



Politechnika
Wrocławska

Politechniki Wrocławska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

(Zał. 5a do procedury Pr 08)



SPECJALNOŚĆ: KONSTRUKCJE BUDOWLANE

MAGISTERSKA

PRACA DYPLOMOWA

TYTUŁ:

**UWZGLĘDNIENIE ETAPÓW BUDOWY
PRZY WYMIAROWANIU KONSTRUKCJI STALOWYCH
NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO PRZEKRYCIA
TRYBUN STADIONU PIŁKARSKIEGO**

Autor: Mateusz Bartos

Opiekun: dr inż. Krzysztof Marcinczak

Recenzent: dr hab. inż. Dariusz Czepiżak, prof. uczelni

Rok akademicki: **2024/25**

Streszczenie

Temat pracy dyplomowej:

Uwzględnienie etapów budowy przy wymiarowaniu konstrukcji stalowych na przykładzie wybranego przekrycia trybun stadionu piłkarskiego

Słowa kluczowe:

stal, przekrycie, stadion

Treść streszczenia:

Przedmiotem pracy dyplomowej było przedstawienie stosowanych rozwiązań przekryć stadionów oraz ukazanie jak uwzględnienie etapów budowy wpływa na wartości sił wewnętrznych w elementach konstrukcji. Analizę tę przeprowadzono na przykładzie wybranego stworzonego projektu stadionu piłkarskiego.

Geometrię budynku określono na podstawie koncepcji architektonicznej. Obiekt jest kołowo symetryczny, średnica zewnętrzna wynosi 390m. Słupy pośrednie rozmieszczone są po okręgu o średnicy 310m w odstępach kątowym równym 4 stopnie, natomiast słupy zewnętrzne rozmieszczone są na planie okręgu o średnicy 370m, w odstępach kątowym również wynoszącym 4 stopnie. Na słupach pośrednich oparto pierścień pośredni, zaś na zewnętrznych - pierścień zewnętrzny. Pierścień środkowy został podwieszony przy użyciu ciągów do pierścienia pośredniego i składa się z dwóch elementów – dolnego, wykonany z ciągów oraz górnego wykonanego z rur okrągłych (podobnie jak pozostałe pierścienie). Pierścień zewnętrzny z pośrednim łączy kratownice o rozpiętości 40m. Dach wykonany jest z membrany, a spadek skierowany jest w kierunku pierścienia pośredniego z obu jego stron.

Do obliczeń wykorzystano przestrzenny model obliczeniowy wykonany w programie Dlubal RFEM 6.08 oddający w pełni specyfikę pracy projektowanej konstrukcji. Korzystano również z przestrzennego modelu wykonanego w programie Tekla Structures 2023 oraz programu IDEA Statica 23.1 umożliwiającego prowadzenie obliczeń dla połączeń występujących w konstrukcji przy użyciu MES.

Summary

Diploma project subject:

Consideration of construction stages in the dimensioning of steel structures using the example of a selected football stadium grandstand cover

Key words:

steel, covering, stadium

Summary content:

The subject of the diploma thesis was to present the solutions used for stadium roof structures and to demonstrate how the consideration of construction stages affects the internal forces in structural elements. This analysis was conducted using the example of a selected design of a football stadium.

The building's geometry was determined based on an architectural concept. The structure is circularly symmetrical, with an outer diameter of 390 meters. Intermediate columns are arranged along a circle with a diameter of 310 meters at angular intervals of 4 degrees, while outer columns are arranged along a circle with a diameter of 370 meters, also at angular intervals of 4 degrees. The intermediate ring is supported on the intermediate columns, and the outer ring on the outer columns. The central ring is suspended using cables from the intermediate ring and consists of two elements: the lower part made of cables and the upper part made of round tubes (similarly to the other rings). The intermediate and outer rings are connected by trusses spanning 40 meters. The roof is made of membrane material, sloping towards the intermediate ring on both sides.

A 3D calculation model created in the Dlubal RFEM 6.08 program was used for the analysis, fully reflecting the specifics of the designed structure's behavior. Additionally, a 3D model was created in Tekla Structures 2023, and IDEA Statica 23.1 software was used to perform calculations for the connections in the structure using the finite element method (FEM).

Spis treści

1	Wstęp	7
1.1	Cel i zakres pracy	7
1.2	Rodzaje rozwiązań konstrukcyjnych przekryć stadionów piłkarskich	7
1.2.1	Układ słupowo-belkowy	7
1.2.2	Układ wspornikowy	9
1.2.3	Układ ramowy	10
1.2.4	Układ przestrzenno-ramowy	12
1.2.5	Układ masztowo-ciężnowy	14
1.2.6	Układ pierścieniowo-ciężnowy	15
1.2.7	Układ powłokowy	16
1.2.8	Układ z ruchomym przekryciem	18
2	Stadion w Wołgogradzie	20
2.1	Dane ogólne i przeznaczenie obiektu	20
2.2	Etapy montażu	21
2.2.1	Etap I – Montaż słupów pośrednich oraz pierścienia ściskanego	21
2.2.2	Etap II – Montaż fasady oraz kratownic	22
2.2.3	Etap III – Montaż pierścieni środkowych i wstępny naciąg pierścienia górnego	23
2.2.4	Etap IV – Montaż belek znajdujących się pomiędzy górnym i dolnym pierścieniem środkowym oraz wstępny naciąg pierścienia dolnego	24
2.2.5	Etap V – Końcowy naciąg dolnego i górnego pierścienia środkowego	26
2.2.6	Etap VI – Montaż konstrukcji drugorzędnej	27
3	Projekt koncepcyjny	28
3.1	Przedmiot i zakres opracowania	28
3.2	Zestawienie obciążeń	28
3.2.1	Ciężar własny konstrukcji stalowej	28
3.2.2	Ciężar własny okładzin zewnętrznych	28
3.2.3	Ciężar własny instalacji	29
3.2.4	Ciężar własny pomostów technicznych	29
3.2.5	Obciążenie użytkowe	30
3.2.6	Obciążenie wiatrem	31
3.2.7	Obciążenie wiatrem w czasie montażu	46

3.2.8	Obciążenie śniegiem	47
3.2.9	Obciążenie od temperatury	51
3.2.10	Sprężenie konstrukcji.....	54
3.3	Kombinacje obciążeń	55
3.3.1	Przypadki proste.....	55
3.3.2	Założenia przyjęte przy tworzeniu kombinacji	55
3.3.3	Lista utworzonych kombinacji SGN.....	56
3.3.4	Lista utworzonych kombinacji SGU (Charakterystyczna)	57
3.4	Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe	58
3.4.1	Wymiarowanie górnego pierścienia środkowego	58
3.4.2	Wymiarowanie pierścienia pośredniego	66
3.4.3	Wymiarowanie stężeń zewnętrznych.....	78
3.4.4	Wymiarowanie stężeń wewnętrznych.....	89
3.4.5	Wymiarowanie cięgien wchodzących w skład środkowego pierścienia dolnego....	98
3.4.6	Sprawdzenie stanu granicznego użytkowości przekrycia	100
3.4.7	Wymiarowanie połączenia nr 1	102
3.4.8	Wymiarowanie połączenia nr 2.....	109
3.4.9	Wymiarowanie połączenia nr 3.....	115
3.5	Etapowanie budowy	127
3.5.1	Sposób uwzględnienia	127
3.5.2	Kombinacje obciążeń.....	127
3.5.3	Etap I.....	130
3.5.4	Etap II.....	131
3.5.5	Etap III	132
3.5.6	Etap IV	134
3.5.7	Etap V	136
3.5.8	Etap VI.....	137
3.5.9	Porównanie wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy	139
3.5.10	Wnioski i spostrzeżenia	152
3.6	Spis dokumentacji rysunkowej.....	153
4	Bibliografia.....	153

1 Wstęp

1.1 Podstawa, cel i zakres opracowania

Podstawę opracowania stanowi temat pracy dyplomowej magisterskiej pt. *Uwzględnienie etapów budowy przy wymiarowaniu konstrukcji stalowych na przykładzie wybranego przekrycia trybun stadionu piłkarskiego* wydany przez Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego.

Celem pracy jest poznanie specyfiki projektowania i konstruowania stalowych konstrukcji przekryć trybun stadionów piłkarskich z uwzględnieniem etapowania realizacji tego typu konstrukcji.

Zakres pracy obejmuje:

a) część studialną:

Przedstawienie stosowanych rozwiązań konstrukcji stalowych przekryć trybun stadionów piłkarskich. Omówienie zagadnienia dotyczącego uwzględniania etapowania realizacji inwestycji przy wymiarowaniu konstrukcji.

b) część projektową:

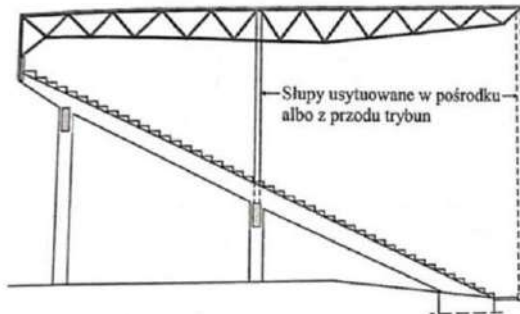
Projekt koncepcyjny konstrukcji przekrycia trybun stadionu piłkarskiego z uwzględnieniem etapowania realizacji.

1.2 Rodzaje rozwiązań konstrukcyjnych przekryć stadionów piłkarskich

1.2.1 Układ słupowo-belkowy

Konstrukcja belkowo-słupowa jest jednym z klasycznych rozwiązań stosowanych w budowie dachów stadionów i innych dużych obiektów. System tworzą belki lub kratownice ułożone w kierunku prostopadłym do krawędzi boiska. Jest stosunkowo prosty do zaprojektowania, co czyni go popularnym rozwiązaniem w wielu projektach budowlanych, w tym w stadionach. Belkowo-słupowa konstrukcja nośna jest uniwersalna i może być stosowana zarówno w obiektach o mniejszych, jak i dużych rozpiętościach.

Wyzwaniem jest jednak konieczność zastosowania odpowiedniej liczby podpór, zwłaszcza w przypadku stadionów o dużych rozpiętościach, co może wpłynąć na widoczność oraz komfort widzów. Zatem w większych obiektach może być konieczne zastosowanie dodatkowych elementów nośnych, aby zminimalizować liczbę podpór na trybunach.



Rys. 1.1. Szkic przedstawiający schemat układu słupowo-belkowego [11]

Przykładem klasycznego układu słupowo-belkowego jest stadion Gigg Lane w Bury (Anglia). Konstrukcja ta jest typowa dla starszych stadionów, gdzie zastosowanie prostych belek i słupów ogranicza koszty, przy jednoczesnym zachowaniu funkcjonalności. W przypadku Gigg Lane, mimo modernizacji m.in. instalacji oświetlenia i wymianie miejsc siedzących, główny układ konstrukcyjny pozostał niezmieniony, co odzwierciedla tradycyjne podejście do projektowania stadionów dla mniejszych obiektów sportowych.



Rys. 1.2. Zdjęcie przedstawiające trybunę stadionu Gigg Lane w Bury, Anglia [18]

Podobny układ można znaleźć w starszych stadionach niższych lig, gdzie prostota konstrukcji była priorytetem ze względu na ograniczone budżety. Innym przykładem jest stadion Sportpark Ronhof Thomas Sommer w niemieckim mieście Fürth.



Rys. 1.3. Zdjęcie przedstawiające trybunę stadionu Sportpark Ronhof Thomas Sommer, Fürth [23]

1.2.2 Układ wspornikowy

Konstrukcje wspornikowe charakteryzują się tym, że elementy dachu są podparte na jednym końcu, a drugi jest swobodnie wysunięty. Jest to technika wykorzystywana w przypadku, gdy chcemy stworzyć przestronny dach bez potrzeby stosowania wielu podpór. Zalety tego rozwiązania obejmują nie tylko lepsze doświadczenie widza (z uwagi na brak słupów ograniczających widoczność) ale także możliwość tworzenia estetycznie atrakcyjnych konstrukcji.

Wyzwania związane z układami wspornikowymi to wyższe koszty budowy niż w przypadku np. układu słupowo-belkowego oraz często konieczność stosowania zaawansowanych materiałów, takich jak stal o wysokiej wytrzymałości. Jednak ich popularność w prestiżowych projektach stadionowych podkreśla znaczenie tych systemów jako synonimu nowoczesności i zaawansowania technologicznego w architekturze sportowej.

Z uwagi na położenie dźwigara wspornikowego można wyróżnić:

- Konstrukcje z dźwigarem umiejscowionym powyżej pokrycia
- Konstrukcje z dźwigarem umiejscowionym poniżej pokrycia

Przykładem przekrycia wspornikowego, w którym dźwigar jest umiejscowiony ponad przekryciem jest stadion Karaiskakis w Pireusie. Pozwala to na uzyskanie przestronnych trybun z lepszą widocznością. Przekrycie podparte jest 70 radialnymi belkami, opartymi od strony boiska na pierścieniu (przestrzenna kratownica). Obciążenie z pierścienia przejmują wieże o wysokości 37 m i wysięgu 43 m. Poszycie to przezroczysta membrana z tkaniny technicznej.



Rys. 1.4. Zdjęcie przedstawiające stadion Karaiskakis w Pireus, Grecja [11]

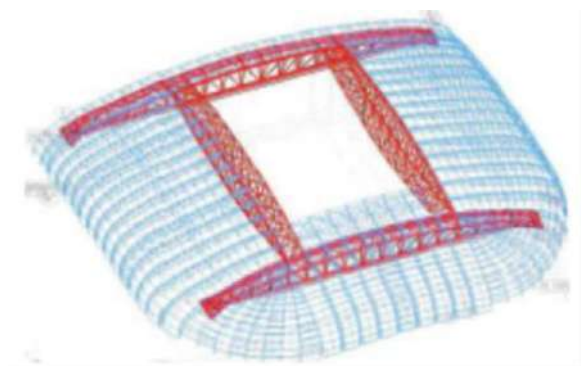
Natomiast w przypadku stadionu zbudowanego we Freiburgu zastosowano rozwiązanie z dźwigarami umiejscowionymi poniżej przekrycia dachowego.



Rys. 1.5. Zdjęcie przedstawiające wnętrze stadionu we Freiburgu, Niemcy [23]

1.2.3 Układ ramowy

Podstawowymi i najważniejszymi elementami układu ramowego są ramy w postaci kratownic prostych lub łukowych usytuowanych równolegle do krawędzi boiska. Ramy te mogą stanowić podparcie dla elementów drugorzędnych. Dźwigary ram w przekroju są najczęściej płaskie, trójkątne lub czworokątne.



Rys. 1.6. Grafika przedstawiająca typową konstrukcję z układem ramowym: pierwszorzędne dźwigary kratowe podparte z obu stron na słupach lub trybunach oraz drugorzędne dźwigary oparte na drugorzędnych dźwigarach

Stadion Miejski w Poznaniu jest przykładem konstrukcji, w której zastosowano innowacyjne rozwiązania inżynierskie w zakresie układu ramowego. Ramę pierwszorzędną stanowią kratownice przestrzenne o przekroju trójkątnym oparte na żelbetowych trybunach. Dźwigary drugorzędne stanowią kratownice o przekroju prostokątnym oparte z obu stron na dźwigarach pierwszorzędnych.



Rys. 1.7. Zdjęcie ukazujące konstrukcję dachu Stadionu Miejskiego w Poznaniu [23]



Rys. 1.8. Zdjęcie wykonane podczas budowy Stadionu Miejskiego w Poznaniu z widocznymi dźwigarami kratowymi

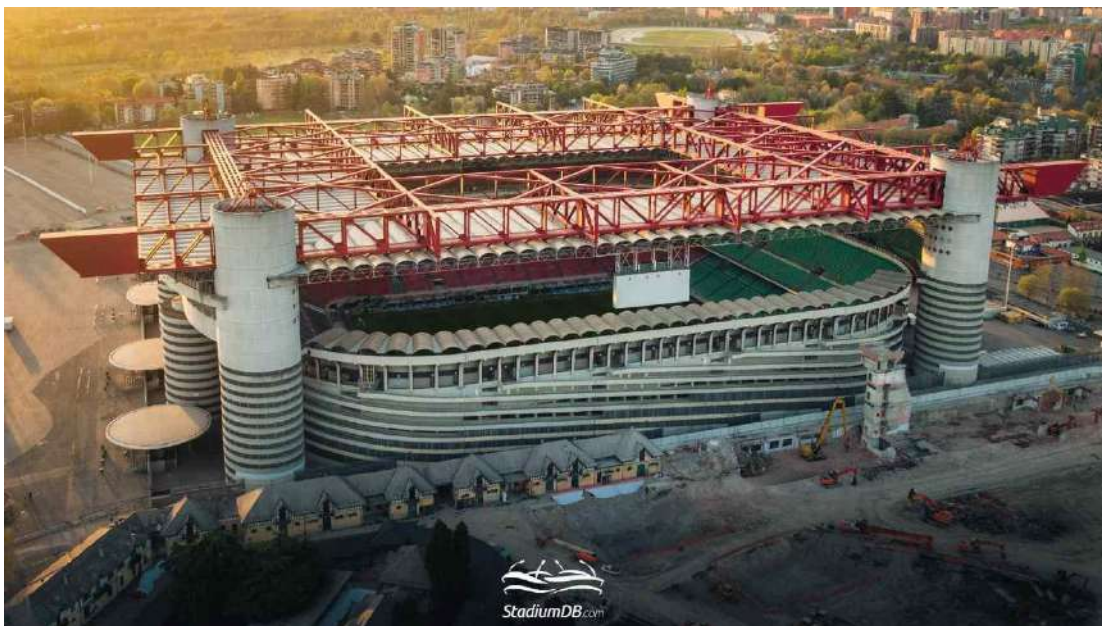
1.2.4 Układ przestrzenno-ramowy

Układ przestrzenno-ramowy to konstrukcja trójwymiarowa, w której elementy tworzą ramy przestrzenne, wzajemnie się podpierające i tworzące sieć, która przenosi obciążenia we wszystkich kierunkach. W układzie tym elementy są połączone w węzłach, a cała konstrukcja działa jako złożony system współpracujących ze sobą części.

