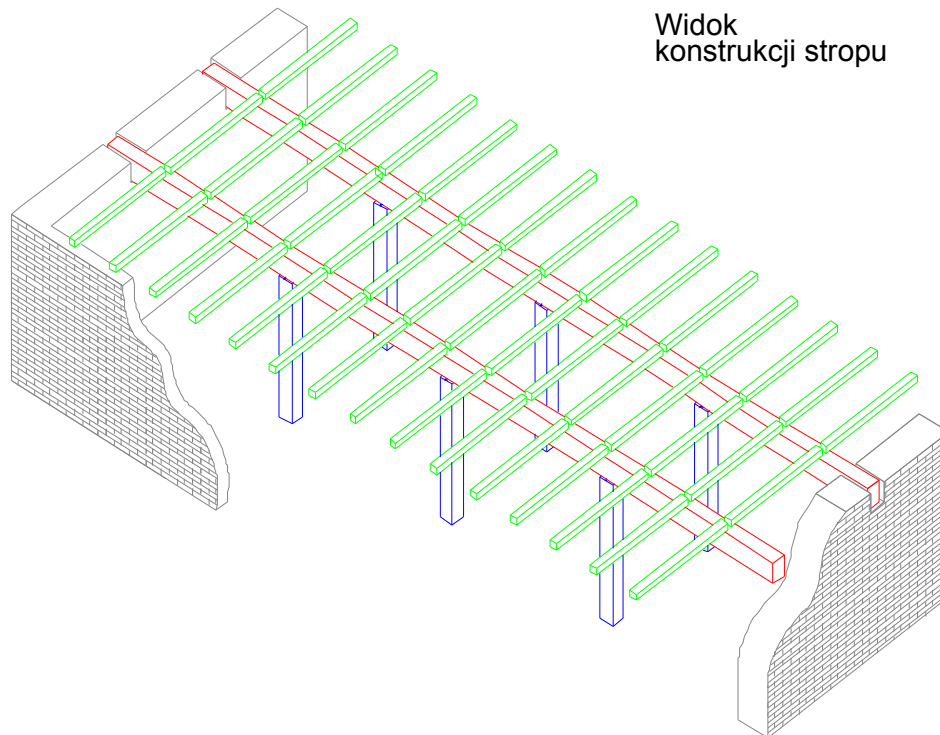


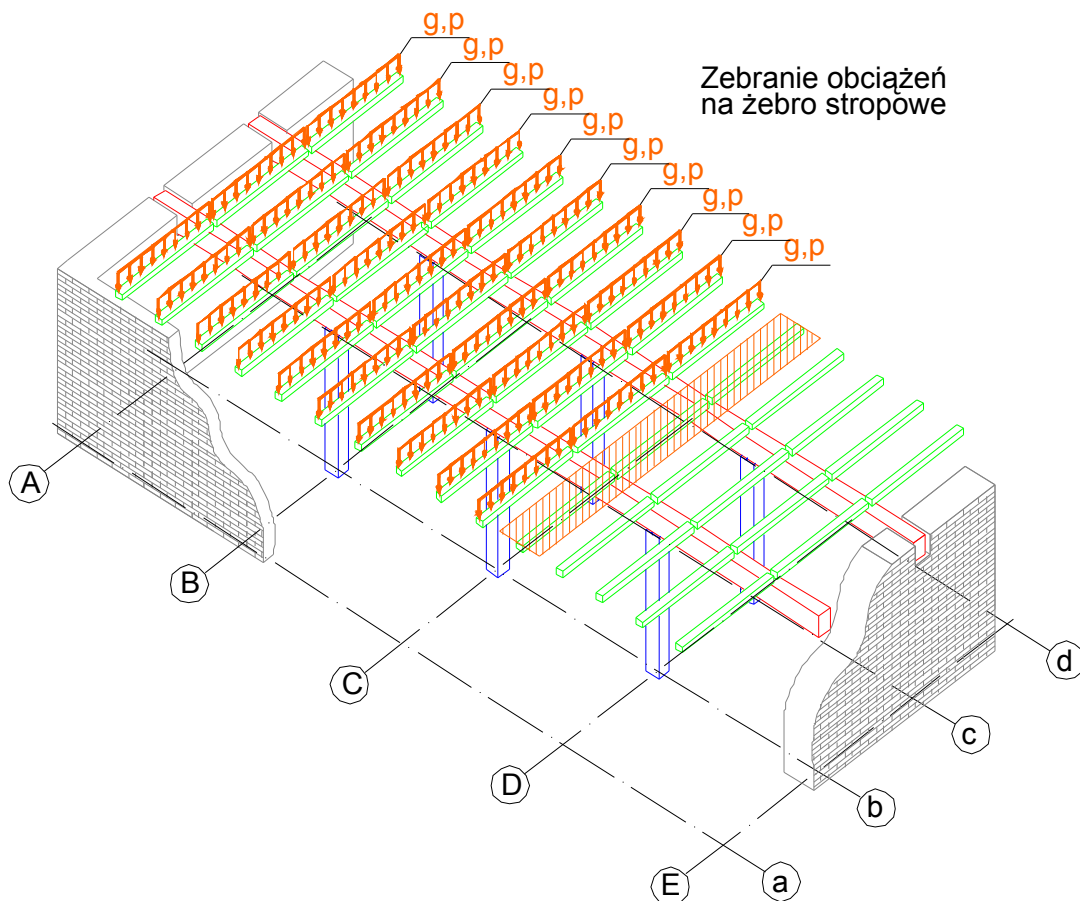
Przekazywanie obciążeń w konstrukcji stropu

