kluczowe*	Projektowanie kratownic	
Zobacz też	Odniesienie do Eurocodu	
	Przykład(y) obliczeniowy	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inne	
Omówienie	Narodowa przydatność	EU
Szczególne instrukcje		