Przykładem konstrukcji o układzie przestrzenno-ramowym jest stadion San Siro w Mediolanie. Dach tej budowli oparty jest na czterech głównych dźwigarach kratowych, opartych na czterech masywnych żelbetowych wieżach. Wysokość głównych dźwigarów kratowych wynosi 9,5 m, a ich pasy mają przekrój skrzynkowy o wymiarach 700x700 mm. Dźwigary te stanowią główną część konstrukcji, natomiast elementy drugorzędne to belki tworzące przestrzenne sieci kratownic o wymiarach 37x41 m. Cały układ wzajemnie się przenika, tworząc solidną strukturę nośną. Do pokrycia dachu zastosowano tkaninę półprzezroczystą PTFE (politetrafluoroetylen), która została naciągnięta na aluminiowe elementy konstrukcyjne.



Rys. 1.9. Zdjęcie ukazujące stadion San Siro w Mediolanie od zewnątrz, [13]



Rys. 1.10. Zdjęcie ukazujące stadion San Siro w Mediolanie od zewnątrz, [23]

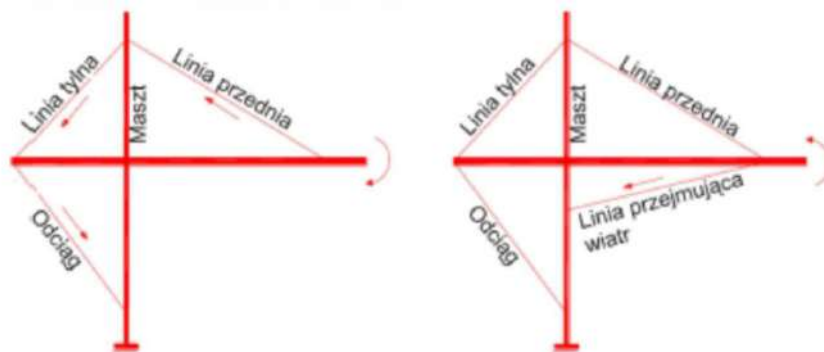


Rys. 1.11. Zdjęcie ukazujące pojedynczy element kratownicy pierwszorzędnej wchodzącej w skład stadionu San Siro w Mediolanie, [15]

1.2.5 Układ masztowo-ciężnowy

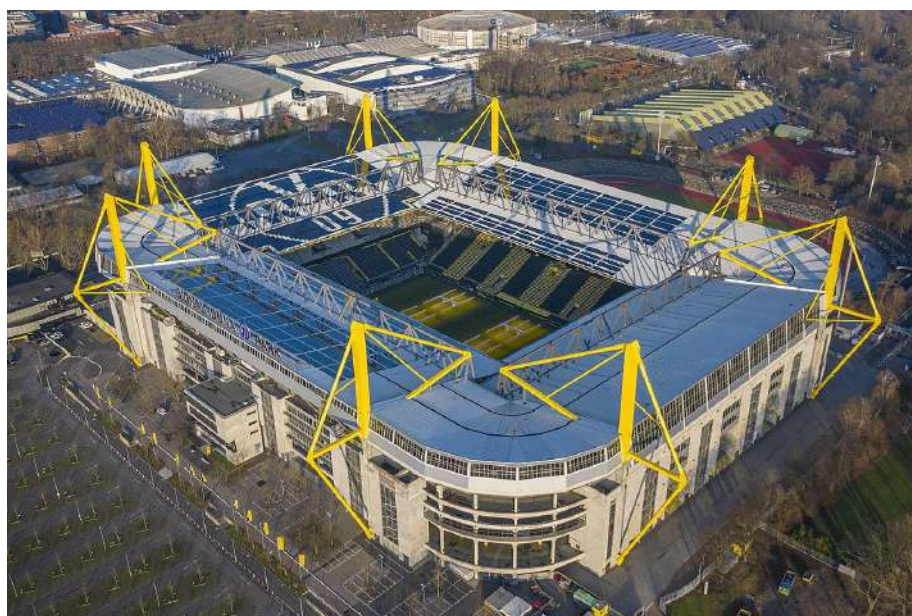
Konstrukcje masztowo-ciężnowe łączą w swojej koncepcji elementy masztów stalowych z napinanymi ciężnami (np. stalowymi kablami), które wspierają całą strukturę dachu. Jest to rozwiązanie wykorzystywane w obiektach wymagających dużej przestronności i lekkości konstrukcji, z jednoczesnym efektem wizualnym, który dodaje monumentalności.

Cięgna są podatne na drgania oraz podczas ssania wiatru na dach może nastąpić zmiana znaku siły w linii nośnej z rozciągania na ściskanie. Ciężno wiotkie nie przenosi ściskania, należy więc zastosować elementy stabilizujące np. zwiększenie masy poszycia lub ciężna napinające



Rys. 1.12. Grafika przedstawiająca schemat działania konstrukcji masztowo-ciężnowej w przypadku parcia oraz ssania wiatru

Przykładem stadionu, w którym wykorzystano układ masztowo-ciężnowy jest Signal Iduna Park, będący domowym stadionem niemieckiej drużyny Borussia Dortmund. Główną konstrukcję dachu stanowią dźwigary kratowe o przekroju trójkątnym połączone do ośmiu pylonów.

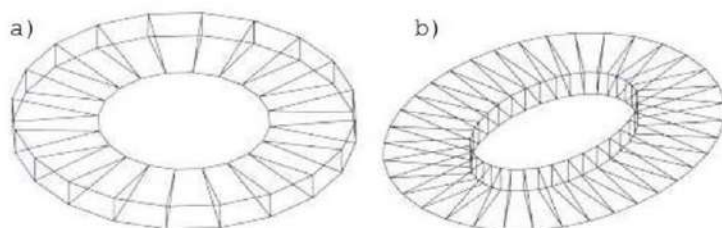


Rys. 1.13. Zdjęcie ukazujące stadion Signal Iduna Park w Dortmundzie od zewnątrz [27]

1.2.6 Układ pierścieniowo-ciężnowy

Układ pierścieniowo-ciężnowy przypomina kształtem koło rowerowe. Istnieją dwie podstawowe opcje takiego układu:

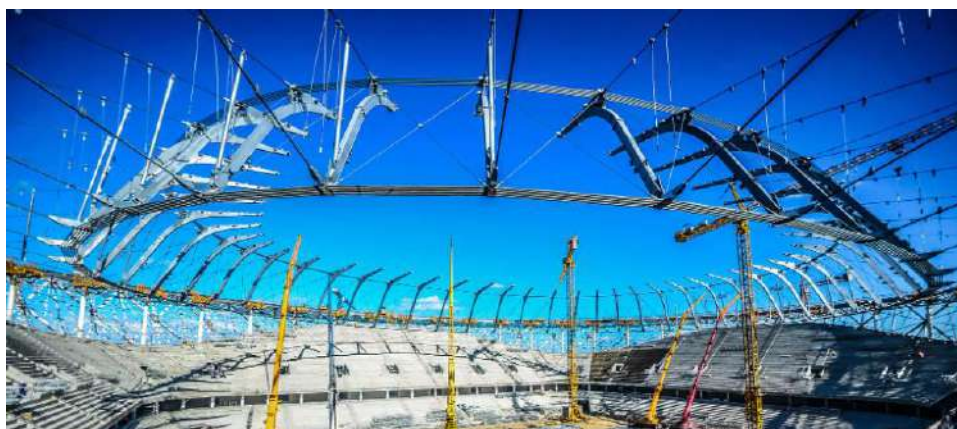
- a) dwa ściskane pierścienie zewnętrzne i jeden rozciągany pierścień wewnętrzny
- b) jeden ściskany pierścień zewnętrzny i dwa rozciągane pierścienie wewnętrzne



Rys. 1.14. Konstrukcje przekryć pierścieniowo-ciężnowych ze względu na układ pierścieni oraz cięgien [23]

Słupy, na których opiera się zewnętrzny pierścień ściskany są najczęściej łączone przegubowo z fundamentem oraz pierścieniem, dzięki czemu poddane są wyłącznie siłom osiowym, nie przejmują one sił poziomych spowodowanych naciąganiem cięgien. Pierścień ściskany można wykonać z rur okrągłych lub kratownic przestrzennych o przekroju trójkątnym albo prostokątnym. Natomiast pierścień rozciągany najczęściej wykonany jest z cięgien. Oba pierścienie połączone są układem cięgien zapewniającym stateczność przekrycia. Dolne cięgna obciążone są w przypadku ciężaru własnego, śniegu oraz parcia wiatru, natomiast cięgna górne przejmują obciążenia spowodowane ssaniem wiatru. Główną zaletą takiego rozwiązania jest znacznie mniejszy ciężar własny względem pozostałych rozwiązań.

Przykładem obiektu, w którym występuje układ pierścieniowo-ciężnowy jest stadion w Wołgogradzie. Zastosowano w nim pojedynczy pierścień ściskany wykonany z rur okrągłych oraz dwa pierścienie rozciągane wykonane z cięgien. Pierścienie połączone są ze sobą układem cięgien pomiędzy którymi znajdują się słupki rozporowe.

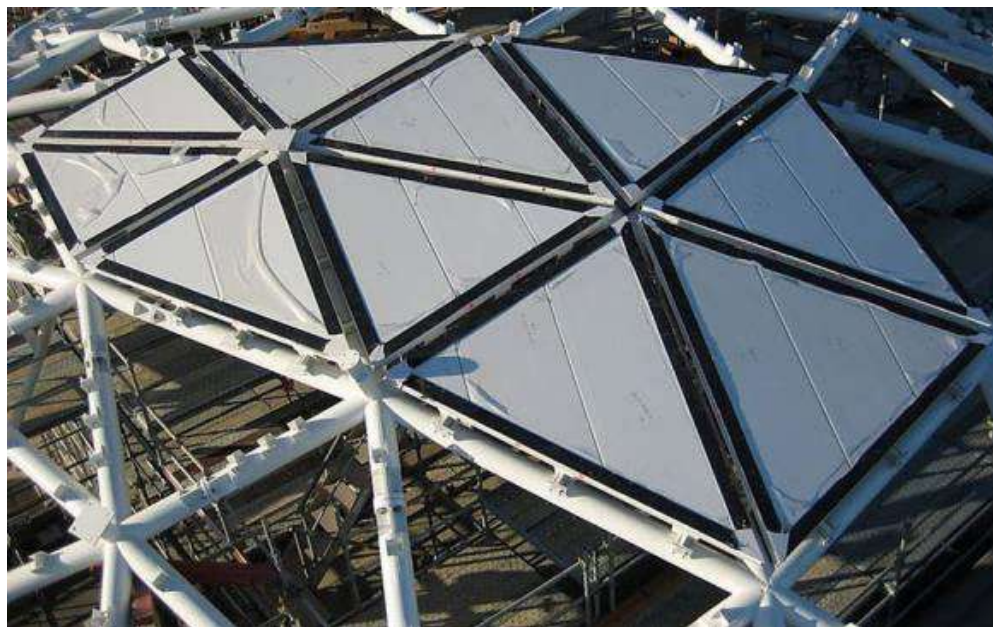


Rys. 1.15. Zdjęcie wykonane podczas budowy stadionu w Wołgogradzie, widoczny jest pierścień środkowy wykonany z cięgien [17]

1.2.7 Układ powłokowy

Powłokowe konstrukcje dachowe, takie jak np. membrany, są lekkie i elastyczne, a jednocześnie wytrzymałe. Mogą być podtrzymywane przez różne struktury nośne, w tym stalowe kratownice, ramy czy słupy.

Przykładem takiego rozwiązania jest stadion AAMI Park w Melbourne. Jego przekrycie składa się z elementów powłokowych w kształcie trójkąta, w których obrzeża wykonane są ze sztywno połączonych rur ϕ 273mm.



Rys. 1.16. Zdjęcie przedstawiające trójkątne elementy powłokowe podczas budowy stadionu AAMI Park w Melbourne, Australia [11]



Rys. 1.17. Zdjęcie przedstawiające stadion AAMI Park w Melbourne, Australia [11]

Natomiast przykładem konstrukcji, w której wykorzystano przekrycia membranowe jest Olympiastadion w niemieckim Monachium. Przekrycie zostało zaprojektowane na potrzeby Igrzysk Olimpijskich w 1972 roku. Zostało wykonane z lekkiej tkaniny membranowej, z materiału PTFE (politetrafluoroetylen), który charakteryzuje się dużą odpornością na czynniki atmosferyczne oraz długowiecznością. Membrany zostały rozciągnięte na stalowych linach tworzących sieć kratownicową, mają rozpiętość przekraczającą 50 metrów, a całość konstrukcji obejmuje powierzchnię ponad 75 000 m². Struktura jest złożona z 13 niezależnych, ale połączonych segmentów membranowych, co pozwala na elastyczność i stabilność przekrycia.



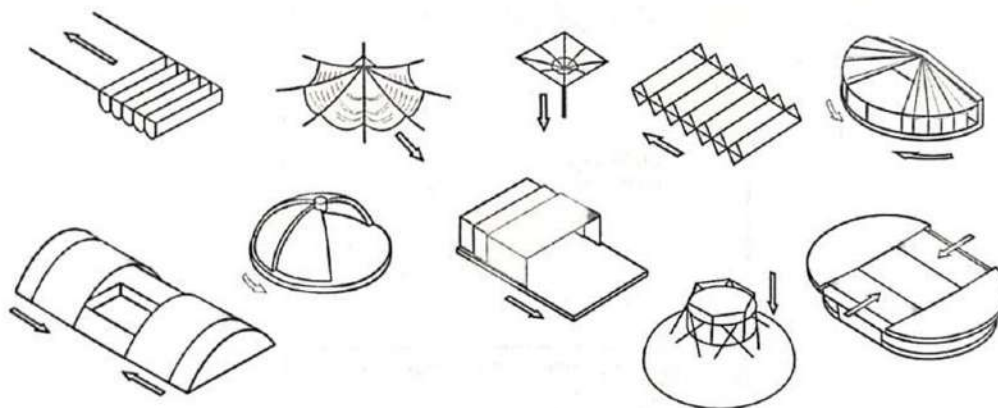
Rys. 1.18. Zdjęcie przedstawiające z lotu ptaka obiekt Olympiastadion, Monachium, Niemcy [12]



Rys. 1.19. Zdjęcie przedstawiające wnętrze obiektu Olympiastadion, Monachium, Niemcy [12]

1.2.8 Układ z ruchomym przekryciem

Stadiony z rozsuwanym przekryciem to obiekty, w których konstrukcja umożliwia przesuwanie części lub całości dachu w zależności od potrzeb. Tego typu systemy umożliwiają dostosowanie do warunków pogodowych panujących na zewnątrz. Otwieranie dachu może nastąpić poprzez składanie, ślizganie, obrót czy też rozsuwanie.



Rys. 1.20. Grafika przedstawiająca różne rodzaje przekryć ruchomych [9]

Przykładem obiektu posiadającego składany dach jest Estadio Santiago Bernabéu w Madrycie. System zadaszenia składa się z 12 potężnych stalowych kratownic, które tworzą ramy dla rozsuwanego dachu. Dach można zamknąć w zaledwie 25 minut, co zapewnia elastyczność w organizacji zarówno wydarzeń sportowych, jak i pozasportowych. Mechanizm opiera się na płótnach polimerowych, które są wsparte nadmuchiwanymi poduszkami, nadającymi konstrukcji stabilność. Przy rozłożonym systemie membranowy dach chroni obiekt przed warunkami atmosferycznymi, a w przypadku potrzeby otwarcia, płótna można złożyć i schować. Cały dach zaprojektowano z myślą o optymalnym wykorzystaniu przestrzeni oraz minimalnym wpływie na estetykę stadionu.



Rys. 1.21. Zdjęcie przedstawiające konstrukcję składanego przekrycia na stadionie Santiago Bernabéu w Madrycie, podczas gdy dach jest otwarty [zdz. autorskie]



Rys. 1.22. Zdjęcie przedstawiające zamknięty dach w trakcie meczu na stadionie Santiago Bernabéu, Madryt, Hiszpania [zdj. autorskie]

Innym przykładem obiektu ze składanym dachem jest Stadion Narodowy w Warszawie. Wykorzystuje on konstrukcję opartą na systemie linowym, umożliwiającą szybkie zamykanie i otwieranie. Dach jest wykonany z półprzezroczystej membrany poliestrowej powlekanej PVC, która jest rozpięta na stalowej konstrukcji linowej. Mechanizm zamykania dachu bazuje na rozsuwaniu membrany wzdłuż stalowych lin napiętych promieniście od środka konstrukcji. Membrana jest przesuwana za pomocą wózków poruszających się po specjalnych linach prowadzących. Cały proces składania lub rozkładania trwa około 15 minut.



Rys. 1.23. Zdjęcie przedstawiające przekrycie Stadionu Narodowego w Warszawie podczas składania [22]

2 Stadion w Wołgogradzie

2.1 Dane ogólne i przeznaczenie obiektu

Stadion w Wołgogradzie jest jednym ze stadionów wybudowanych, by umożliwić rozgrywanie meczów podczas trwających w roku 2018 Mistrzostw Świata organizowanych przez FIFA odbywających się w Rosji. Na obiekcie podczas turnieju rozegrane zostały 4 mecze fazy grupowej. Natomiast od czasu mistrzostw pełni on rolę głównego stadionu drużyny Rotor-Wołgograd oraz organizowane są na nim różne uroczystości i wydarzenia.