Obciążenia powierzchniowe działające na konstrukcję stropu przekazywane są poprzez żebra (oznaczone kolorem **zielonym**) na podciąg lub kilka podciągów (oznaczone kolorem **czzerwonym**), które to z kolei przekazują odpowiednie wartości sił na fundamenty poprzez słupy (oznaczone kolorem **niebieskim**).



Wykonanie siatki stropu, czyli schematu układu żeber, podciągów i słupów, jest pierwszą czynnością wykonywaną przy projektowaniu stropu. Rozstaw żeber stropowych należy przyjmować w taki sposób, aby odległości między nimi była równa (co pozwala przyjmować pewne uproszczenia podczas obliczeń).

W przykładzie przyjęto rozstaw żeber równy 2,5m. Oznacza to, że na każde z żeber przypada obciążenie z pasa obciążeń szerokości 2,5m. Umożliwia to przeliczenie obciążenia powierzchniowego na obciążenie liniowe przypadające na metr bieżący każdego żebra, np.:



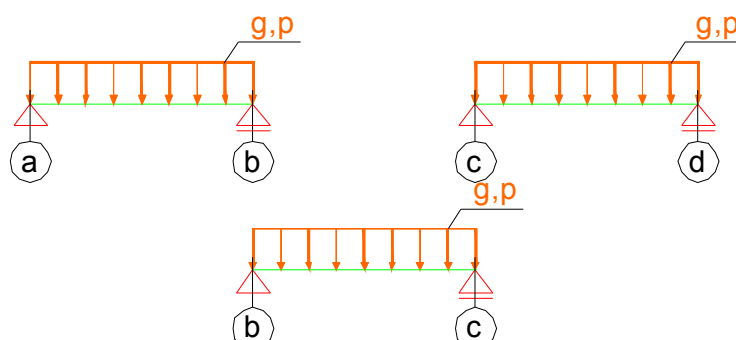
Zebranie obciążeń

Rodzaj obciążenia	Obc. charakterystyczne [kN/m]	γ_f	Obc. obliczeniowe [kN/m]
Stałe			
- lastryko $0,02\text{m} \cdot 22\text{kN/m}^3 \cdot 2,50\text{m}$	1,10	1,3	1,43
- gładź cementowa $0,05\text{m} \cdot 21\text{kN/m}^3 \cdot 2,50\text{m}$	2,63	1,3	3,42
- płyta żelbetowa $0,20\text{m} \cdot 25\text{kN/m}^3 \cdot 2,50\text{m}$	12,50	1,1	13,75
- ciężar własny żebra - przyjęto I 500PE 0,911kN/m	0,91	1,1	1,00
	17,14		19,60
Zmienne			
- obciążenie użytkowe $7,5\text{kN/m}^2 \cdot 2,50\text{m}$	18,75	1,2	22,50
	18,75	1,2	22,50
Łącznie	35,89		42,10

