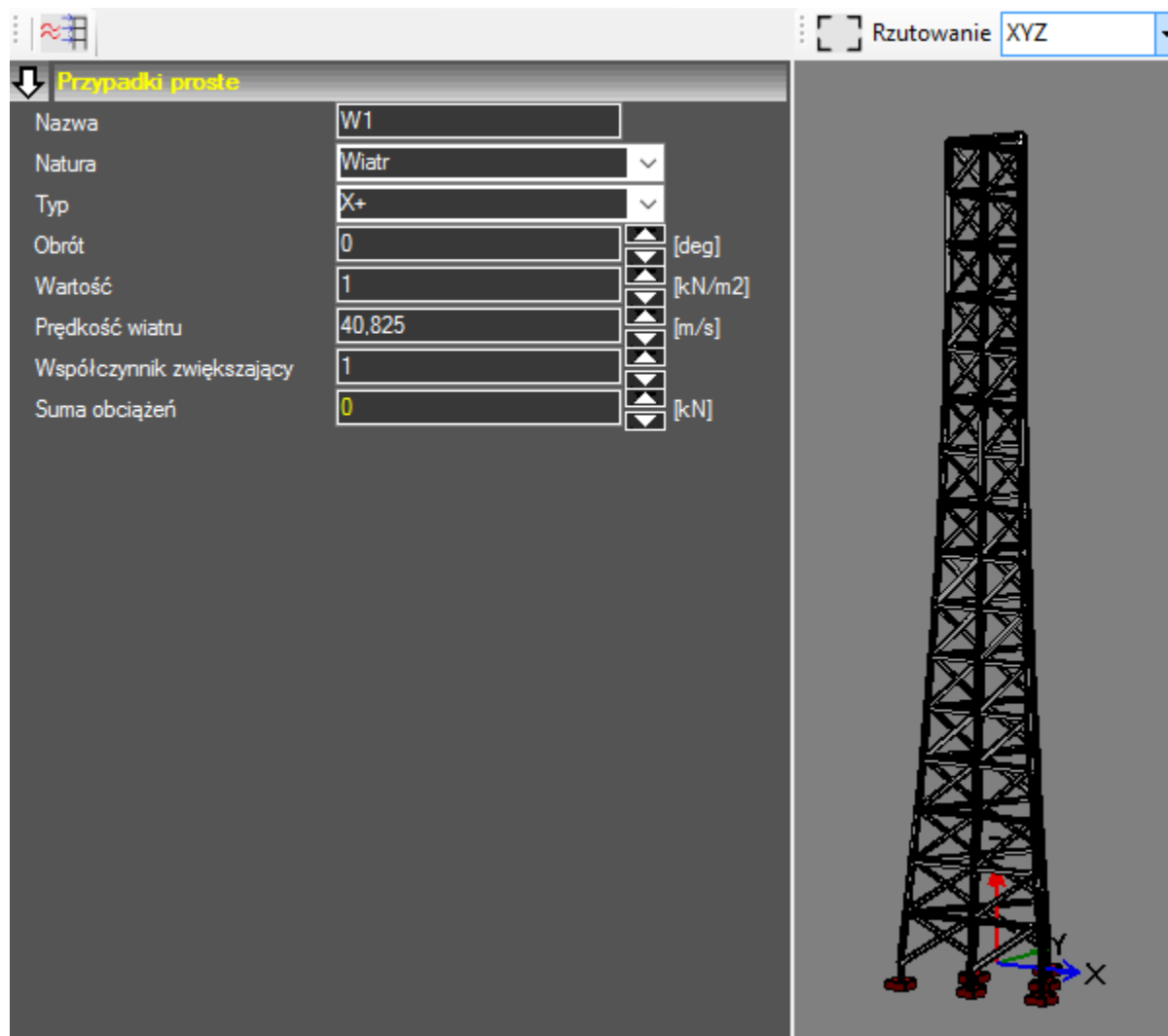


## Optymalizacja wież stalowych

W przypadku wież stalowych jednym z najistotniejszych elementów jest ustalenie obciążenia wiatrem. Generalnie jest to zagadnienie skomplikowane, gdyż wiąże się z koniecznością wyznaczenia współczynnika aerodynamicznego konstrukcji, na który ma wpływ wiele czynników. Jedną z możliwości jest skorzystanie z modułu do automatycznej generacji obciążeń wiatrowych w programie Autodesk Robot Structural Analysis, który oparty jest o symulacje oddziaływań w tunelu aerodynamicznym. Jednakże z uwagi na długi czas generacji obciążeń metoda ta nie może być wprost użyta w zagadnieniach optymalizacyjnych, ale może posłużyć jako referencja.