Na stadionie znajduje się 45 568 miejsc, w tym 2 280 miejsc dla prasy, 640 miejsc VIP i 460 miejsc dla osób z niepełnosprawnościami. Został wzniesiony w latach 2015-2017, a koszt budowy wyniósł 16,37 mld rubli. [25] W budowie wzięło udział ponad 1000 pracowników i setki różnych maszyn. [19]



Rys. 2.1. Zdjęcie przedstawiające widok z zewnątrz na stadion w Wołgogradzie, Rosja [18]

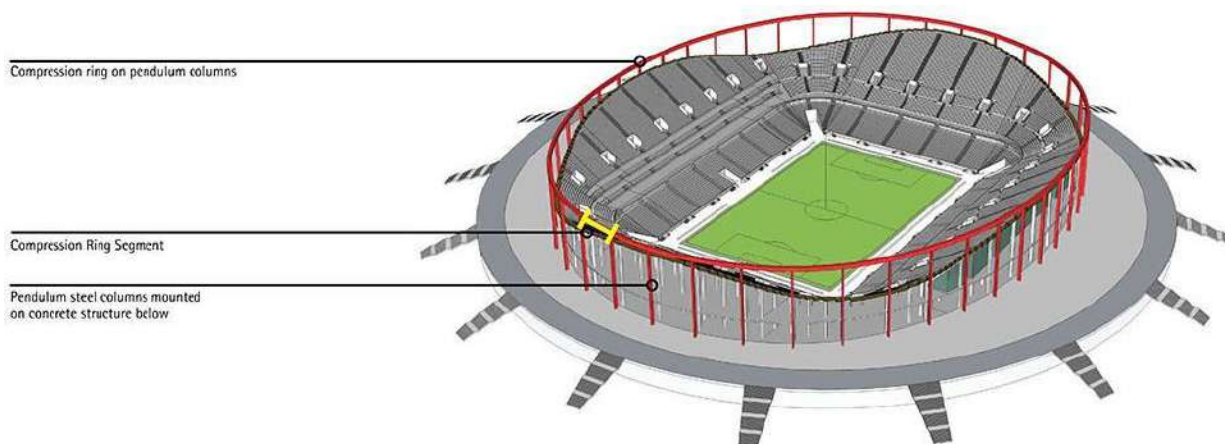


Rys. 2.2. Zdjęcie przedstawiające widok od wewnątrz na stadion w Wołgogradzie, Rosja [18]

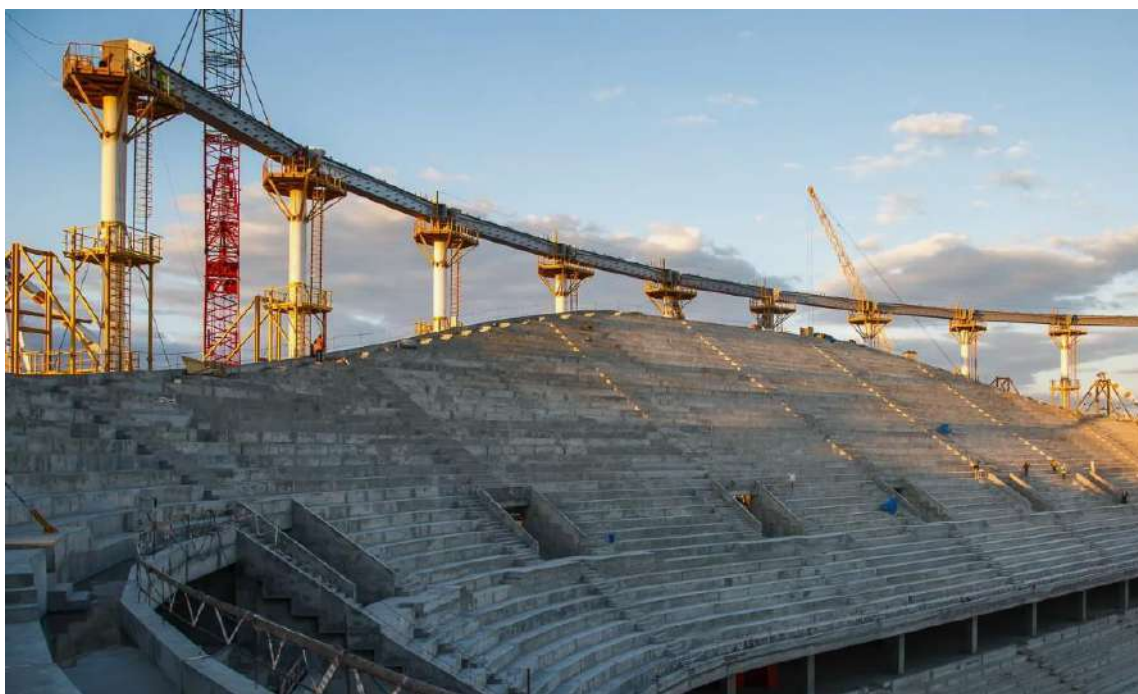
2.2 Etapy montażu

2.2.1 Etap I – Montaż słupów pośrednich oraz pierścienia ściskanego

W pierwszym etapie montażu zamontowano 44 słupy rozmieszczone po okręgu. Na nich osadzono pierścień ściskany, składający się z 44 identycznych metalowych belek o wadze 30 ton każda. Słupy z fundamentem oraz pierścieniem są połączone przegubowo.



Rys. 2.3. Grafika przedstawiająca zamontowane słupy oraz oparty na nich pierścień – Etap I [24]



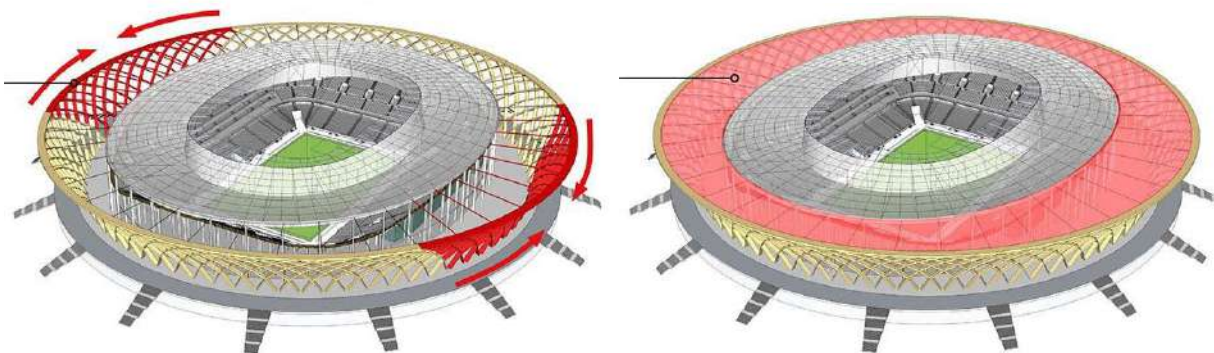
Rys. 2.4. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające montaż pierścienia opartego na słupach pośrednich. [21]



Rys. 2.5. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające montaż pierścienia opartego na słupach pośrednich z widocznym stykiem montażowym. [21]

2.2.2 Etap II – Montaż fasady oraz kratownic

Kolejnym etapem był montaż fasady oraz kratownic łączących pierścienie pośredni z pierścieniem zewnętrznym. Fasada stadionu to ażurowa konstrukcja w kształcie stożkowym, składająca się z przeplatających się belek i prętów o różnej grubości, rozmieszczonych na całym obwodzie obiektu. Waga całej konstrukcji fasady wynosi aż 3600 ton. Szkielet fasady opiera się na 44 piramidalnych żelbetowych kolumnach poprzez przegubowe podpory. Taki sposób osadzenia umożliwia kompensowanie obciążeń wynikających z oddziaływań temperatury. Dekoracyjna siatka osłonowa na fasadzie, nazywana „kolczugą”, została wykonana z nierdzewnego drutu stalowego. Jej ramę tworzą przecinające się stalowe liny, które przymocowano do fasady stadionu. Siatka została osadzona na tym systemie linowym za pomocą ponad 19 000 stalowych pierścieni, co nadaje całej konstrukcji zarówno estetyczny wygląd, jak i trwałość.



Rys. 2.6. Grafika przedstawiająca lokalizację oraz geometrię montowanej fasady oraz kratownic – Etap II [24]



Rys. 2.7. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające montaż elementów stalowej fasady – Etap II [19]



Rys. 2.8. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające montaż kratownic dachowych – Etap II [26]

2.2.3 Etap III – Montaż pierścieni środkowych oraz wstępny naciąg pierścienia górnego

Następnym krokiem było ułożenie pierścienia dolnego oraz górnego na trybunach, po czym naciągnięto wstępnie cięgna pierścienia górnego unosząc jednocześnie całość w górę.



Rys. 2.9. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające pracowników układających cięgna pierścienia górnego na trybunie – Etap III [17]



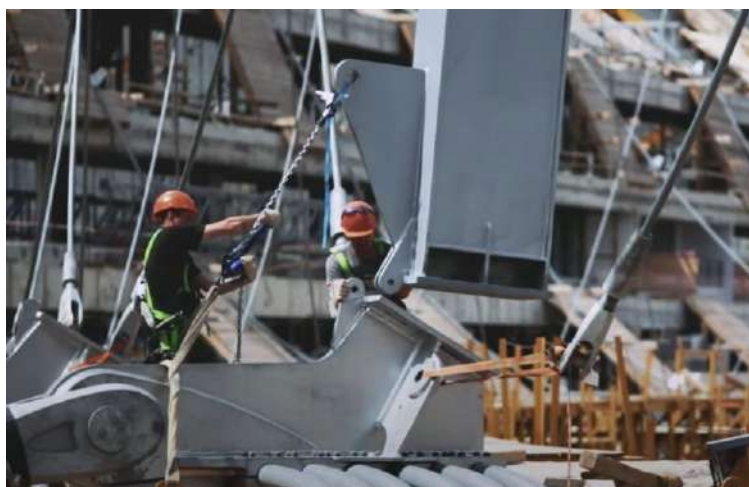
Rys. 2.10. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające proces podnoszenia / naciągu pierścienia górnego – Etap III [17]

2.2.4 Etap IV – Montaż belek znajdujących się pomiędzy górnym i dolnym pierścieniem środkowym oraz wstępny naciąg pierścienia dolnego

W czwartym etapie zamontowano belki dołączone z jednej strony do pierścienia górnego a z drugiej do dolnego. Następnie rozpoczęto wstępny naciąg pierścienia dolnego oraz zamontowano słupki rozporowe znajdujące się pomiędzy dolnymi i górnymi cięgnami łączącymi pierścień środkowy z pierścieniem ściskany.



Rys. 2.11. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające montaż belek łączących pierścień dolny z górnym – Etap IV [17]



Rys. 2.12. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające montaż belek łączących pierścień dolny z górnym – Etap IV [17]



Rys. 2.13. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające wciągarkę naciągającą cięgna – Etap IV [17]

2.2.5 Etap V – Końcowy naciąg dolnego i górnego pierścienia środkowego

W kolejnym etapie naciągnięto pierścień górny i dolny do wartości końcowej, uzyskując tym samym ostateczną geometrię. Zamontowano również stężenia pionowe w pierścieniu oraz dołączono cięgna łączące pierścienie do pierścienia ściskanego.



Rys. 2.14. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające ekipę montującą stężenia pionowe – Etap V [17]



Rys. 2.15. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające naciąg cięgien [17]



Rys. 2.16. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające łączenie cięgien z pierścieniem ściskanym [17]

2.2.6 Etap VI – Montaż konstrukcji drugorzędnej

W ostatnim etapie zamontowano konsole, do których mocowana jest membrana oraz wszystkie pozostałe elementy drugorzędne takie jak podesty techniczne, podkonstrukcje pod drzwi itp.



Rys. 2.17. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające montaż konsoli podpierającej membranę – Etap VI [17]



Rys. 2.18. Zdjęcie z budowy stadionu w Wołgogradzie przedstawiające zamontowane konsole, pomosty techniczne oraz podkonstrukcje pod instalacje – Etap VI [17]

3 Projekt koncepcyjny

3.1 Przedmiot i zakres opracowania

Przedmiotem opracowania jest stalowa konstrukcja przekrycia stadionu piłkarskiego zlokalizowanego we Wrocławiu. Geometrię budynku określono na podstawie koncepcji architektonicznej. Obiekt jest kołowo symetryczny, średnica zewnętrzna wynosi 390m.

Słupy pośrednie rozmieszczone są po okręgu o średnicy 310m w odstępach kątowym równym 4 stopnie, natomiast słupy zewnętrzne rozmieszczone są na planie okręgu o średnicy 370m, w odstępach kątowym również wynoszącym 4 stopnie. Na słupach pośrednich oparto pierścień pośredni, zaś na zewnętrznych - pierścień zewnętrzny. Pierścień środkowy został podwieszony przy użyciu cięgien do pierścienia pośredniego i składa się z dwóch elementów – dolnego, wykonany z cięgien oraz górnego wykonanego z rur okrągłych (podobnie jak pozostałe pierścienie). Pierścień zewnętrzny z pośrednim łączy kratownice o rozpiętości 40m. Dach wykonany jest z membrany, a spadek skierowany jest w kierunku pierścienia pośredniego z obu jego stron.

Do obliczeń wykorzystano przestrzenny model obliczeniowy oddający w pełni specyfikę pracy projektowanej konstrukcji. W projekcie wykorzystano następujące oprogramowanie:

- Dlubal RFEM 6.08
- Tekla Structures 2023
- IDEA Statica 23.1

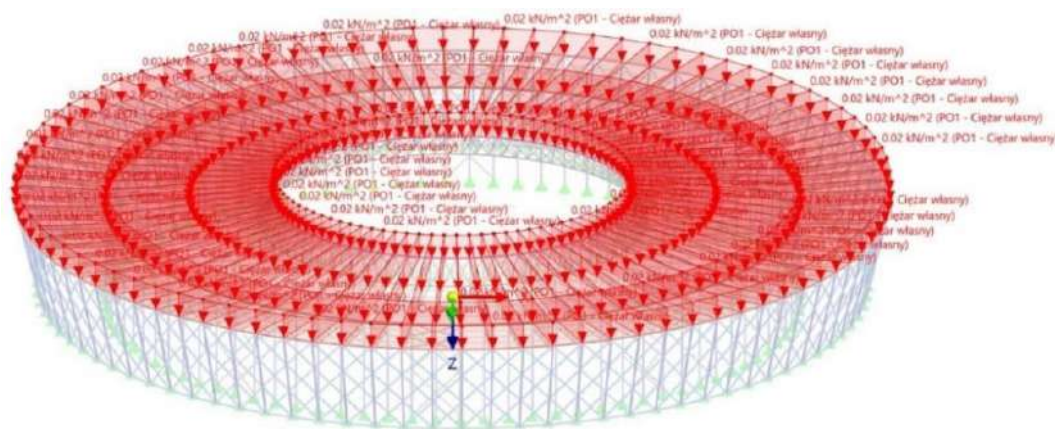
3.2 Zestawienie obciążeń

3.2.1 Ciężar własny konstrukcji stalowej

Ciężar własny konstrukcji stalowej zostanie uwzględniany automatycznie przez program obliczeniowy Dlubal RFEM 6.

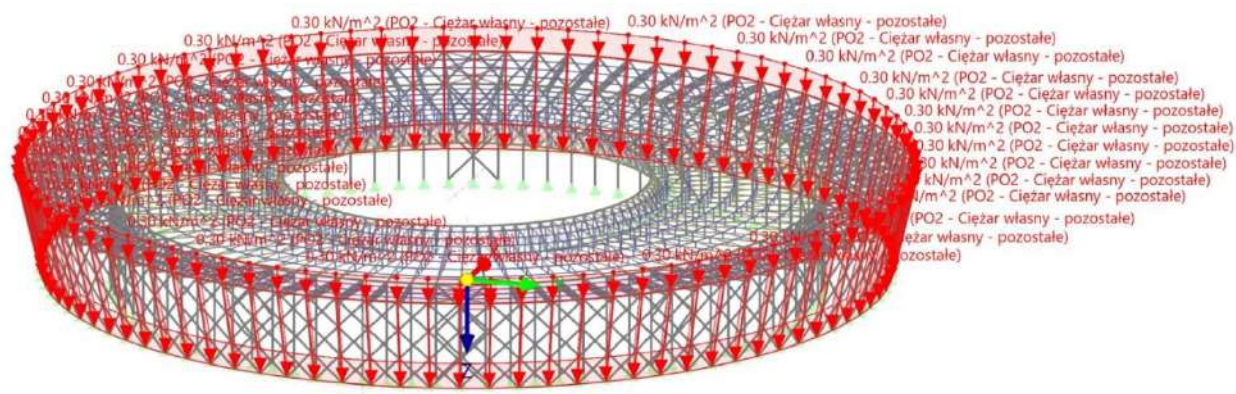
3.2.2 Ciężar własny okładzin zewnętrznych

Ciężar własny membrany przyjęto jako $0,02 \text{ kN/m}^2$ na całej połaci dachu - Rys. 3.1.



Rys. 3.1. Graficzne przedstawienie przyłożonego obciążenia ciężarem własnym membrany

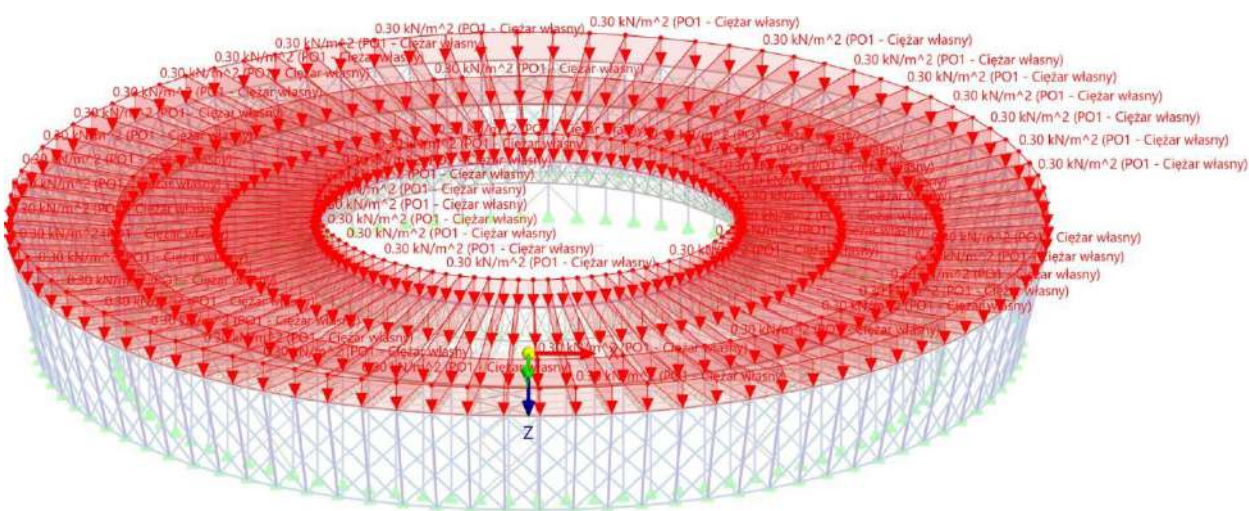
Ciężar własny fasady przyjęto jako $0,30 \text{ kN/m}^2$ - Rys. 3.2.