Kolejnym krokiem jest zaprojektowanie przekroju dla żebrowych stropów. Przyjęty przekrój musi umożliwiać przeniesienie występujących sił wewnętrznych - momentu zginającego i sił tnących oraz zapewnić nie przekraczanie dopuszczalnych ugięć. W zależności od założonego sposobu zamocowania żebrowych stropów

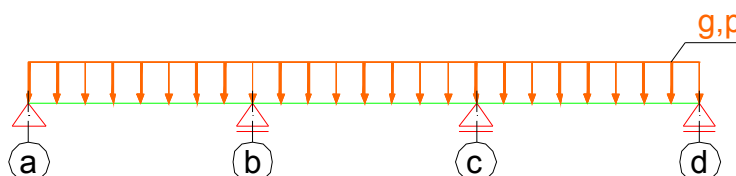
do wyznaczenia sił wewnętrznych służy schemat statyczny prostych belek wolnopodpartych

Schemat statyczny żebra stropowego
Żebro stropowe w postaci belek swobodnie podpartych



lub też schemat statyczny belki ciągłej

Schemat statyczny żebra stropowego
Żebro stropowe w postaci belki ciągłej



(o ilości przęseł równej liczbie podciągów+1).

Ponieważ obciążenie stropu składa się w części z obciążeń zmiennych, które jak wskazuje nazwa, mogą zmieniać swoje położenie na stropie, należy tak dobrać ich umiejscowienie względem żebra, aby otrzymać najniekorzystniejszy wariant obciążeń, tzn. powodujący wystąpienie największych możliwych sił wewnętrznych.

W przypadku żebra w postaci belek wolnopodpartych największe siły wewnętrzne wystąpią przy obciążeniu ich na całej długości łącznym obciążeniem liniowym. Natomiast wyznaczenie maksymalnych sił wewnętrznych w przypadku żebra w postaci belek ciągłych wymaga zastosowania tablic Winklera i występujących w nich współczynników „a”.

Wartości sił wewnętrznych w żebrze stropowym

W podanym w przykładzie stropie przy założeniu schematu belki ciągłej trójprzęsłowej wyznaczyć należy maksymalne momenty przęsłowe (dla przęseł skrajnych oznaczone jako M_1 i M_3 , dla przęsła środkowego jako M_2) oraz maksymalne momenty nad podciągami tzw. momenty podporowe (oznaczone M_B i M_C).

$$M_i = a_1 \cdot g \cdot l^2 + a_2 \cdot p \cdot l^2 \quad [\text{kNm}]$$

$$\begin{aligned}
M_1 &= 0,080 \cdot 19,60 \cdot 7,50^2 + 0,101 \cdot 22,50 \cdot 7,50^2 = 216,03 \text{ kNm} \\
M_2 &= 0,025 \cdot 19,60 \cdot 7,50^2 + 0,075 \cdot 22,50 \cdot 7,50^2 = 122,48 \text{ kNm} \\
M_3 &= 0,080 \cdot 19,60 \cdot 7,50^2 + 0,101 \cdot 22,50 \cdot 7,50^2 = 216,03 \text{ kNm} \\
M_B &= -0,100 \cdot 19,60 \cdot 7,50^2 - 0,117 \cdot 22,50 \cdot 7,50^2 = -258,33 \text{ kNm} \\
M_C &= -0,100 \cdot 19,60 \cdot 7,50^2 - 0,117 \cdot 22,50 \cdot 7,50^2 = -258,33 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Następnie podobnie wyznaczyć należy maksymalne wartości sił tnących występujących na podporach skrajnych (oznaczone jako Q_A i Q_D) oraz z prawej i z lewej strony podpór pośrednich (oznaczone jako Q_{Bl} , Q_{Bp} , Q_{Cl} i Q_{Cp})

