Skręcanie przestrzennych kratowych wież (słupów) stalowych

Literatura uzupełniająca tematykę:

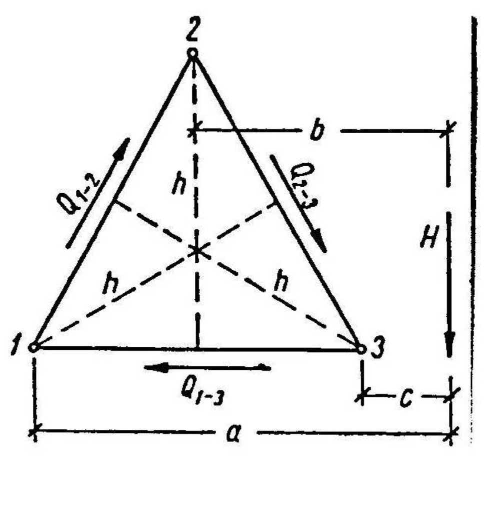
S. Kończykowski, B. Mayzel – „Konstrukcje wsporcze linii napowietrznych”, str. 152÷160.

T. Kozłowski – „Skręcanie przestrzennych kratowych słupów stalowych o przekroju prostokątnym”, Inż. i Bud. 4/62.

PN-B-03205 – „Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Stalowe konstrukcje wsporcze. Obliczenia statyczne i projektowanie”.

Wieże są konstrukcjami przestrzennymi, dla których wyznaczenie wpływu momentu skręcającego w sposób dokładny jest pracochłonne. Gdy chce się jego wpływ jedynie oszacować w sposób przybliżony można wykorzystać jedną z metod przybliżonych.

Mamy więc do dyspozycji metody przybliżone, dla których mogą wystarczyć tylko równania równowagi momentów (np. dla przekroju trójkątnego) dające bardzo zbliżone rezultaty do wyników dokładnej metody zaproponowanej w początku XX wieku przez Herberta Wagnera.

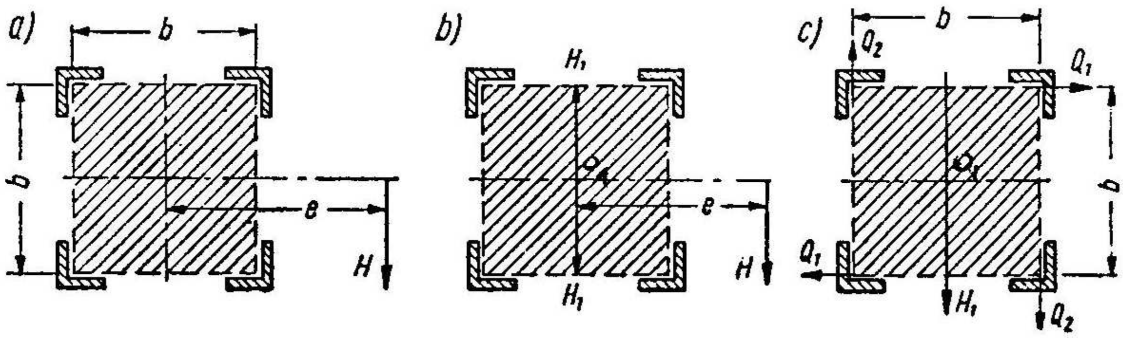


$$Q_{1-2} = H \cdot \frac{c}{h}$$

$$Q_{1-3} = H \cdot \frac{b}{h}$$

$$Q_{2-3} = H \cdot \frac{a}{h}$$

Jednak w przekroju trzonu wieży skratowanej o przekroju poprzecznym kwadratowym lub prostokątnym takie postępowanie jest niemożliwe.
Powstała więc myśl, by moment skręcający rozłożyć na poszczególne ściany wieży w formie dwóch par sił poprzecznych. Jeżeli założymy bardzo dużą sztywność postaciową przekroju, w którym przyłożony jest moment skręcający ta propozycja jest słuszna tylko dla przekrojów zbliżonych do kwadratu



$$M_o = M \cdot e \tag{1}$$

$$M_o = 2\left(Q_1 \cdot \frac{b}{2}\right) + 2\left(Q_2 \cdot \frac{b}{2}\right) \tag{2}$$

$$M_o = Q_1 \cdot b + Q_2 \cdot b$$

dla $Q_1 = Q_2 = Q$

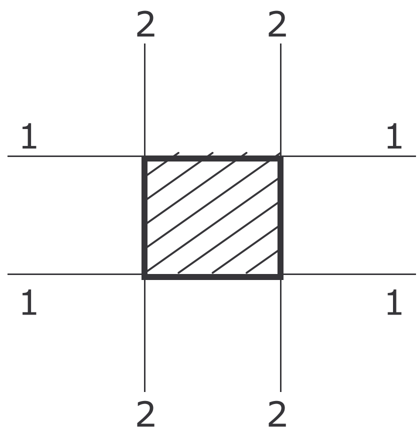
$$M_o = 2Q \cdot b \tag{3}$$

Łatwo zauważyć, że w przypadku wydłużonego prostokąta jedna z par sił poprzecznych rośnie do nieskończoności.