Rys. 3.2. Graficzne przedstawienie przyłożonego obciążenia ciężarem własnym membrany

3.2.3 Ciężar własny instalacji

Ciężar własny instalacji przyjęto jako $0,30 \text{ kN/m}^2$ na całej połaci dachu - Rys. 3.3.

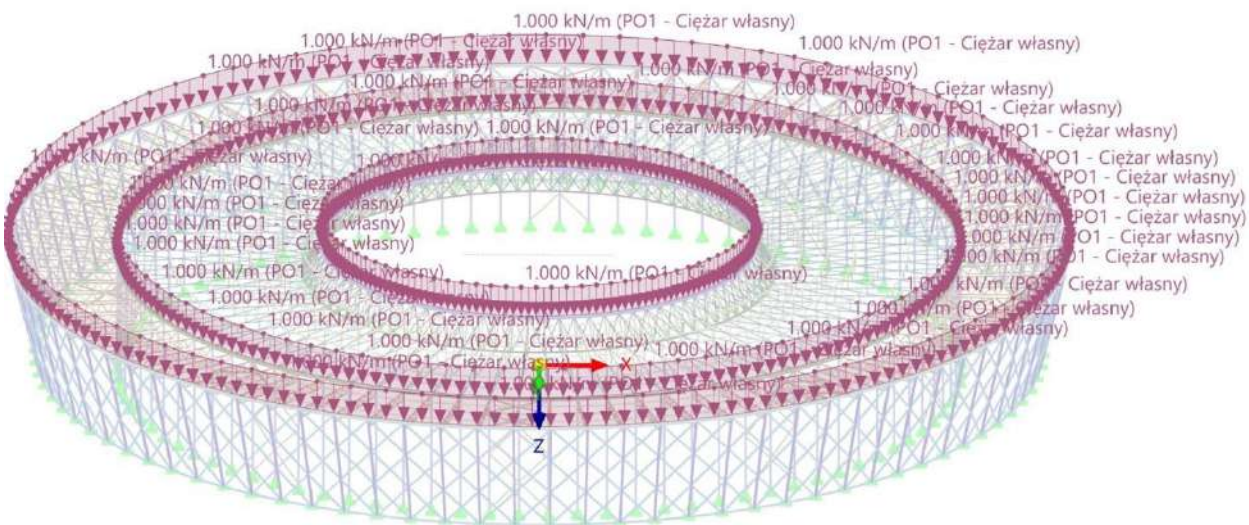


Rys. 3.3. Graficzne przedstawienie przyłożonego obciążenia ciężarem własnym instalacji

3.2.4 Ciężar własny pomostów technicznych

Na dachu obiektu przewidziane jest ulokowanie 3 pomostów technicznych. Prowadzić one będą dookoła dachu oraz zostaną oparte na pierścieniach wykonanych z rur okrągłych.

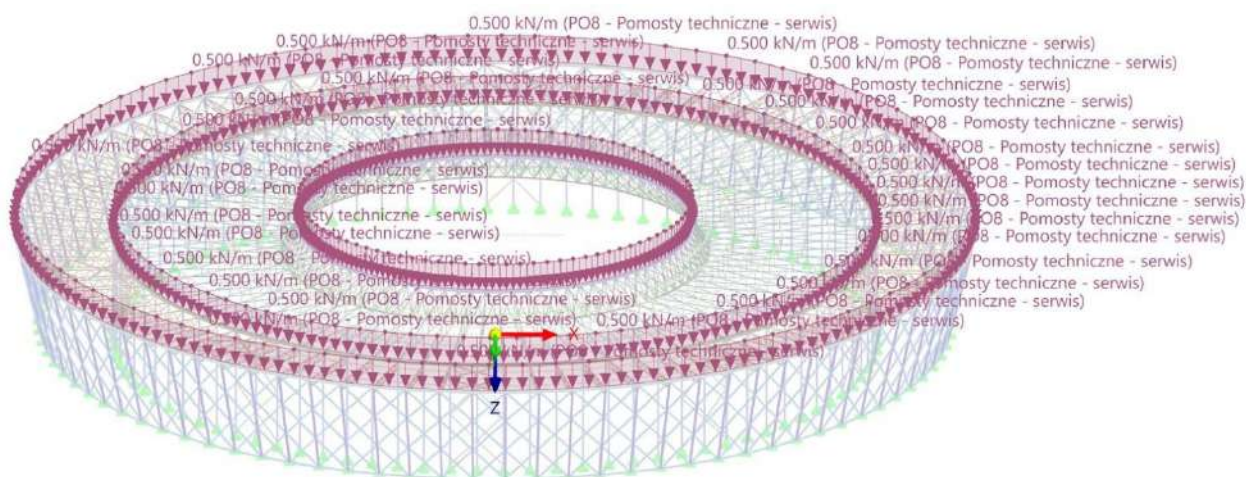
Ciężar każdego pomostu technicznego przyjęto jako $1,0 \text{ kN/m}$ - Rys. 3.4.



Rys. 3.4. Graficzne przedstawienie przyłożonego obciążenia ciężarem własnym pomostów

3.2.5 Obciążenie użytkowe

Obciążenia użytkowe dla każdego pomostu technicznego przyjęto jako $0,5 \text{ kN/m}$ - Rys. 3.5.



Rys. 3.5. Graficzne przedstawienie przyłożonego obciążenia użytkowego na pomosty techniczne

3.2.6 Obciążenie wiatrem

a) Przyjęte założenia oraz obliczenie wartości ciśnienia szczytowego

Projektowany budynek zlokalizowany jest we Wrocławiu, zatem wg Rysunku NA.1 normy PN-EN-1991-1-4:2008 *Oddziaływania ogólne - Oddziaływania wiatru* [5], znajduje się on w 1. strefie obciążenia wiatrem – Rys. 3.6



Rys. 3.6. Podział Polski na strefy obciążenia wiatrem, wg [5]

Obiekt zlokalizowany będzie na wysokości 130 m n.p.m. W związku z tym wg Tablicy NA.1 normy [5] przedstawionej na Rys. 3.7, wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru wynosi $v_{b,0} = 22 \text{ m/s}$.

Strefa	$v_{b,0}$ (m/s)	$v_{b,0}$ (m/s)	$q_{b,0}$ (kN/m ²)	$q_{b,0}$ (kN/m ²)
	$A \leq 300 \text{ m}$	$A > 300 \text{ m}$	$A \leq 300 \text{ m}$	$A > 300 \text{ m}$
1	22	$22 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]$	0,30	$0,30 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]^2$
2	26	26	0,42	0,42
3	22	$22 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]$	0,30	$0,30 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]^2 \cdot \left[\frac{20000 - A}{20000 + A} \right]$
UWAGA: A – wysokość nad poziomem morza (m)				

Rys. 3.7. Wartości podstawowe bazowej prędkości wiatru i ciśnienia prędkości wiatru w strefach, wg [5]

Wartości współczynników sezonowego oraz kierunkowego przyjęto jako wartości zalecane przez normę [5]:

- $c_{season} = 1,0$ – współczynnik sezonowy

- $c_{dir} = 1,0$ – współczynnik kierunkowy

Wartość bazową prędkości wiatru obliczono wg [5] na podstawie wzoru (3.1):

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (3.1)$$

gdzie:

c_{dir} - współczynnik kierunkowy

c_{season} - współczynnik sezonowy

$v_{b,0}$ - wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru

Zatem wartość bazowa prędkości wiatru wynosi:

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 22 \text{ m/s} = 22 \text{ m/s}$$

Na podstawie tabeli zawartej w normie [5] zakwalifikowano teren, na którym posadowiony zostanie obiekt, do kategorii III. – Rys. 3.8.

Kategoria terenu		z_0 [m]	z_{min} [m]
0	Obszary morskie i przybrzeżne wystawione na otwarte morze	0,003	1
I	Jeziora lub tereny płaskie, poziome, o nieznaczej roślinności i bez przeszkód terenowych	0,01	1
II	Tereny o niskiej roślinności, takiej jak trawa, i o pojedynczych przeszkodach (drzewa, budynki) oddalonych od siebie na odległość równą co najmniej ich 20 wysokościom	0,05	2
III	Tereny regularnie pokryte roślinnością lub budynkami albo o pojedynczych przeszkodach, oddalonych od siebie najwyżej na odległość równą ich 20 wysokościom (takie jak wsie, tereny podmiejskie, stałe lasy)	0,3	5
IV	Tereny, których przynajmniej 15 % powierzchni jest pokryte budynkami o średniej wysokości przekraczającej 15 m	1,0	10

UWAGA. Kategorie terenu pokazano w Załączniku A.1.

Rys. 3.8. Kategorie i parametry terenu, wg [5]

Współczynnik terenu zależny od wysokości chropowatości obliczono wg [5] na podstawie wzoru (3.2):

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (3.2)$$

gdzie:

z_0 - wymiar chropowatości ($z_0 = 0,3 \text{ m}$ dla III kat. terenu)

$z_{0,II}$ - wymiar chropowatości dla kat. II ($z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$)

Zatem wartość współczynnika terenu wynosi:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3 \text{ m}}{0,05 \text{ m}} \right)^{0,07} = 0,215$$

Wartość współczynnika chropowatości terenu obliczono na podstawie wzoru (3.3):

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (3.3)$$

gdzie:

- k_r - współczynnik terenu
- z_0 - wymiar chropowatości ($z_0 = 0,3 \text{ m}$ dla III kat. terenu)
- z - wysokość nad poziomem gruntu

Zatem wartość współczynnika chropowatości wynosi:

$$c_r(z) = 0,215 \cdot \ln \left(\frac{46 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} \right) = 1,082$$

Wartość współczynnika rzeźby terenu (orografii) zgodnie z wytycznymi w normie [5] przyjęto jako:

$$c_o(z) = 1,0$$

Wartość średniej prędkości wiatru obliczono zgodnie z [5] ze wzoru (3.4):

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (3.4)$$

gdzie:

- $c_r(z)$ - współczynnik chropowatości
- $c_o(z)$ - współczynnik orografii
- v_b - wartość bazowej prędkości wiatru

Zatem wartość średniej prędkości wiatru wynosi:

$$v_m(z) = 1,082 \cdot 1,0 \cdot 22 \text{ m/s} = 23,80 \text{ m/s}$$

Wartość gęstości powietrza przyjęto jako $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$.

Wartość współczynnika turbulencji obliczono zgodnie z normą [5] na podstawie wzoru (3.5):

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad (3.5)$$

gdzie:

- k_I - współczynnik turbulencji (zalecana wartość $k_I = 1,0$)
- $c_o(z)$ - współczynnik orografii
- z - wysokość nad poziomem gruntu
- z_0 - wymiar chropowatości

Zatem wartość współczynnika turbulencji wynosi:

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{46 \text{ m}}{0,3 \text{ m}}\right)} = 0,199$$

Wartość szczytową ciśnienia prędkości obliczono zgodnie z [5] ze wzoru (3.6):

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (3.6)$$

gdzie:

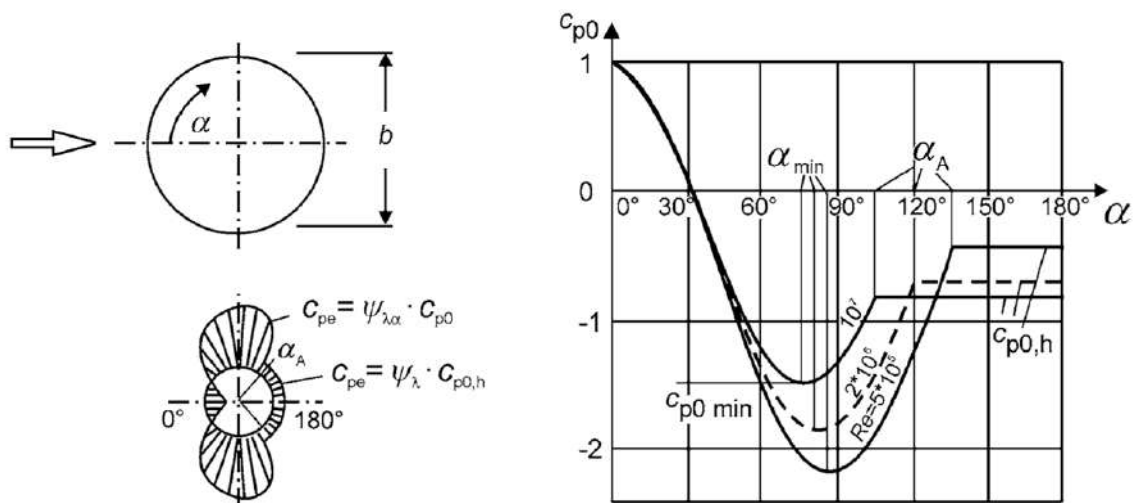
- ρ - gęstość powietrza
- $I_v(z)$ - współczynnik turbulencji
- $v_m(z)$ - średnia prędkość wiatru

Zatem wartość szczytowa ciśnienia prędkości wynosi:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,199] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(23,80 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 0,847 \text{ kPa}$$

b) Obciążenie wiatrem działające na ściany

W celu wyznaczenia współczynnika ciśnienia zewnętrznego C_{pe} na ściany obiektu skorzystano z rozkładu opisującego obciążenia dla walca kołowego, zgodnie z [5] – Rys. 3.9.



Rys. 3.9 Rozkład ciśnienia dla walca kołowego, wg [5]

Wartość szczytową prędkości wiatru na wysokość z_e obliczono ze wzoru (3.7):

$$v(z_e) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}} \quad (3.7)$$

gdzie:

- ρ - gęstość powietrza
- q_p - wartość szczytowa ciśnienia prędkości

Zatem wartość szczytowa prędkości wiatru wynosi:

$$v(z_e) = \sqrt{\frac{2 \cdot 847 \text{ Pa}}{1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 847 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1}{\text{m}^2}}{1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 36,81 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Wartość liczby Reynoldsa obliczono ze wzoru (3.8):

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} = \frac{390 \text{ m} \cdot 36,81 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 9,57 \cdot 10^8 \quad (3.8)$$

gdzie:

- b - szerokość (średnica) obiektu
- ν - lepkość kinematyczna powietrza
- $v(z_e)$ - wartość szczytowa prędkości wiatru

Na podstawie tabeli zawartej w normie [5] (Rys. 3.10) odczytano następujące wartości:

$$\alpha_{min} = 75^\circ; \quad c_{p0,min} = -1,5; \quad \alpha_A = 105^\circ, \quad c_{p0,h} = -0,8$$

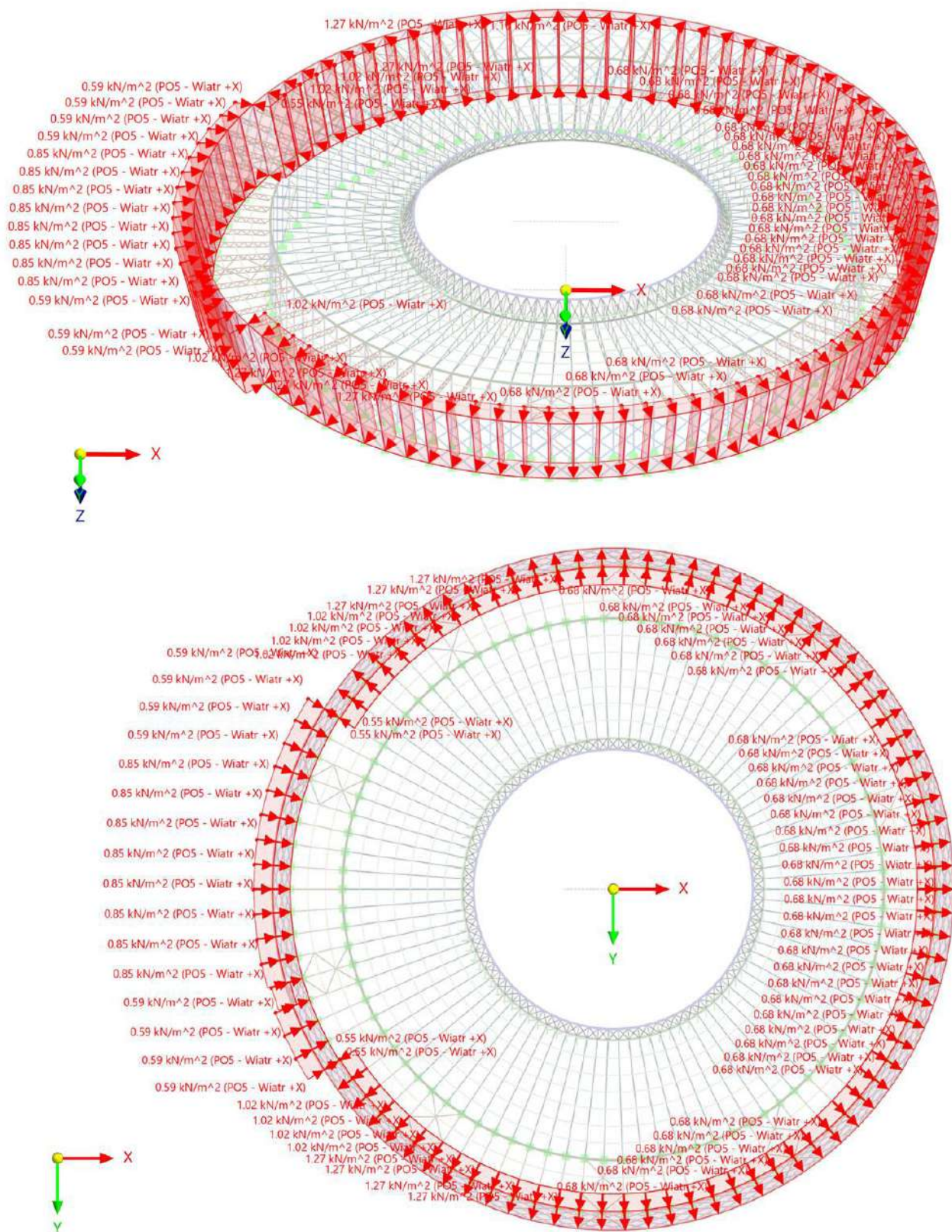
<i>Re</i>	α_{min}	$c_{p0,min}$	α_A	$c_{p0,h}$
$5 \cdot 10^5$	85	-2,2	135	-0,4
$2 \cdot 10^6$	80	-1,9	120	-0,7
10^7	75	-1,5	105	-0,8
gdzie				
α_{min}	kąt określający miejsce najniższego ciśnienia [°];			
$c_{p0,min}$	najmniejsza wartość współczynnika ciśnienia;			
α_A	kąt określający miejsce oderwania przepływu [°];			
$c_{p0,h}$	współczynnik bazowy ciśnienia (na zewnętrznej części walca).			