Program IntelForm proponuje podejście, w którym wartości obciążeń wiatrowych są przyjmowane w sposób przybliżony, a szybka generacja umożliwia ich zastosowanie do porównywania różnych wariantów konstrukcji. Obciążenie wiatrem jest definiowane na podstawie poniższych wartości:



Przebieg	Wartość	Jednostka
Nazwa	W1	
Natura	Wiatr	
Typ	X+	
Obrót	0	[deg]
Wartość	1	[kN/m <sup>2</sup> ]
Prędkość wiatru	40,825	[m/s]
Współczynnik zwiększający	1	
Suma obciążeń	0	[kN]

Standardowo dostępne są 4 kierunki działania wiatru (X+, X-, Y+, Y-), a wpisując dowolny kąt w polu **Obrót** możemy wymusić dowolny kierunek. Wartość obciążenia jest zadawana bezpośrednio przez ciśnienie wiatru lub prędkość wiatru – wielkości te są automatycznie przeliczane według wzoru  $q = 0.5 \cdot \rho \cdot V \cdot V$ ; gdzie  $\rho$  to gęstość powietrza przyjmowana jako 1.2kg/m<sup>3</sup>. Docelowo program zostanie wzbogacony o zmienny profil wiatrowy po wysokości.

Program automatycznie wyszukuje elementy stanowiące pierwszą przeszkodę na kierunku działania wiatru i przykładem do nich obciążenie, uwzględniając ich rzeczywisty przekrój i położenie. Po uruchomieniu generacji, która zazwyczaj trwa kilka sekund, uzyskujemy wizualizację przyłożonych obciążeń, a w polu Suma obciążeń pokazywana jest ich sumaryczna wartość.