Z tego powodu szacowanie sił poprzecznych powstałych w wyniku skręcania dla tego typu przekrojów jest poprawne przy następujących założeniach:

1) istnieje przepona w miejscu przyłożenia momentu skręcającego (zachowana jest sztywność postaciowa w tym przekroju),
2) istnieje symetria konstrukcji wieży (słupa),
3) niezmienny jest stosunek długości boków na wysokości wieży (słupa),
4) sztywność krzyżulców lub przewiązek na jednym poziomie wieży (słupa) spełnia warunek:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{l_1^3}{l_2^3}$$



gdzie:

A_1, l_1 – pole powierzchni i długości prętów zakratowanie kratownic „1”,

A_2, l_2 – j.w. ale kratownic doń prostopadłych,

5) stosunek długości boków przekroju poprzecznego wieży (słupa) powinien spełniać nierówność:

$$\frac{b}{a} \leq 2; \qquad b \text{ – bok dłuższy,}$$

6) pomijalny jest wpływ sztywności skrętnej krawężników na wynik obliczeń.

Spełniając powyższe założenia przybliżone wzory na wartości sił poprzecznych w poszczególnych płaszczyznach skratowania wież (słupów) przyjmują postać:

$$Q_a = \frac{b}{k \cdot a^2 + b^2} M_o, \tag{4}$$

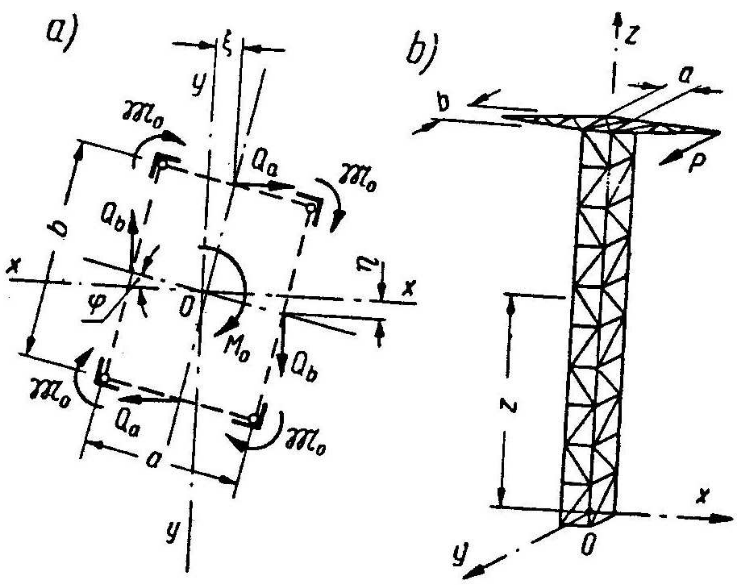
oraz

$$Q_b = \frac{kb}{k \cdot a^2 + b^2} M_o, \tag{5}$$

gdzie:

$$k = \frac{I_a}{I_b} \qquad k \le 1.$$

Pozostałe oznaczenia są na poniższym szkicu:



Wartości I_a i I_b można wyznaczyć w sposób przybliżony, gdy wszystkie krawężniki są równne wg:

$$I_a = 0{,}75 \cdot A \cdot \frac{a^2}{2}, \tag{6}$$

$$I_b = 0{,}75 \cdot A \cdot \frac{b^2}{2} \tag{7}$$

gdzie: 0,75 uwzględnia zmniejszenie sztywności kratownicy skutkiem skratowania.

Łatwo zauważyć, że jeżeli przekrój wieży (słupa) będzie stały na wysokości oraz stały będzie moment bezwładności składowych kratownic słupa wzory (4) i (5) upraszczają się do:

$$Q_a = \frac{M_o}{2b} \tag{8}$$

$$Q_b = \frac{M_o}{2a} \tag{9}$$

A także, jeżeli a = b (kwadratowy przekrój poprzeczny wieży) to otrzymamy zależność (3), czyli

$$Q_a = \frac{M_o}{2b} \tag{10}$$

$$Q_b = \frac{M_o}{2b} \tag{11}$$

Dla każdego przekroju poprzecznego wieży (słupa) bliskiemu kołu (np. wielokąt foremny) rozwiązania powyższe są prawie identyczne z dokładnymi.

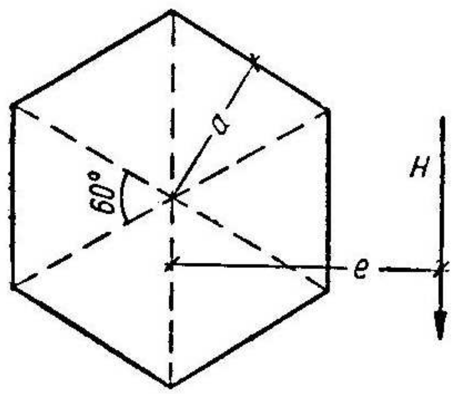
Dla wieloboku z poniższego szkicu każda ze ścian jest obciążona na poziomie przyłożenia momentu skręcającego siłą poprzeczną o wartości:

$$Q_i = \frac{M_o}{n \cdot a} \tag{12}$$

gdzie:

n – liczba boków wielokąta

a – apotema wielokąta



Uwaga:

Opisany sposób uwzględnienia skręcania przestrzennych ustrojów kratowych dotyczy również innych konstrukcji przestrzennych takich jak: belki podsuwnicowe (wpływ sił H_p na ustrój), przestrzenne wiązary kratowe, konstrukcje wsporcze linii energetycznych i inne.