Rys. 3.10. Typowe wartości charakteryzujące rozkład ciśnienia na walcu kołowym przy różnych wartościach liczby Reynoldsa i bez wpływu swobodnych końców

Wartości obciążeń charakterystycznych oddziałujących na ściany obiektu zestawiono w tabeli poniżej:

Tab. 3.2.1. Zestawienie wartości obciążenia wiatrem dla ścian projektowanego stadionu

Punkt	α	$q_p(z_e)$	C_{pe}	W_e
	[°]	[kPa]	[–]	[kPa]
1	0	0,847	1,00	0,847
2	15		0,70	0,593
3	30		0,00	0,000
4	45		-0,65	-0,551
5	60		-1,20	-1,016
6	75		-1,50	-1,271
7	90		-1,30	-1,101
8	105		-0,80	-0,678
9	120		-0,80	-0,678
10	135		-0,80	-0,678
11	150		-0,80	-0,678
12	165		-0,80	-0,678
13	180		-0,80	-0,678



Rys. 3.11. Graficzne przedstawienie przyłożonych obciążeń na ściany budynku

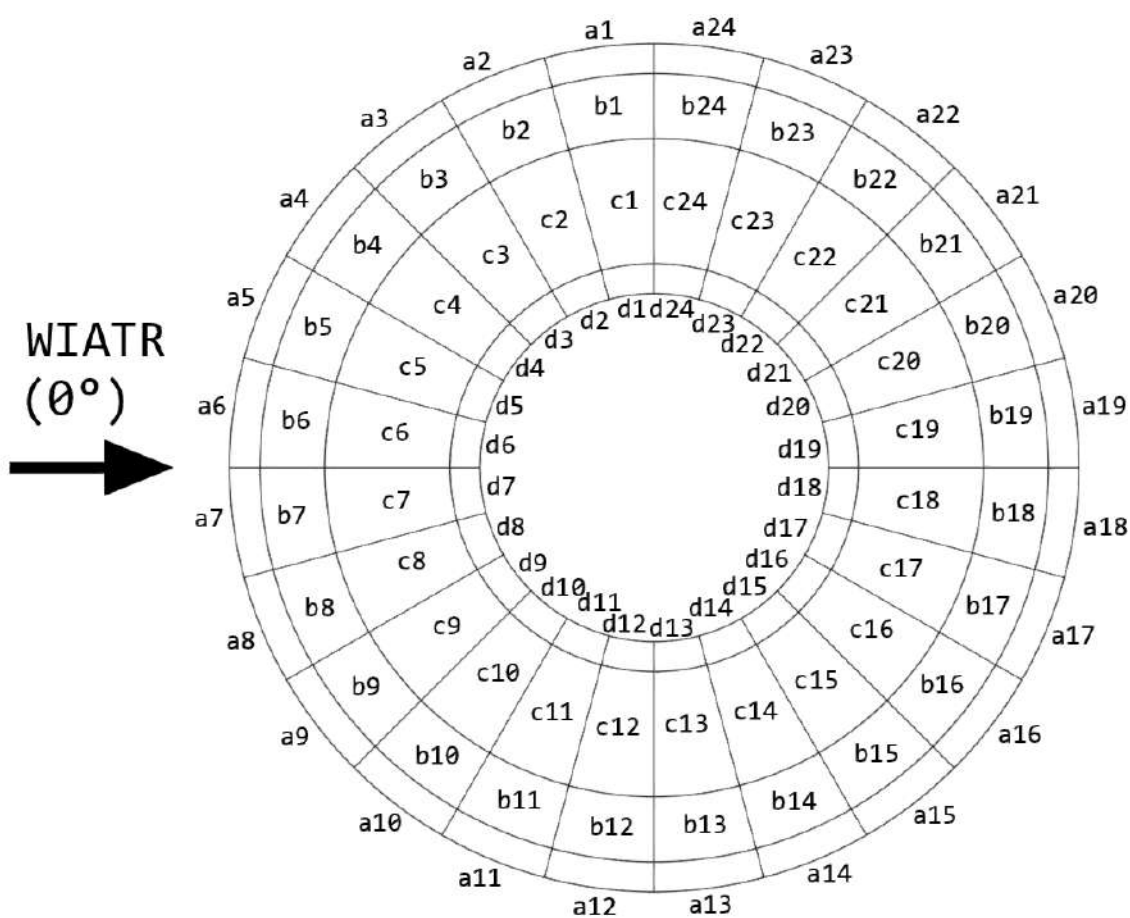
c) Obciążenie wiatrem na przekrycie dachowe

W celu wyznaczenia wartości obciążeń oddziałujących na dach skorzystano z pozycji *Tensinet.: European design guide for tensile surface structures 2004* [10]. Wykorzystano współczynniki C_p podane dla powierzchni przekrycia stadionów z otwartym dachem.

Do obliczeń przyjęto założenia zgodne z [10]:

- Współczynniki wyznaczone zostały na podstawie badań w tunelach aerodynamicznych
- Efekty lokalne są pomijane
- Podane są tylko maksymalne wartości dla przypadku ssania oraz parcia wiatru na poszczególne strefy wiatrowe
- Obliczenia przeprowadzone są dla jednego przypadku wiatru, jako że obiekt jest kołowo symetryczny

Zgodnie z [10] podzielono dach na 96 stref (4 pierścienie podzielone na 24 płaty o równym odstępie kątowym – 15 stopni):



Rys. 3.12. Podział dachu na strefy obciążenia wiatrem, zgodnie z [10]

Szerokości poszczególnych pierścieni są następujące:

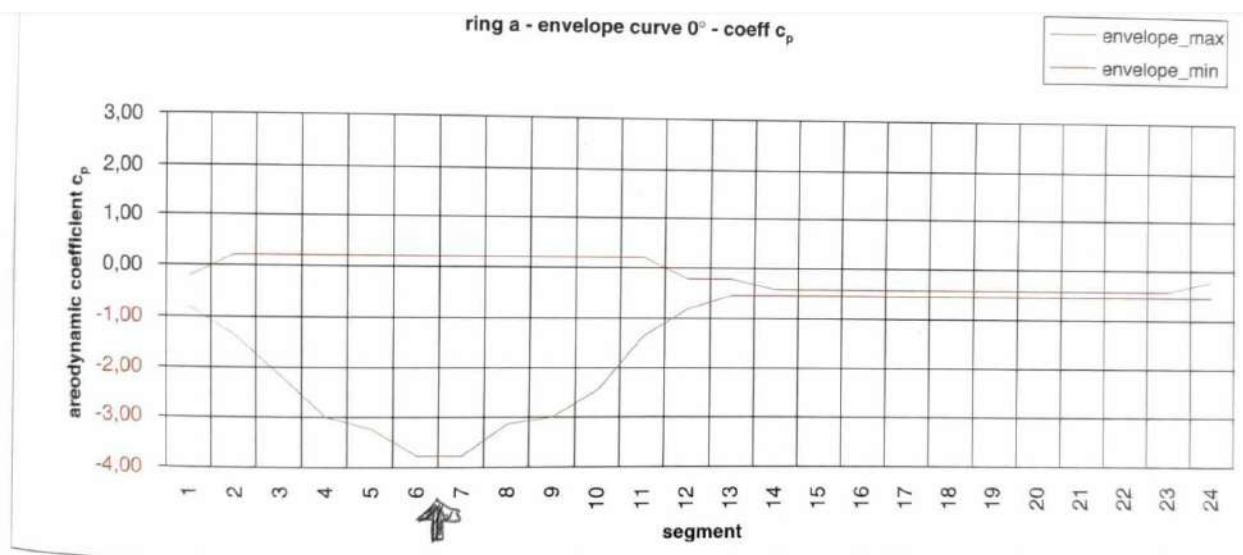
- Pierścień A: 12% szerokości dachu ($0,12 \cdot 115m = 13,8m$)
- Pierścień B: 26% szerokości dachu ($0,26 \cdot 115m = 29,9m$)
- Pierścień C: 50% szerokości dachu ($0,50 \cdot 115m = 57,5m$)
- Pierścień D: 12% szerokości dachu ($0,12 \cdot 115m = 13,8m$)

0°

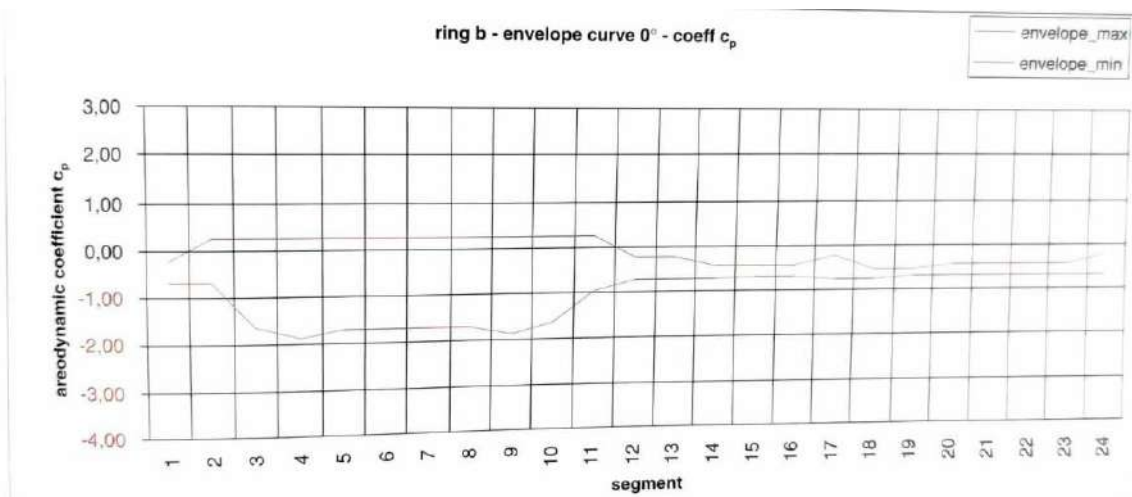
C _p	I	II	IV	I	min/max
a max	0,23	-0,54	-0,39	-0,42	0,23
a min	-0,45	-3,51	-0,87	-3,78	-3,78
b max	0,23	-0,68	-0,45	-0,23	0,23
b min	-0,68	-1,89	-0,81	-0,84	-1,89
c max	0,23	-0,68	-0,51	-0,42	0,23
c min	-1,08	-1,22	-1,11	-1,26	-1,26
d min	0,23	-0,68	-0,48	-0,42	0,23
d max	-1,36	-1,62	-1,32	-2,10	-2,10

45°

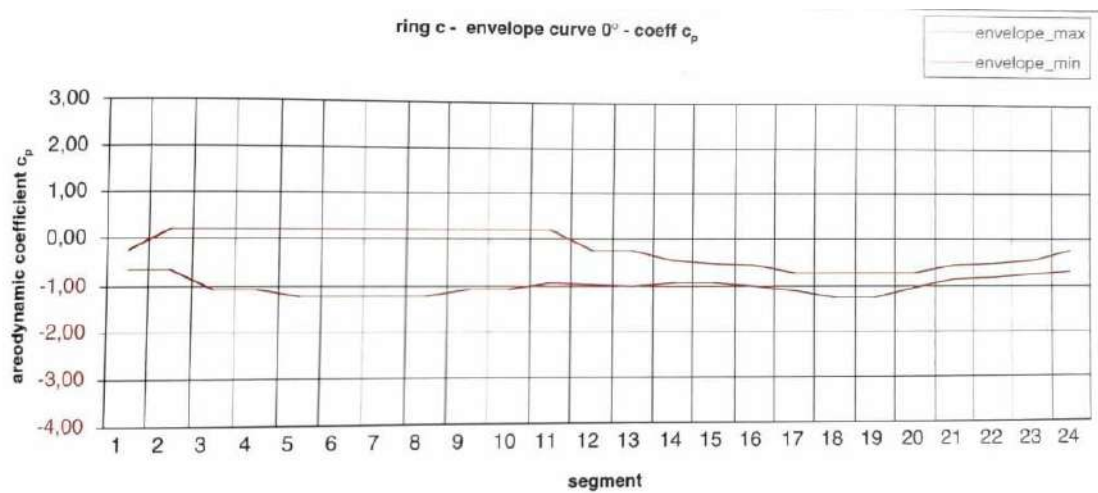
Rys. 3.13. Maksymalne i minimalne wartości współczynnika C_p dla różnych typów stadionów i poszczególnych pierścieni



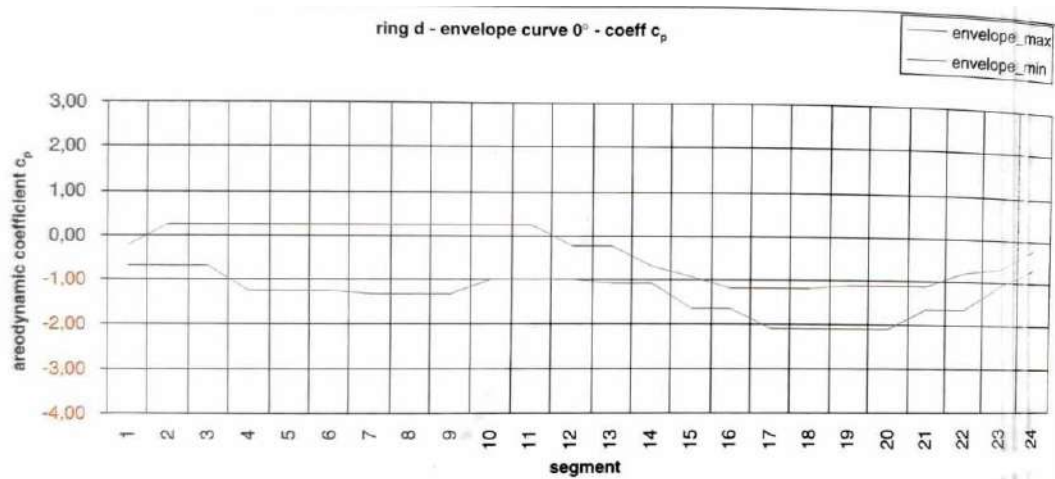
Rys. 3.14. Obwiednia wartości współczynnika C_p dla pierścienia A



Rys. 3.15. Obwiednia wartości współczynnika C_p dla pierścienia B



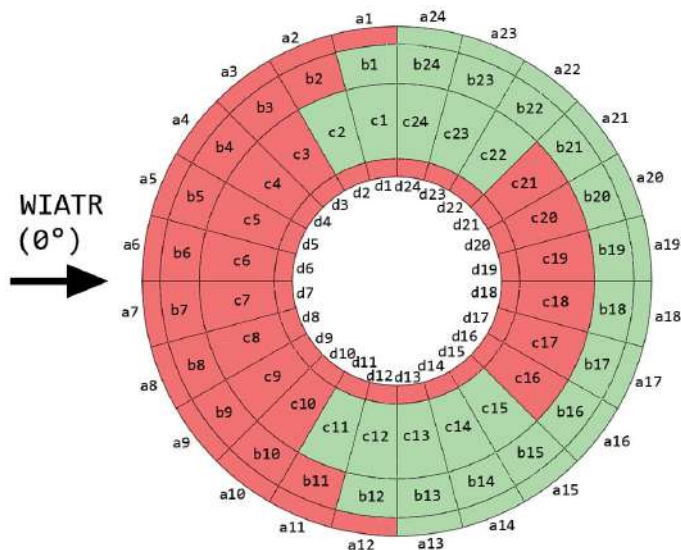
Rys. 3.16. Obwiednia wartości współczynnika C_p dla pierścienia C