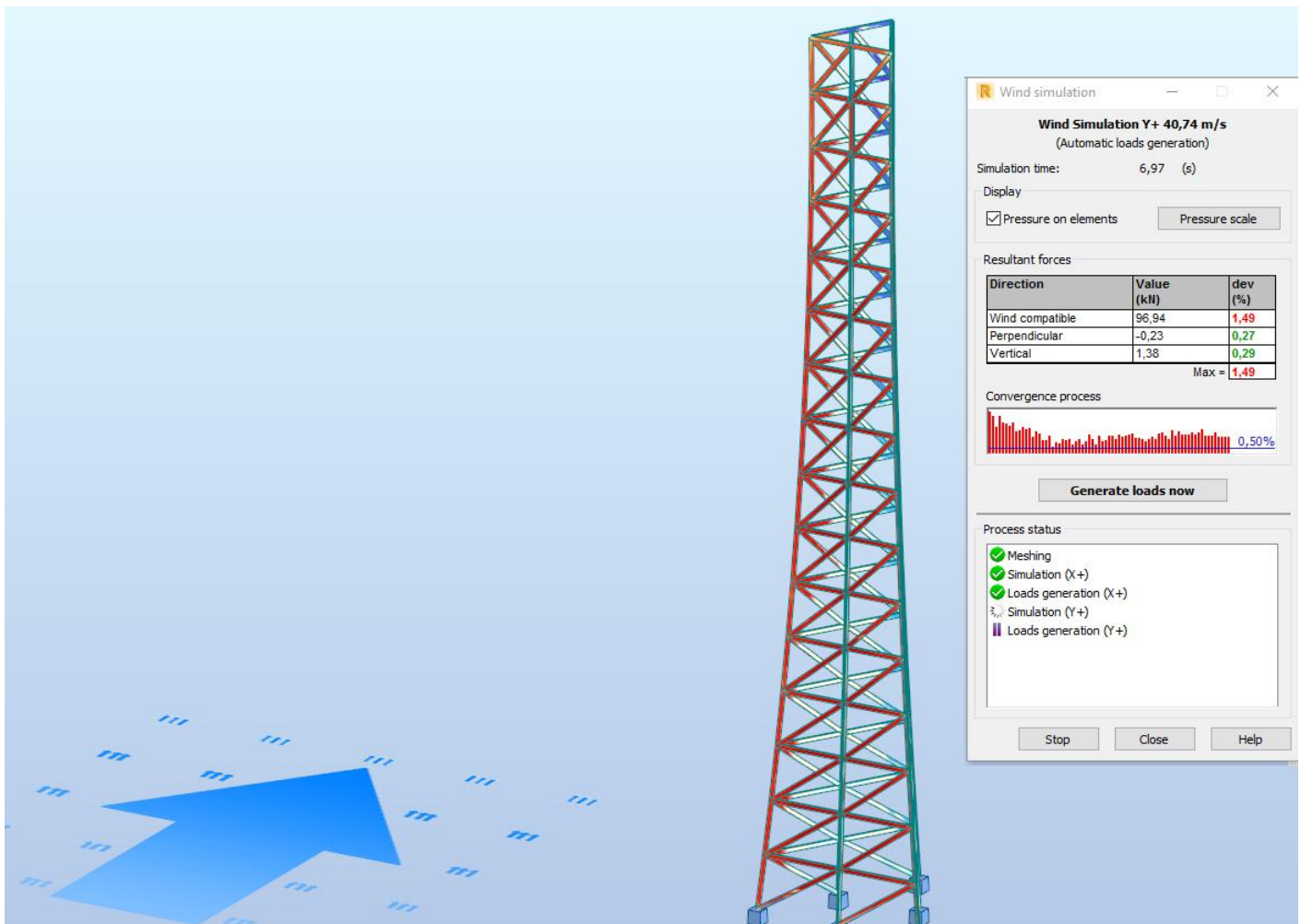
⋮ 📐 📄

⋮ 📐 Rzutowanie XYZ + 🗑️

**Przypadki proste**

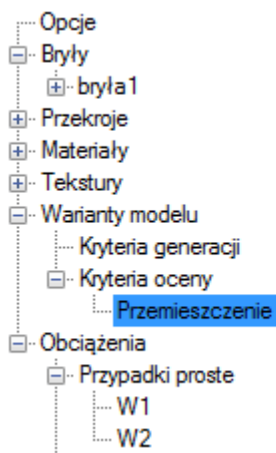
Nazwa	W1	
Natura	Wiatr	▼
Typ	X+	▼
Obrót	0	▲▼ [deg]
Wartość	1	▲▼ [kN/m <sup>2</sup> ]
Prędkość wiatru	40,825	▲▼ [m/s]
Współczynnik zwiększający	1	▲▼
Suma obciążeń	75,952	▲▼ [kN]

Kolejny krok to porównanie tych oddziaływań z oddziaływaniami uzyskanymi w programie Autodesk Robot Structural Analysis. W tym celu eksportujemy konstrukcję do Robota, gdzie uruchamiamy generator obciążeń wiatrowych. Po obliczeniach możemy porównać sumę sił wygenerowanych przez obydwa podejścia – jak widać w Robocie dla jednego kierunku pojawiają się również siły na drugim kierunku, ale w naszym zadaniu nie ma to znaczenia, gdyż interesują nas wartości ekstremalne, a te zawsze będą największe od sił na danym kierunku. Finalnie skupimy się na porównaniu maksymalnych przemieszczeń poziomych – jak widać w tym przykładzie różnice są niewielkie i są rzędu kilku procent. W przypadku konstrukcji wykazującej większe odchylenia wartości obciążeń wiatrowych można w programie IntelForm przemnożyć przez odpowiedni współczynnik zwiększający.



Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)
<b>Reactions:1 in the coordinate system: global - Cases: 1to5</b>						
<b>Displacements - Case: 2 (W1)</b>						
Case 2	W1					
Sum of val.	-75,95	-0,00	-0,00	MAX	40,52	2,64
Sum of reac.	-75,95	-0,00	-0,00	Node	98	30
Sum of forc.	75,95	-0,00	0,00	Case	2	2
Check val.	0,00	-0,00	-0,00			
Precision	4,96237e-14	2,54984e-11		MIN	0,0	-3,23
				Node	1	101
				Case	2	2
<b>Displacements - Case: 4 (Wind Simulation X+ 40,74 m/s)</b>						
Case 4	Wind Simulation X+ 40,74 m/s					
Sum of val.	-63,40	39,57	-0,67	MAX	4,23	52,07
Sum of reac.	-63,40	39,57	-0,67	Node	102	100
Sum of forc.	63,40	-39,57	0,67	Case	3	3
Check val.	0,00	-0,00	-0,00			
Precision	5,01795e-14	7,63553e-11		MIN	-3,62	0,0
				Node	26	1
				Case	3	3
<b>Displacements - Case: 3 (W2)</b>						
Case 3	W2					
Sum of val.	-0,00	-98,47	0,00	MAX	4,77	50,84
Sum of reac.	-0,00	-98,47	0,00	Node	102	100
Sum of forc.	0,00	98,47	0,00	Case	5	5
Check val.	-0,00	0,00	0,00			
Precision	3,44928e-14	6,09354e-11		MIN	-4,78	0,0
				Node	26	1
				Case	5	5
<b>Displacements - Case: 5 (Wind Simulation Y+ 40,74 m/s)</b>						
Case 5	Wind Simulation Y+ 40,74 m/s					
Sum of val.	0,52	-89,79	-1,10	MAX	11,49	3,90
Sum of reac.	0,52	-89,79	-1,10	Node	1810,90	-3,95
Sum of forc.	-0,52	89,79	1,10	Case	-1810,89	3,95
Check val.	-0,00	0,00	0,00		0,02	-0,00
Precision	3,10064e-14	6,98716e-11				

Mając w sposób przybliżony zdefiniowane obciążenia wiatrowe możemy przystąpić do próby optymalizacji konstrukcji. Jako kryteria oceny wybierzemy najmniejsze przemieszczenie poziome oraz ciężar konstrukcji, a utworzone warianty konstrukcji będą różnić się sposobem skratowania. Aby porównać wygenerowane warianty i wybrać najlepszy sposób skratowania w zupełności wystarczą przybliżone wartości obciążeń wiatrowych. Istotne jest jedynie to, by ewentualny współczynnik zwiększający dla każdego wariantu był praktycznie taki sam (program w tej chwili przyjmuje takie założenie)



**Kryteria oceny**

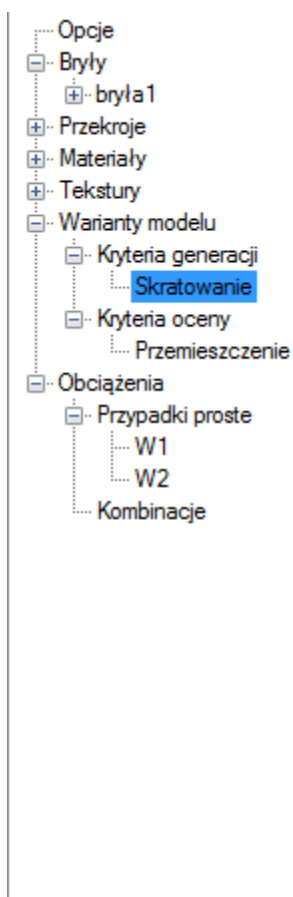
Nazwa: Przemieszczenie

Kryterium: Przemieszczenie poziome

Przypadek:
  Ciężar własny  
 W1  
 W2

Waga: 1

Uwzględnij offsety



**Kryteria generacji**

Ilość kombinacji: 12

Nazwa: Skratowanie

Grupa: System konstrukcyjny

Parametr: Słupy/Krzyżulce

Element:
  Słupy  
 Krzyżulce  
 Słupy/Krzyżulce

Linie strukturalne:
  Linia konturu 1  
 Linia konturu 2  
 Linia konturu 3

Typ krzyżulców:
  (X)Skrzyżowane  
 Góra-Dół  
 Dół-Góra  
 Góra-Dół-Dół-Góra  
 Dół-Góra-Góra-Dół  
 (X)Skrzyżowane-Przecięte  
 (K)Góra-Dół-Góra  
 (K)Dół-Góra-Dół