$$Q_i = a_3 \cdot g \cdot l + a_4 \cdot p \cdot l \quad [\text{kN}]$$

$$\begin{aligned}
Q_A &= 0,400 \cdot 19,60 \cdot 7,50 + 0,450 \cdot 22,50 \cdot 7,50 = 134,74 \text{ kN} \\
Q_{Bl} &= -0,600 \cdot 19,60 \cdot 7,50 - 0,617 \cdot 22,50 \cdot 7,50 = -192,32 \text{ kN} \\
Q_{Bp} &= 0,500 \cdot 19,60 \cdot 7,50 + 0,583 \cdot 22,50 \cdot 7,50 = 171,88 \text{ kN} \\
Q_{Cl} &= -0,500 \cdot 19,60 \cdot 7,50 - 0,583 \cdot 22,50 \cdot 7,50 = -171,88 \text{ kN} \\
Q_{Cp} &= 0,600 \cdot 19,60 \cdot 7,50 + 0,617 \cdot 22,50 \cdot 7,50 = 192,32 \text{ kN} \\
Q_D &= -0,400 \cdot 19,60 \cdot 7,50 - 0,450 \cdot 22,50 \cdot 7,50 = -134,74 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Spośród wszystkich wyznaczonych momentów i sił poprzecznych należy wybrać wartości posiadające największe wartości bezwzględne. W przykładzie są to moment podporowy M_B oraz siła tnąca z lewej strony podpory B (wyróżnione kolorem czerwonym). Są to wartości miarodajne do wyznaczania naprężeń i sprawdzania nośności przyjętego profilu stalowego.

Wartości sił obciążających podciąg

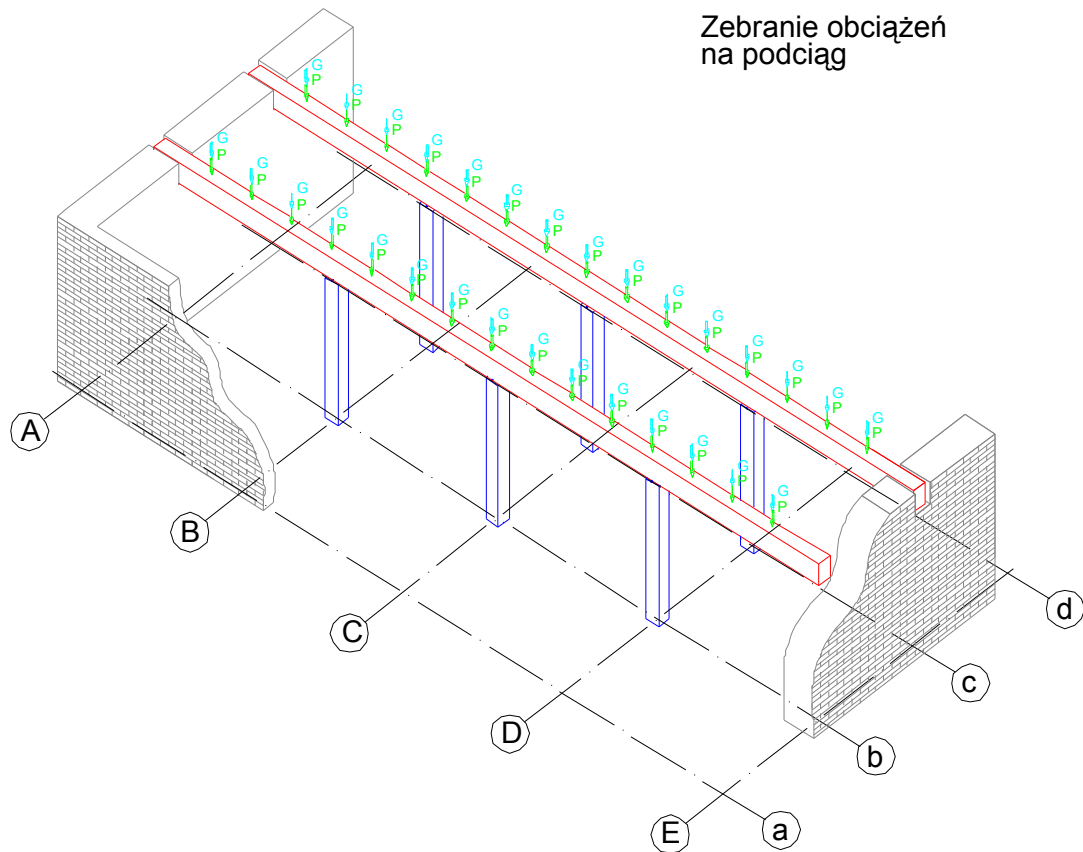
Podobnie jak żebra, również i podciąg poddany jest działaniu zarówno stałych, jak i zmiennych obciążeń. Obciążenia te przekazywane są poprzez żebra w postaci ich reakcji podporowych. Oznacza to, że siły skupione obciążające podciąg w rozstawie równemu rozstawowi żebrowi równe są w przypadku żebrowi w postaci belek wolnopodpartych dwóm reakcjom podporowym z żebrowi - po jednej od każdego żebra opierającego się o podciąg. Natomiast w przypadku żebrowi w postaci belek ciągłych na podciąg przekazywane są siły równe reakcjom podporowym belki ciągłej. Reakcje podporowe są w tym przypadku sumą wartości sił tnących występujących z prawej i lewej strony danej podpory, tzn. z prawej i lewej strony podciagu.