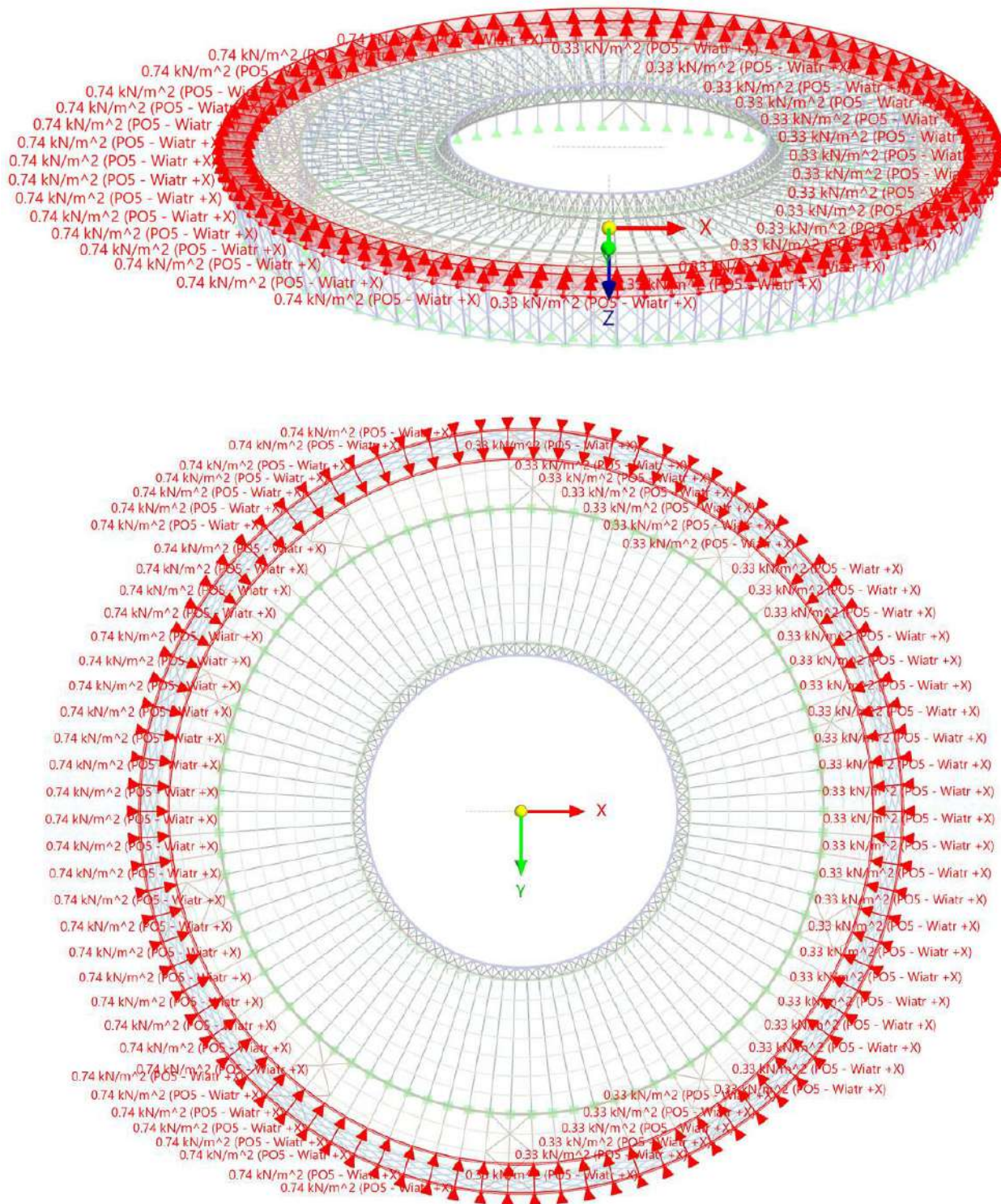
Rys. 3.17. Obwiednia wartości współczynnika C_p dla pierścienia D

Tab. 3.2.2. Zestawienie wartości obciążenia wiatrem dachu stadionu – jako uproszczenie przyjęto jedynie wartości maksymalne oraz minimalne ssania wiatru

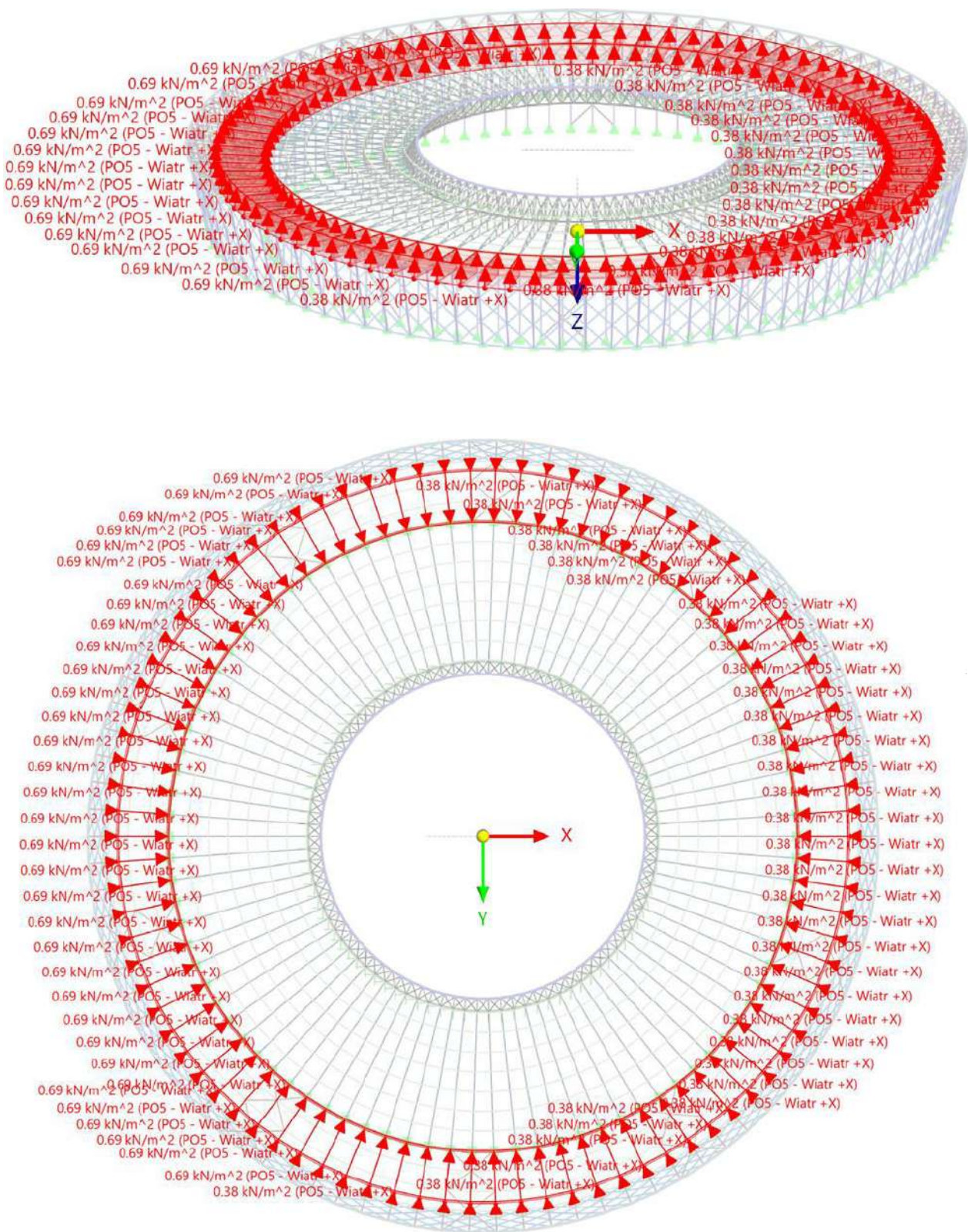
Lp.	Pierścień							
	a		b		c		d	
	C_p	q	C_p	q	C_p	q	C_p	q
1	-0,87	-0,737	-0,45	-0,381	-0,51	-0,432	-1,32	-1,118
2	-0,87	-0,737	-0,81	-0,686	-0,51	-0,432	-1,32	-1,118
3	-0,87	-0,737	-0,81	-0,686	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
4	-0,87	-0,737	-0,81	-0,686	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
5	-0,87	-0,737	-0,81	-0,686	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
6	-0,87	-0,737	-0,81	-0,686	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
7	-0,87	-0,737	-0,81	-0,686	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
8	-0,87	-0,737	-0,81	-0,686	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
9	-0,87	-0,737	-0,81	-0,686	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
10	-0,87	-0,737	-0,81	-0,686	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
11	-0,87	-0,737	-0,81	-0,686	-0,51	-0,432	-1,32	-1,118
12	-0,87	-0,737	-0,45	-0,381	-0,51	-0,432	-1,32	-1,118
13	-0,39	-0,330	-0,45	-0,381	-0,51	-0,432	-1,32	-1,118
14	-0,39	-0,330	-0,45	-0,381	-0,51	-0,432	-1,32	-1,118
15	-0,39	-0,330	-0,45	-0,381	-0,51	-0,432	-1,32	-1,118
16	-0,39	-0,330	-0,45	-0,381	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
17	-0,39	-0,330	-0,45	-0,381	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
18	-0,39	-0,330	-0,45	-0,381	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
19	-0,39	-0,330	-0,45	-0,381	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
20	-0,39	-0,330	-0,45	-0,381	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
21	-0,39	-0,330	-0,45	-0,381	-1,11	-0,940	-1,32	-1,118
22	-0,39	-0,330	-0,45	-0,381	-0,51	-0,432	-1,32	-1,118
23	-0,39	-0,330	-0,45	-0,381	-0,51	-0,432	-1,32	-1,118
24	-0,39	-0,330	-0,45	-0,381	-0,51	-0,432	-1,32	-1,118



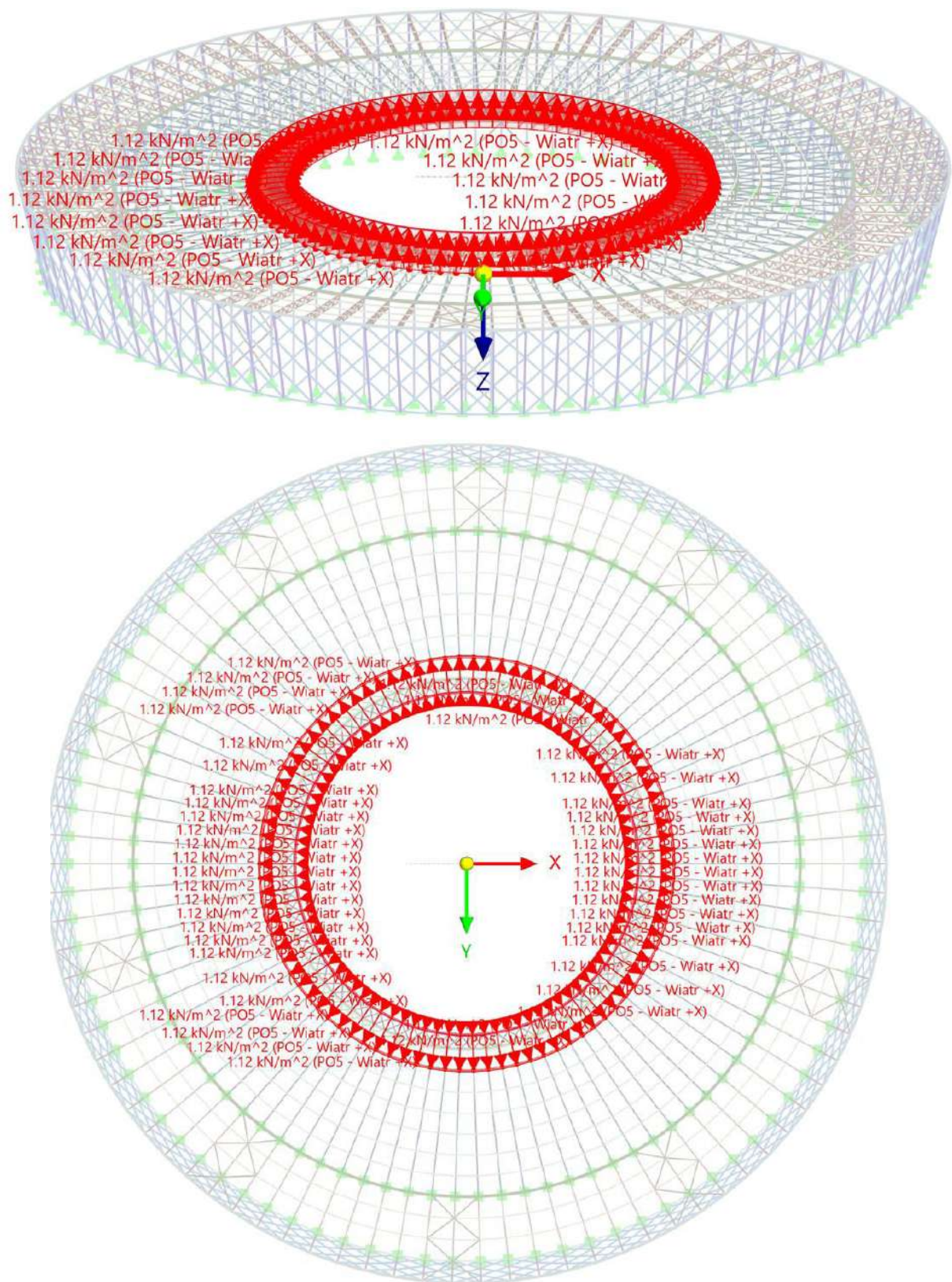
Rys. 3.18. Graficzne przedstawienie stref obciążonych maksymalnym (czerwony kolor) oraz minimalnym (zielony kolor) ssaniem wiatru



Rys. 3.19. Przyłożone w modelu obciążenia powierzchniowe działające na dach – Pierścień A



Rys. 3.20. Przyłożone w modelu obciążenia powierzchniowe działające na dach – Pierścień B



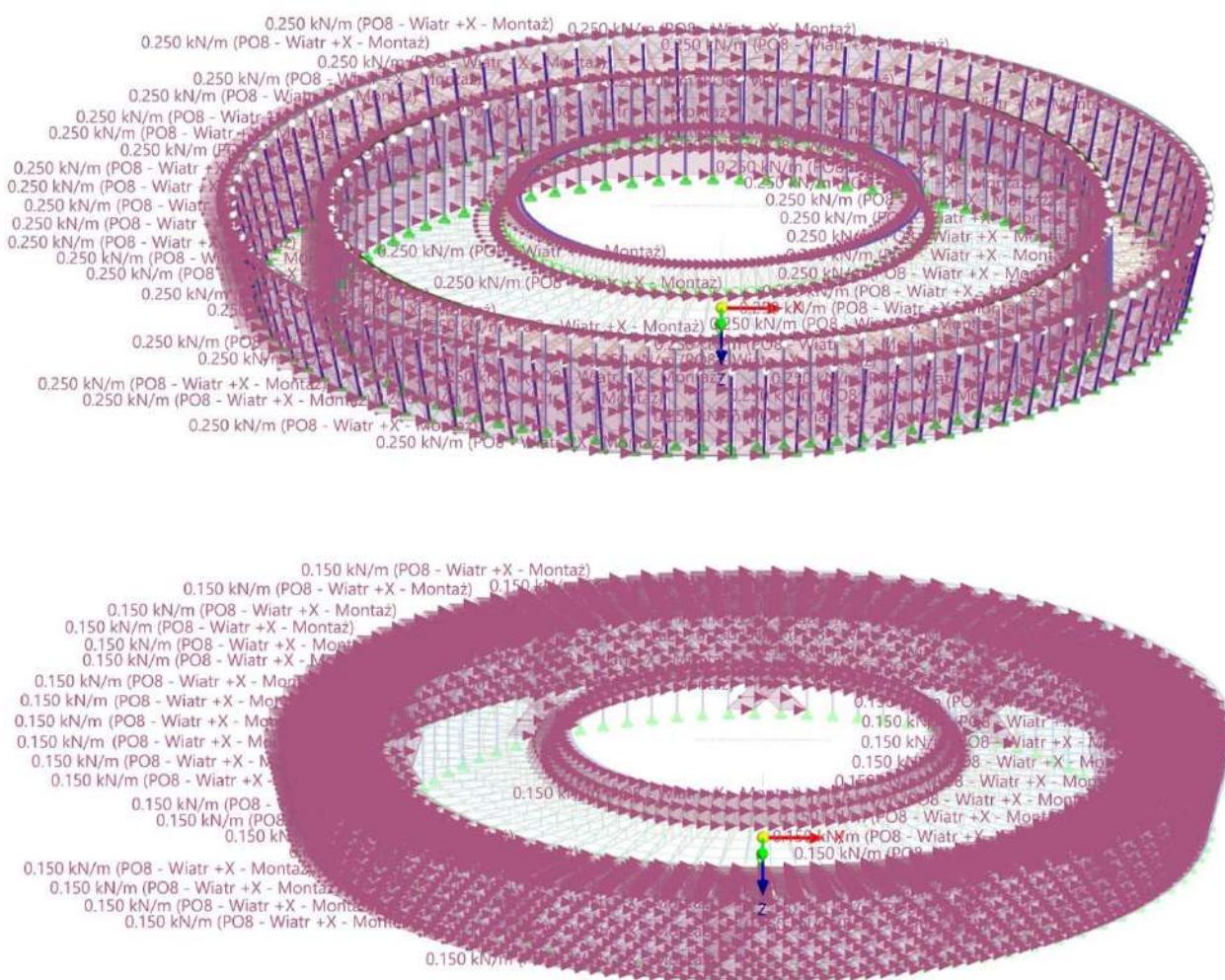
Rys. 3.22. Przyłożone w modelu obciążenia powierzchniowe działające na dach – Pierścień D

3.2.7 Obciążenie wiatrem w czasie montażu

Jako obciążenie wiatrem działające w czasie montażu konstrukcji przyjęto:

- obciążenie prętowe $0,25 \text{ kN/m}^2$ przyłożone na słupy, pierścień zewnętrzny i pośredni.
- obciążenie prętowe $0,15 \text{ kN/m}^2$ przyłożone na pozostałe elementy

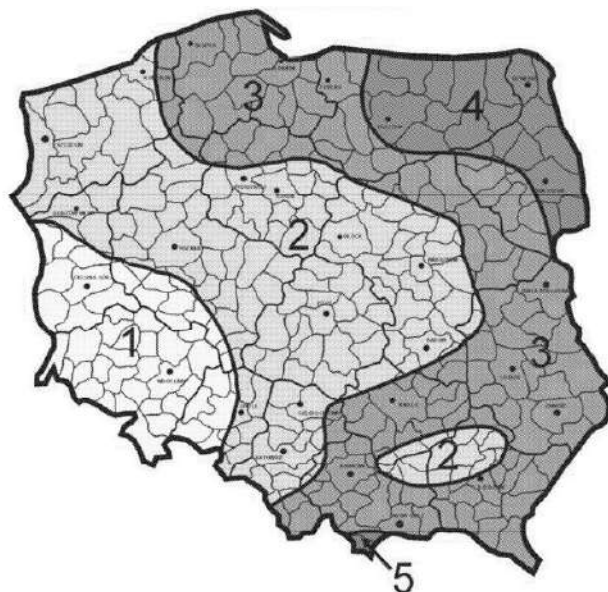
Powyższe obciążenia przyjęto jako siły działające na globalnym kierunku X - Rys. 3.23.