Ilość

Wartość minimalna: 1

Wartość maksymalna: 2

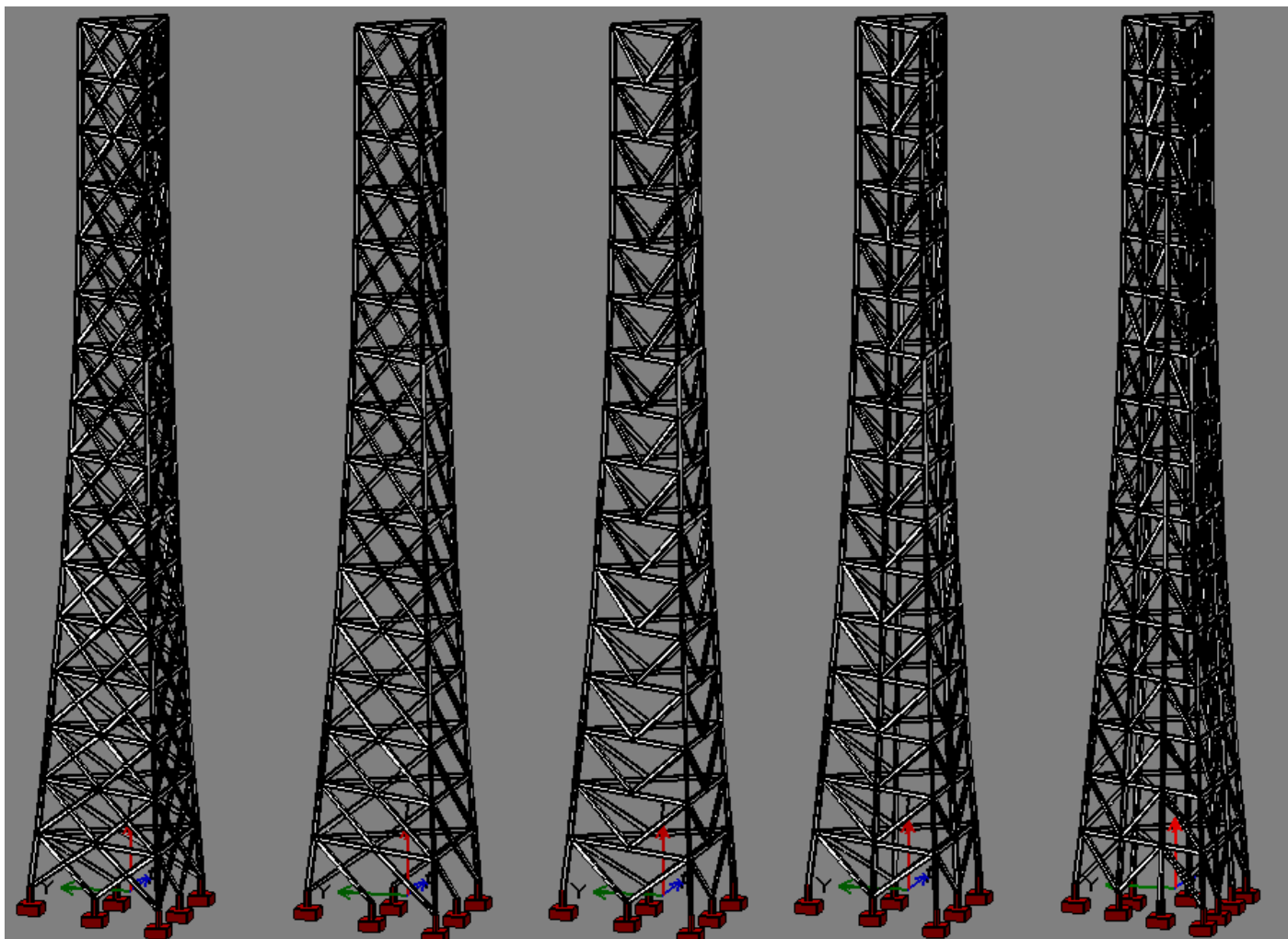
Krok: 1

W polu **Element** wybrana została generacja samych krzyżulców lub krzyżulców wraz z pionowymi słupami.