Reakcje podporowe z żebrowi (oraz ich maksymalne wartości obliczone powyżej) są wynikiem działania zarówno obciążenia stałego, jak i zmiennego, to znaczy można wyznaczyć część reakcji wynikającą z obciążeń stałych oraz część reakcji wynikającą z działania obciążeń zmiennych. Wyznaczając stałą część reakcji należy dodać (przez dodawanie rozumie się tutaj dodawanie wartości bezwzględnych) część stałą wartości sił tnących występujących z prawej strony podpory do części stałej wartości sił tnących występujących z lewej strony podpory (oznaczone dla podpory B w przykładzie kolorem zielonym). Analogicznie - wyznaczając część zmienną reakcji należy dodać część zmienną wartości sił tnących występujących z prawej strony podpory do części zmiennej wartości sił tnących występujących z lewej strony podpory (oznaczone kolorem niebieskim).

Wynik widoczny jest poniżej:

$$G=0,600 \cdot 19,60 \cdot 7,50 + 0,500 \cdot 19,60 \cdot 7,50 = 161,70 \text{ kN}$$

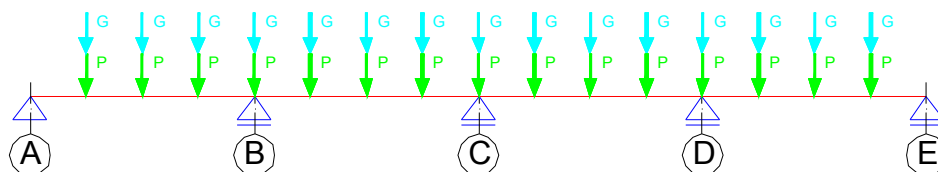
$$P=0,617 \cdot 22,50 \cdot 7,50 + 0,583 \cdot 22,50 \cdot 7,50 = 202,50 \text{ kN}$$



Wartości sił wewnętrznych w podciągu

Wyznaczając maksymalne wartości sił wewnętrznych w podciągu należy skorzystać z tablic Winklera, ponieważ podciąg pracuje jako belka ciągła, w której liczba przęseł równa jest liczbie przyjętych słupów + 1, a obciążenie ma postać sił skupionych.