Rys. 3.23. Przyłożone w modelu obciążenia prętowe w przypadku wiatru podczas montażu

3.2.8 Obciążenie śniegiem

Obliczenia obciążenia śniegiem przeprowadzono jak dla dachu płaskiego. Projektowany budynek zlokalizowany jest we Wrocławiu, zatem wg normy PN-EN-1991-1-3:2005 *Oddziaływania ogólne - Obciążenie śniegiem* [4] znajduje się on w 1. strefie obciążenia śniegiem – Rys. 3.24.



Rys. 3.24. Podział Polski na strefy obciążenia śniegiem gruntu, wg [4]

Obiekt zlokalizowany będzie na wysokości $A=130$ m n.p.m. Na podstawie normy [4] wartość charakterystyczną obciążenia śniegiem gruntu obliczono w wyrażeniu (3.9):

$$s_k = \frac{\max\{0,007 \cdot A - 1,4; 0,70\} \text{ kN}}{m^2} = \quad (3.9)$$
$$= \max\{-0,49; 0,70\} \text{ kN/m}^2 = 0,70 \text{ kN/m}^2$$

Wartość współczynnika ekspozycji przyjęto jako wartość zalecaną przez normę [4] dla terenu klasyfikowanego jako normalny:

$$C_e = 1,0$$

Wartość współczynnika termicznego przyjęto jako wartość zalecaną przez normę [4]:

$$C_t = 1,0$$

Wartość współczynnika kształtu dachu przyjęto zgodnie z normą [4]:

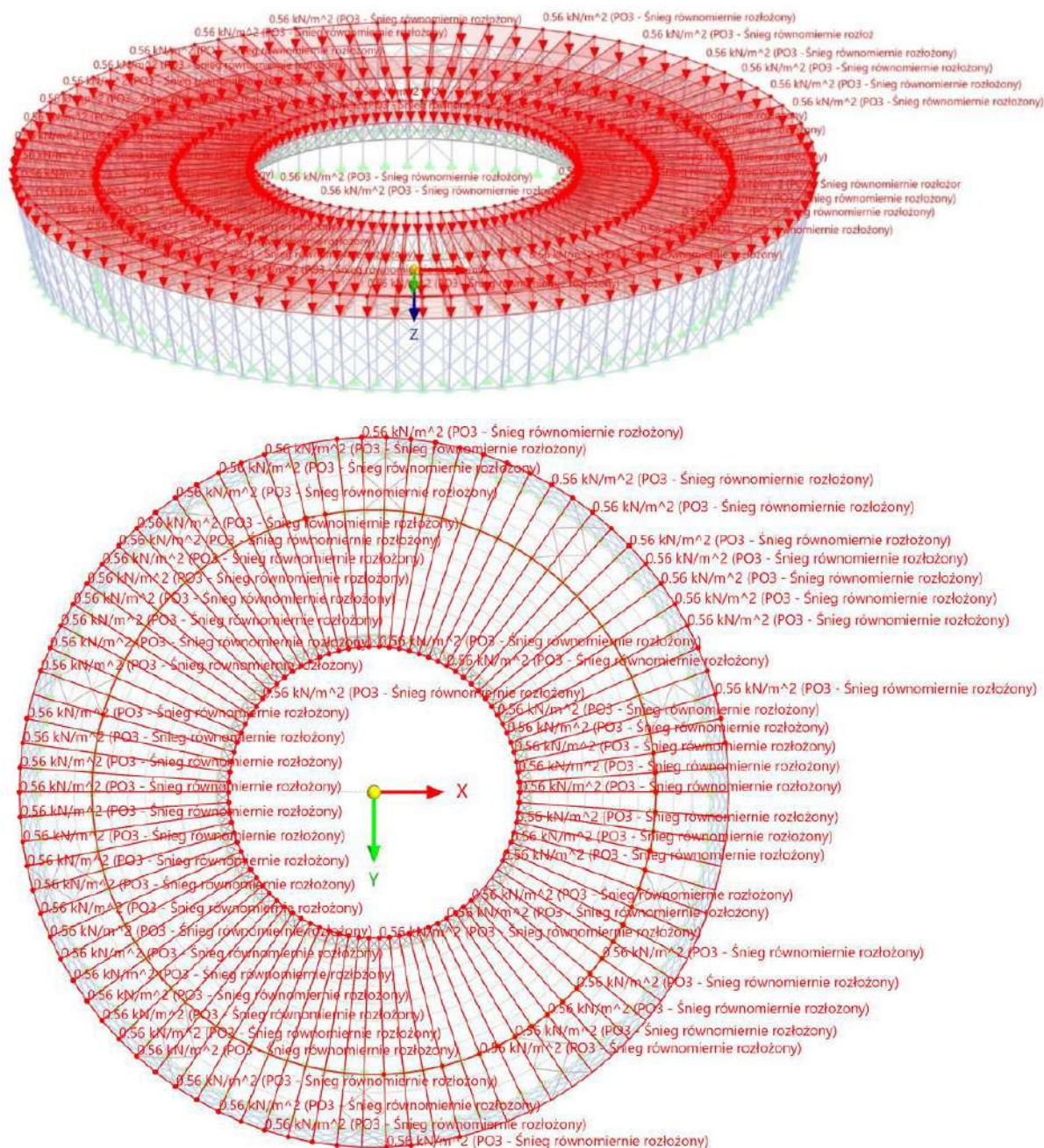
$$\mu_1 = 0,8$$

Wyróżniono następujące przypadki obciążenia śniegiem:

1) Połąć równomiernie obciążona na całej powierzchni

Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem połaci bardziej obciążonej:

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \text{ kN/m}^2 = 0,560 \text{ kN/m}^2$$



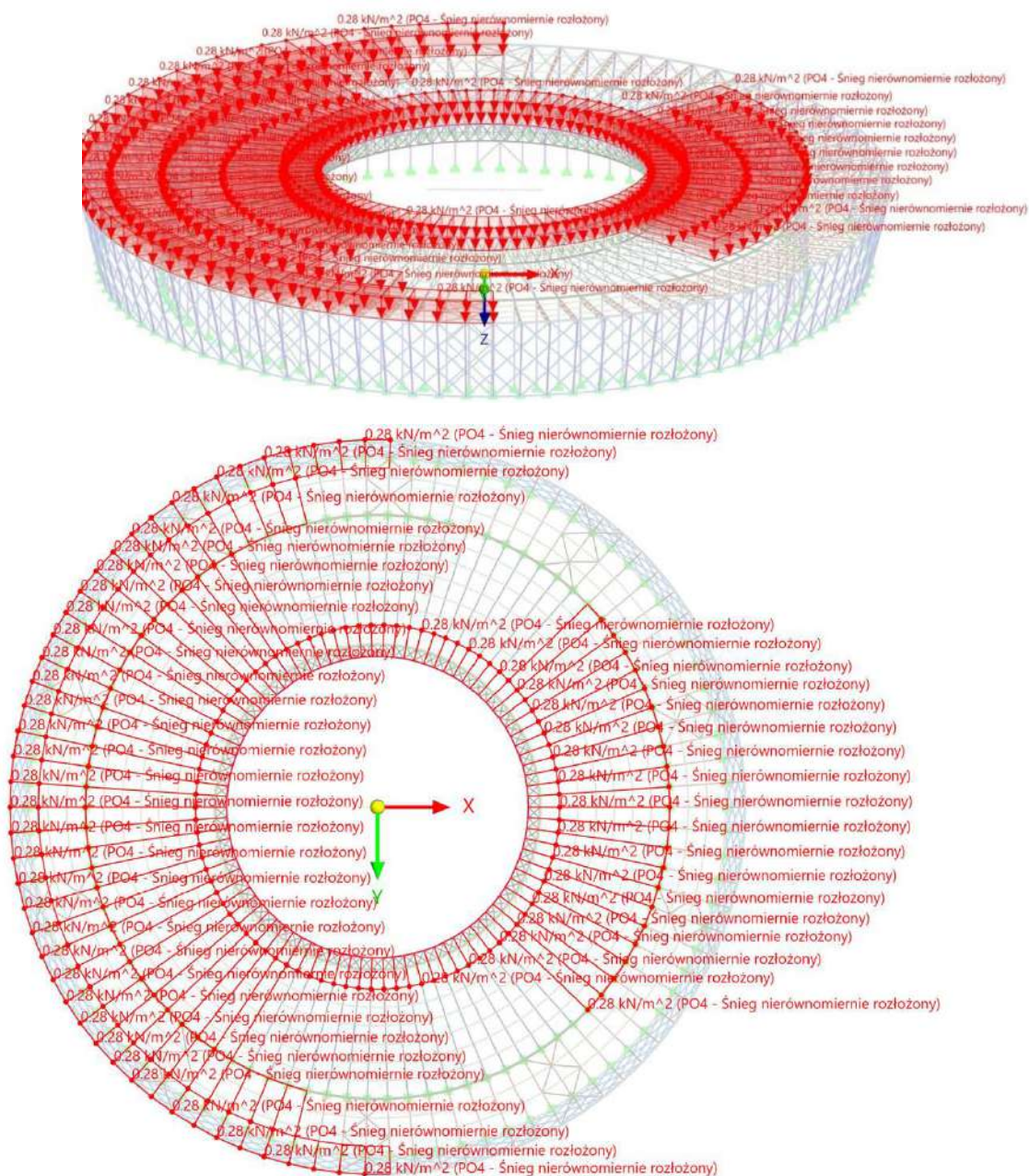
Rys. 3.25. Graficzne przedstawienie przyłożonego obciążenia śniegiem dla przypadku połaci równomiernie obciążonej

2) Połąć nierównomiernie obciążona

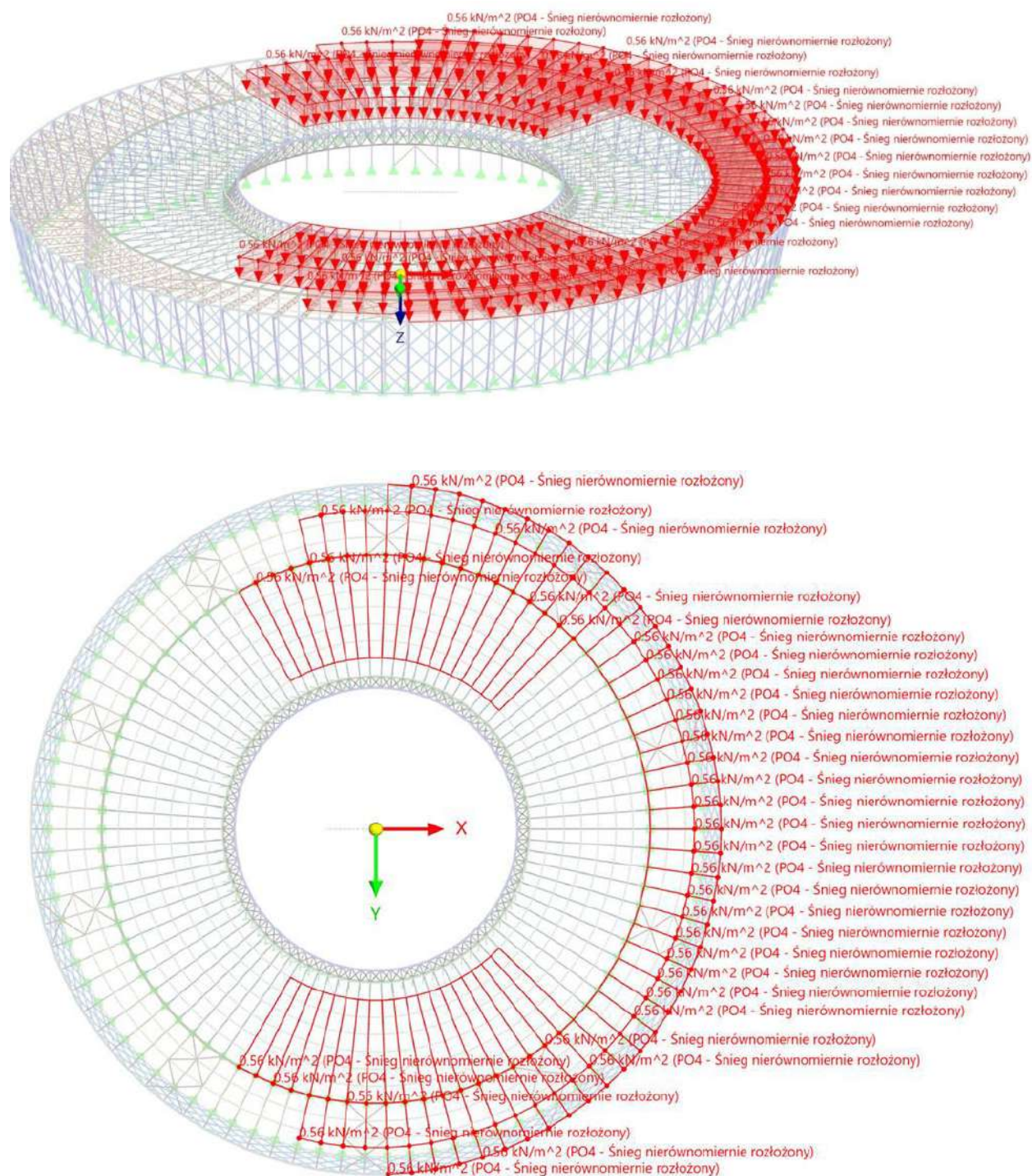
Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem połąć słabiej obciążonej:

$$s = 0,5 \cdot \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \text{ kN/m}^2 = 0,280 \text{ kN/m}^2$$

Przyjęto, że na obszary z największym ssaniem wiatru będzie przyłożone obciążenie o zredukowanej wartości, natomiast na pozostałych obszarach obciążenie bez redukcji)



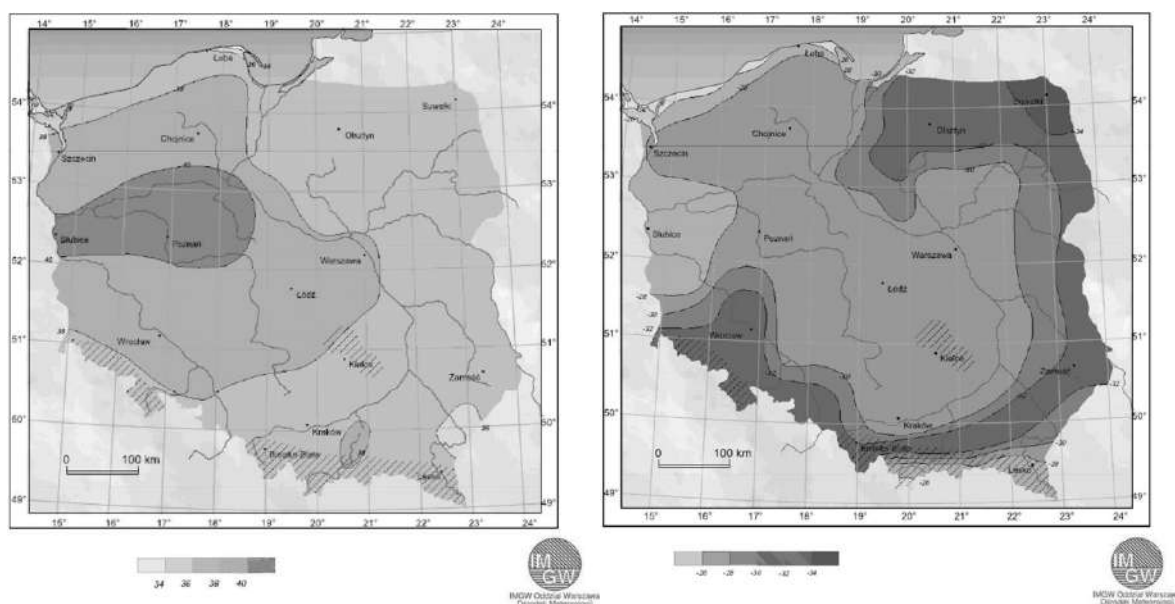
Rys. 3.26. Graficzne przedstawienie przyłożonego obciążenia śniegiem na mniej obciążone obszary dla przypadku połąć nierównomiernie obciążonej



Rys. 3.27. Graficzne przedstawienie przyłożonego obciążenia śniegiem na bardziej obciążone obszary dla przypadku połaci nierównomiernie obciążonej

3.2.9 Obciążenie od temperatury

Obliczenia obciążeń termicznych przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 1991-1-5:2005 *Oddziaływania ogólne – Oddziaływania termiczne* [7]. Projektowany budynek zlokalizowany jest we Wrocławiu. Na podstawie map rozkładu temperatury w Polsce zawartych w normie [7] odczytano maksymalną i minimalną temperaturę odniesioną do poziomu morza - Rys. 3.28, 3.29.