W polu **Typ krzyżulców** zostały wybrany 3 sposoby skratowania. W polu **Ilość** wybrano 1 lub 2 słupy, co daje 2 lub 3 pola krzyżulców.

Ustawienia te w polu **Linie strukturalne** zostały przypisane do wszystkich krawędzi wieży.

Powyższe ustawienia w kryterium generacji spowodują wygenerowanie 12-tu różnych wariantów – kilka z nich jest przedstawionych poniżej.



Ostatni krok to porównanie wariantów. Ponieważ zostało zdefiniowane kryterium przemieszczeniowe, do obliczeń zostanie użyty w tle silnik programu Autodesk Robot Structural Analysis. Dla każdego wariantu następuje zmiana geometrii wieży, zatem każdorazowo przed właściwymi obliczeniami obciążenia wiatrowe zostają przegenerowane. Generalnie trudno przewidzieć finalny wynik, gdyż teoretycznie bardziej sztywna konstrukcja może mieć większe przemieszczenia z uwagi na większą wartość obciążenia wiatrem – im więcej elementów tym większa powierzchnia oporu dla wiatru.

Całość procesu porównywania wariantów trwa w chwili obecnej dla powyższego przykładu ok 3min.40sek (procesor i7-4790), co daje średnią ok. 18.5sek dla jednego wariantu.

Najmniejsze przemieszczenie uzyskano dla wariantu z krzyżulcami typu X w 3-ech polach ze słupami pośrodku (40.8mm). Jednocześnie ten wariant okazał się najcięższy (40.8T)

Warianty modelu

Ilość wariantów: 12

Bieżący wariant: 8

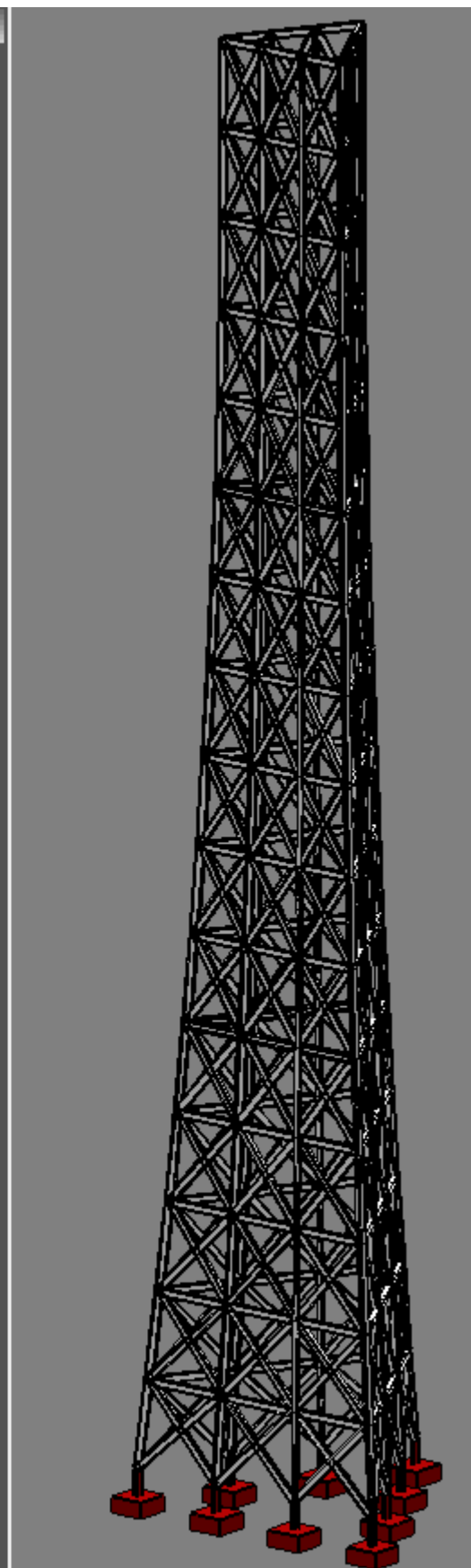
Sortuj wg oceny

Parametry wariantu

Parametr	Wartość
• Słupy/Krzyżulce	(X)Skrzyżowane(2)

Ocena wariantu

Kryterium	Waga	Ocena	Wartość
Przemieszczenie poziome[mm]	1	1	40,874
Ciężar konstrukcji[T]	1	0,519	40,833
*		0,76	



Największe przemieszczenie uzyskano dla wariantu z krzyżulcami typu Góra-Dół w 3-ech polach bez słupów pośrodku (65.5mm).