Schemat statyczny podciągu



W przykładzie podciąg jest belką ciągłą czteroprzęślową, dla której maksymalne wartości sił wewnętrznych (momentów przęsłowych M_1, M_2, M_3, M_4 ; momentów podporowych nad słupami M_B, M_C, M_D ; sił tnących na podporach skrajnych A i E oraz z prawej i lewej strony podpór pośrednich B, C, D) przedstawiają się następująco:

$$M_i = a_1 \cdot G \cdot l + a_2 \cdot P \cdot l \quad [\text{kNm}]$$

$$M_1 = 0,299 \cdot 161,70 \cdot 10,00 + 0,400 \cdot 202,50 \cdot 10,00 = 1293,48 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 0,165 \cdot 161,70 \cdot 10,00 + 0,333 \cdot 202,50 \cdot 10,00 = 941,13 \text{ kNm}$$

$$M_3 = 0,165 \cdot 161,70 \cdot 10,00 + 0,333 \cdot 202,50 \cdot 10,00 = 941,13 \text{ kNm}$$

$$M_4 = 0,299 \cdot 161,70 \cdot 10,00 + 0,400 \cdot 202,50 \cdot 10,00 = 1293,48 \text{ kNm}$$

$$M_B = -0,402 \cdot 161,70 \cdot 10,00 - 0,452 \cdot 202,50 \cdot 10,00 = -1565,33 \text{ kNm}$$

$$M_C = -0,268 \cdot 161,70 \cdot 10,00 - 0,402 \cdot 202,50 \cdot 10,00 = -1247,41 \text{ kNm}$$

$$M_D = -0,402 \cdot 161,70 \cdot 10,00 - 0,452 \cdot 202,50 \cdot 10,00 = -1565,33 \text{ kNm}$$