**Warianty modelu**

Ilość wariantów: 12

Bieżący wariant: 9

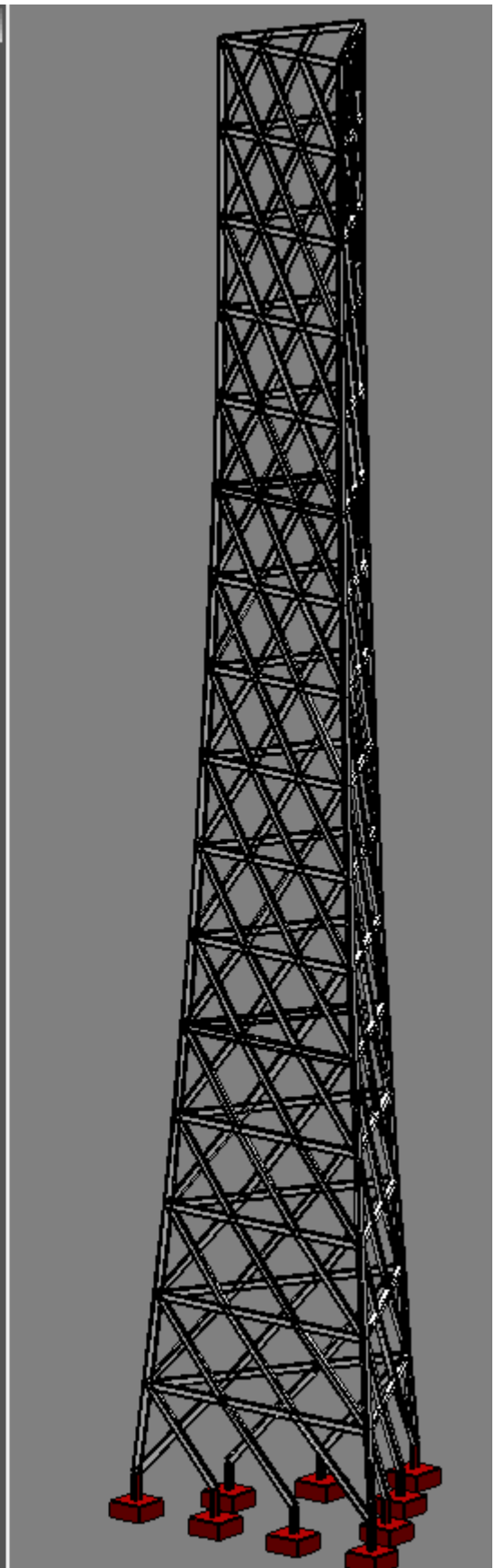
Sortuj wg oceny

Parametry wariantu

Parametr	Wartość
* Słupy/Krzyżulce	Góra-Dół(2)

Ocena wariantu

Kryterium	Waga	Ocena	Wartość
Przemieszczenie poziome[mm]	1	0,624	65,485
Ciężar konstrukcji[T]	1	0,806	26,266
*		0,715	



Jako optymalny został wybrany wariant z krzyżulcami typu Góra-Dół w 2-óch polach bez słupów pośrodku – przemieszczenie 57.3mm, ciężar 21.3T.

## Warianty modelu

Ilość wariantów

12

Bieżący wariant

1

Sortuj wg oceny

Parametry wariantu

	Parametr	Wartość
*	Słupy/Krzyżulce	Góra-Dół(1)

Ocena wariantu

	Kryterium	Waga	Ocena	Wartość
	Przesunięcie poziome[mm]	1	0,713	57,312
	Ciążar konstrukcji[T]	1	0,995	21,277
*			0,854	