$$Q_i = a_3 \cdot G + a_4 \cdot P \quad [\text{kN}]$$

$$Q_A = 1,098 \cdot 161,70 + 1,299 \cdot 202,50 = 440,59 \text{ kN}$$

$$Q_{B_l} = -1,902 \cdot 161,70 - 1,952 \cdot 202,50 = -702,83 \text{ kN}$$

$$Q_{B_p} = 1,634 \cdot 161,70 + 1,885 \cdot 202,50 = 645,93 \text{ kN}$$

$$Q_{C_l} = -1,366 \cdot 161,70 - 1,768 \cdot 202,50 = -578,90 \text{ kN}$$

$$Q_{C_p} = 1,366 \cdot 161,70 + 1,768 \cdot 202,50 = 578,90 \text{ kN}$$

$$Q_{D_l} = -1,634 \cdot 161,70 - 1,885 \cdot 202,50 = -645,93 \text{ kN}$$

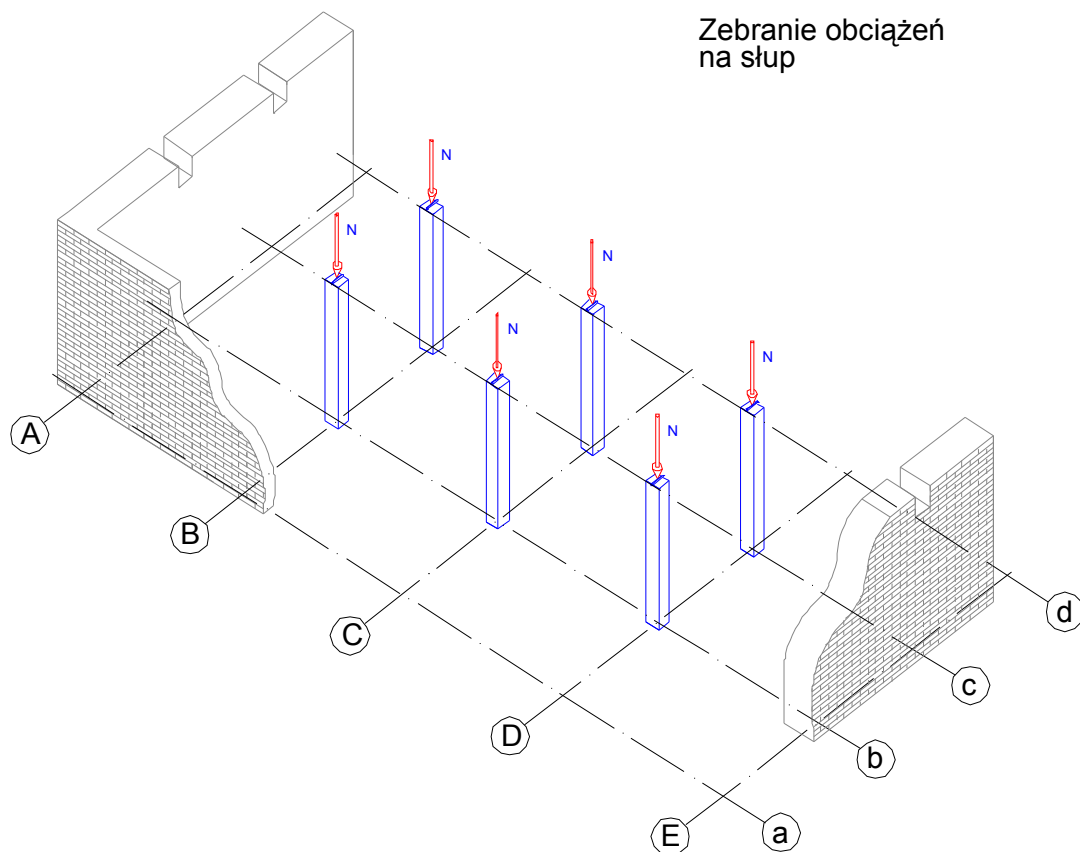
$$Q_{D_p} = 1,902 \cdot 161,70 + 1,952 \cdot 202,50 = 702,83 \text{ kN}$$

$$Q_E = -1,098 \cdot 161,70 - 1,299 \cdot 202,50 = -440,59 \text{ kN}$$

Spośród wszystkich wyznaczonych momentów i sił poprzecznych należy wybrać wartości posiadające największe wartości bezwzględne. W przykładzie są to moment podporowy M_B oraz siła tnąca z lewej strony podpory B (wyróżnione kolorem czerwonym). Są to wartości miarodajne do wyznaczania naprężeń i sprawdzania nośności przyjętego profilu stalowego.

Wartości siły obciążającej słup

Słup projektuje się jako obciążony maksymalną reakcją przekazywaną z podciagu. Reakcja ta jest sumą ciężaru własnego słupa (c.w.s), maksymalnych wartości sił tnących występujących z prawej i lewej strony słupa ($Q_{B_l} + Q_{B_p}$) oraz reakcji przekazywanych przez żebro leżące bezpośrednio nad słupem (siły te dodawane są do reakcji wyznaczonej za pomocą tablic Winklera, gdyż na schematach w tych tablicach nie uwzględnia się sił leżących nad podporami):



$$N = Q_{Bl} + Q_{Bp} + G + P + c.w.s.$$

$$N = 702,83 + 645,93 + 161,70 + 202,50 + c.w.s.$$

Wzory Winklera dla belek obciążonych:

- *obc. równomiernie rozłożonym:*

$$M_i = a_1 \cdot g \cdot l^2 + a_2 \cdot p \cdot l^2 \quad [\text{kNm}]$$

$$Q_i = a_3 \cdot g \cdot l + a_4 \cdot p \cdot l \quad [\text{kN}]$$

- *obc. skupionym*

$$M_i = a_1 \cdot G \cdot l + a_2 \cdot P \cdot l \quad [\text{kNm}]$$

$$Q_i = a_3 \cdot G + a_4 \cdot P \quad [\text{kN}]$$

Wyjaśnienie symboli stosowanych we wzorach:

- g – obciążenie stałe równomiernie rozłożone [kN/m]
- p – obciążenie użytkowe (zmiennie) równomiernie rozłożone [kN/m]
- G – obciążenie skupione stałe [kN]
- P – obciążenie skupione użytkowe (zmiennie) [kN]
- a₁; a₂; a₃; a₄ – współczynniki Winklera
- l – długość przęsła [m]