Rys. 3.28, 3.29 Mapy izotermiczne przedstawiające maksymalną i minimalną temperaturę powietrza w cieniu z rocznym prawdopodobieństwem przekroczenia równym 0,02, odniesione do poziomu morza

Obiekt zlokalizowany będzie na wysokości $A=130$ m n.p.m. Na podstawie normy [7] wyznaczono maksymalną temperaturę w zależności od wysokości nad poziomem morza (3.10):

$$T_{max}(H) = -0,0053 \cdot \left(\frac{^{\circ}C}{m} \right) \cdot H + T_{max} = \quad (3.10)$$

$$= -0,0053 \cdot \left(\frac{^{\circ}C}{m} \right) \cdot 130 \text{ m} + 38^{\circ}C = 37,3^{\circ}C$$

gdzie:

- T_{max} - maksymalna temperatura w cieniu w odniesieniu do poziomu morza
- H - wysokość nad poziomem morza

Analogicznie wyznaczono minimalną temperaturę w zależności od wysokości nad poziomem morza (3.11):

$$T_{min}(H) = -0,0035 \cdot \left(\frac{^{\circ}C}{m}\right) \cdot H + T_{min} = \quad (3.11)$$

$$= -0,0035 \cdot \left(\frac{^{\circ}C}{m}\right) \cdot 130 \text{ m} - 32^{\circ}C = -32,5^{\circ}C$$

Jako wartość temperatury początkowej elementu w czasie, gdy ma on ograniczoną swobodę odkształceń T_0 , przyjęto wartość zalecaną przez normę [7]:

$$T_0 = 10^{\circ}C$$

Różnica między temperaturą początkową oraz maksymalną temperaturą latem wynosi zatem:

$$\Delta T_{lato} = T_{max}(H) - T_0 = 37,3^{\circ}C - 10^{\circ}C = 27,3^{\circ}C$$

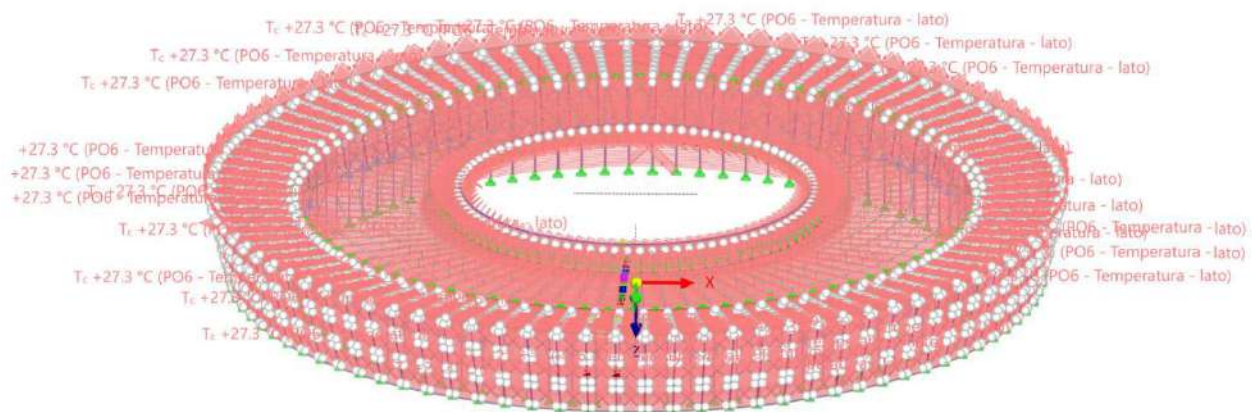
Natomiast różnica między temperaturą początkową oraz minimalną temperaturą zimą wynosi:

$$\Delta T_{zima} = T_{max}(H) - T_0 = -32,5^{\circ}C - 10^{\circ}C = -42,5^{\circ}C$$

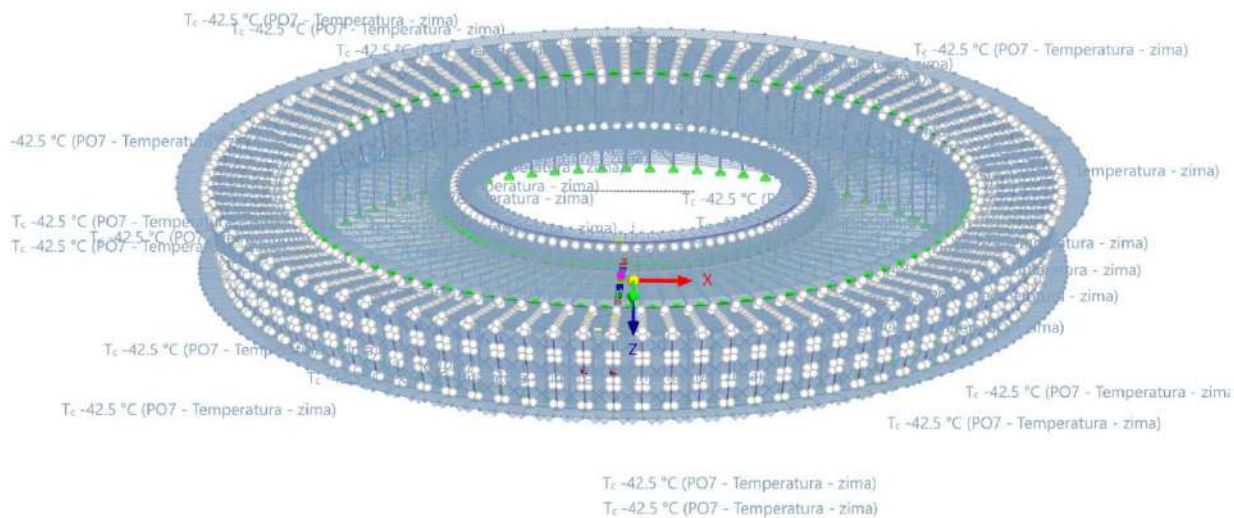
Wyróżniono zatem 2 przypadki obciążenia temperaturą:

- Obciążenie temperaturą latem ($27,3^{\circ}C$)
- Obciążenie temperaturą zimą ($-42,5^{\circ}C$)

Powyższe obciążenia zostały przyłożone na wszystkie pręty konstrukcji jako równomierne obciążenie termiczne o odpowiedniej wartości - Rys. 3.30, Rys. 3.31.



Rys. 3.30. Graficzne przedstawienie przyłożonego obciążenia temperaturą w przypadku lata



Rys. 3.31. Graficzne przedstawienie przyłożonego obciążenia temperaturą w przypadku zimy

Edytuj obciążenie prętowe

Nr	Przypadek obciążenia
1	☒ QT PO9 - Temperatura - lato

Główne

Kategorie Typ obciążenia ☒ Zmiana temperatury Rozkład obciążenia ☒ Równomierny Układ współrzędnych Lokalny xyz Kierunek obciążenia y	Parametry Wielkość obciążenia Tc 27.3 [°C] ΔT 0.0 [°C]
---	--

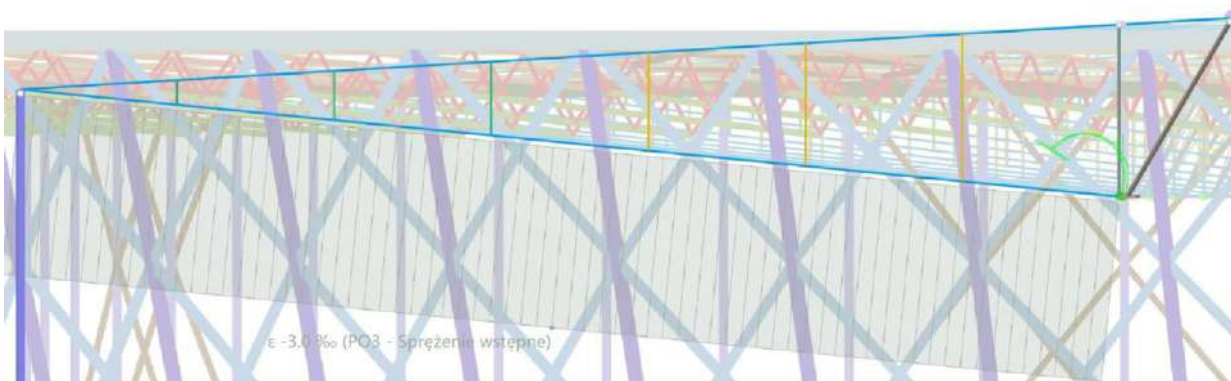
Rys. 3.32. Wycinek przedstawiający sposób definiowania obciążenia temperaturą użyty w programie RFEM 6

3.2.10 Sprężenie konstrukcji

Sprężenie cięgien uwzględniono poprzez skrócenie prętów. W obliczeniach wyróżniono następujące etapy sprężenia:

1) Sprężenie wstępne:

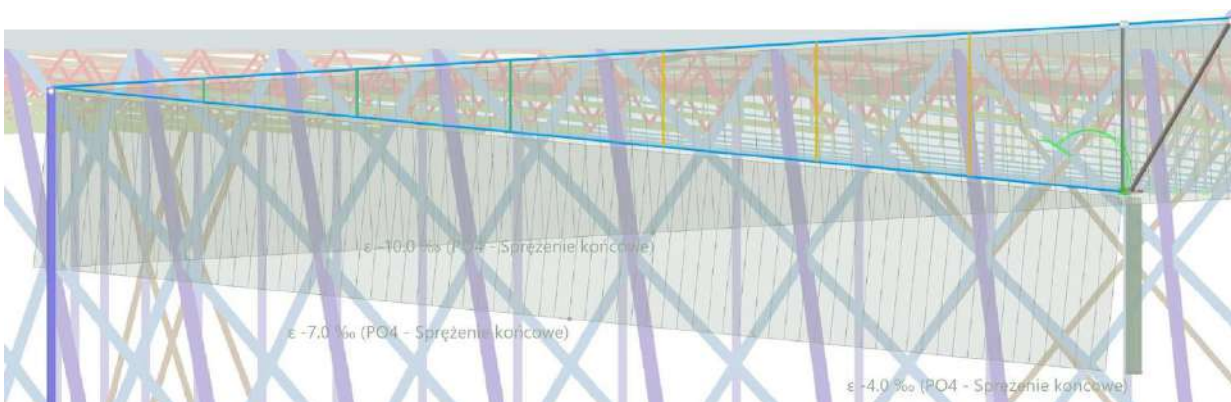
- Cięgna dolne – 3,0 ‰



Rys. 3.33. Graficzne przedstawienie przyłożonego obciążenia w przypadku sprężenia wstępnego

2) Sprężenie końcowe:

- Cięgna dolne – 7,0 ‰
- Cięgna górne – 10,0 ‰
- Pierścień środkowy dolny – 4,0 ‰



Rys. 3.34. Graficzne przedstawienie przyłożonego obciążenia w przypadku sprężenia końcowego

3.3 Kombinacje obciążeń

3.3.1 Przypadki proste

Do obliczeń przyjęto następujące przypadki proste:

- **PO1** – Ciężar własny konstrukcji stalowej
- **PO2** – Ciężar własny - pozostałe
- **PO3** – Wstępne sprężenie cięgien
- **PO4** – Końcowe sprężenie cięgien
- **PO5** – Obciążenie śniegiem (równomiernie rozłożone)
- **PO6** – Obciążenie śniegiem (nierównomiernie rozłożone)
- **PO7** – Obciążenie wiatrem
- **PO9** – Temperatura (lato)
- **PO10** – Temperatura (zima)
- **PO11** – Obciążenie użytkowe – pomosty techniczne

3.3.2 Założenia przyjęte przy tworzeniu kombinacji

Przy tworzeniu kombinacji przyjęto następujące założenia:

- Dach będzie odśnieżany z worków śnieżnych, zatem obciążenie śniegiem wystąpi razem z obciążeniem użytkowym
- Obciążenie śniegiem nie jest łączone z obciążeniem temperaturą podczas lata
- Wszystkie przypadki ciężaru własnego występują jednocześnie
- Na docelowe sprężenie cięgien składają się przypadki PO3 i PO4, zatem występują one jednocześnie oraz w każdej kombinacji
- Przypadek PO8 (wiatr podczas montażu) nie występuje, jako że obliczenia dotyczą konstrukcji w czasie użytkowania

Poniższe obliczenia dotyczą sytuacji, w której obiekt jest ukończony i gotowy do użytku.

Przedstawiono obliczenia dla wybranych elementów, tj.:

- Górny pierścień środkowy
- Pierścień pośredni
- Stężenia zewnętrzne
- Stężenia wewnętrzne
- Cięgna składające się na dolny pierścień środkowy

3.3.3 Lista utworzonych kombinacji SGN

SGN	KO1	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4$
SGN	KO2	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO5$
SGN	KO3	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6$
SGN	KO4	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO5 + 0.90 * PO7$
SGN	KO5	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 0.90 * PO7$
SGN	KO6	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO5 + 0.90 * PO7 + 0.90 * PO10$
SGN	KO7	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 0.90 * PO7 + 0.90 * PO9$
SGN	KO8	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 0.90 * PO7 + 0.90 * PO10$
SGN	KO9	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO5 + 0.90 * PO10$
SGN	KO10	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 0.90 * PO9$
SGN	KO11	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 0.90 * PO10$
SGN	KO12	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO7$
SGN	KO13	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO7 + 0.90 * PO9$
SGN	KO14	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO7 + 0.90 * PO10$
SGN	KO15	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO9$
SGN	KO16	$1.35 * PO1 + 1.35 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO10$
SGN	KO17	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4$
SGN	KO18	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO5$
SGN	KO19	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO6$
SGN	KO20	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO5 + 0.90 * PO7$
SGN	KO21	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO6 + 0.90 * PO7$
SGN	KO22	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO5 + 0.90 * PO7 + 0.90 * PO10$
SGN	KO23	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO6 + 0.90 * PO7 + 0.90 * PO9$
SGN	KO24	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO6 + 0.90 * PO7 + 0.90 * PO10$
SGN	KO25	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO5 + 0.90 * PO10$
SGN	KO26	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO6 + 0.90 * PO9$
SGN	KO27	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO6 + 0.90 * PO10$
SGN	KO28	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO7$
SGN	KO29	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO5 + 1.50 * PO7$
SGN	KO30	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 1.50 * PO7$
SGN	KO31	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO5 + 1.50 * PO7 + 0.90 * PO10$
SGN	KO32	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 1.50 * PO7 + 0.90 * PO9$
SGN	KO33	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 1.50 * PO7 + 0.90 * PO10$
SGN	KO34	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO7 + 0.90 * PO9$
SGN	KO35	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO7 + 0.90 * PO10$
SGN	KO36	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO9$
SGN	KO37	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO10$
SGN	KO38	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO5 + 1.50 * PO10$
SGN	KO39	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 1.50 * PO9$
SGN	KO40	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 1.50 * PO10$
SGN	KO41	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO5 + 0.90 * PO7 + 1.50 * PO10$
SGN	KO42	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 0.90 * PO7 + 1.50 * PO9$
SGN	KO43	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 0.90 * PO7 + 1.50 * PO10$
SGN	KO44	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO7 + 1.50 * PO9$
SGN	KO45	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO7 + 1.50 * PO10$
SGN	KO46	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO11$
SGN	KO47	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO5 + 1.50 * PO11$
SGN	KO48	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 1.50 * PO11$
SGN	KO49	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO5 + 0.90 * PO7 + 1.50 * PO11$
SGN	KO50	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 0.90 * PO7 + 1.50 * PO11$
SGN	KO51	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO5 + 0.90 * PO7 + 0.90 * PO10 + 1.50 * PO11$
SGN	KO52	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 0.90 * PO7 + 0.90 * PO9 + 1.50 * PO11$
SGN	KO53	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 0.90 * PO7 + 0.90 * PO10 + 1.50 * PO11$
SGN	KO54	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO5 + 0.90 * PO10 + 1.50 * PO11$
SGN	KO55	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 0.90 * PO9 + 1.50 * PO11$
SGN	KO56	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.75 * PO6 + 0.90 * PO10 + 1.50 * PO11$
SGN	KO57	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO7 + 1.50 * PO11$
SGN	KO58	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO7 + 0.90 * PO9 + 1.50 * PO11$
SGN	KO59	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO7 + 0.90 * PO10 + 1.50 * PO11$
SGN	KO60	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO9 + 1.50 * PO11$
SGN	KO61	$1.15 * PO1 + 1.15 * PO2 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO10 + 1.50 * PO11$

Rys. 3.35. Lista utworzonych kombinacji SGN – Etap VI (faza eksploatacji)

3.3.4 Lista utworzonych kombinacji SGU (Charakterystyczna)

			KO62	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4$
			KO63	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO5$
			KO64	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO6$
			KO65	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO5 + 0.60 * PO7$
			KO66	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO6 + 0.60 * PO7$
			KO67	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO5 + 0.60 * PO7 + 0.60 * PO10$
			KO68	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO6 + 0.60 * PO7 + 0.60 * PO9$
			KO69	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO6 + 0.60 * PO7 + 0.60 * PO10$
			KO70	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO5 + 0.60 * PO10$
			KO71	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO6 + 0.60 * PO9$
			KO72	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO6 + 0.60 * PO10$
			KO73	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO7$
			KO74	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO5 + PO7$
			KO75	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + PO7$
			KO76	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO5 + PO7 + 0.60 * PO10$
			KO77	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + PO7 + 0.60 * PO9$
			KO78	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + PO7 + 0.60 * PO10$
			KO79	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO7 + 0.60 * PO9$
			KO80	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO7 + 0.60 * PO10$
			KO81	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO9$
			KO82	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO10$
			KO83	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO5 + PO10$
			KO84	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + PO9$
			KO85	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + PO10$
			KO86	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO5 + 0.60 * PO7 + PO10$
			KO87	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + 0.60 * PO7 + PO9$
			KO88	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + 0.60 * PO7 + PO10$
			KO89	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.60 * PO7 + PO9$
			KO90	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.60 * PO7 + PO10$
			KO91	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + PO11$
			KO92	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO5 + PO11$
			KO93	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + PO11$
			KO94	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO5 + 0.60 * PO7 + PO11$
			KO95	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + 0.60 * PO7 + PO11$
			KO96	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO5 + 0.60 * PO7 + 0.60 * PO10 + PO11$
			KO97	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + 0.60 * PO7 + 0.60 * PO9 + PO11$
			KO97	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + 0.60 * PO7 + 0.60 * PO9 + PO11$
			KO98	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + 0.60 * PO7 + 0.60 * PO10 + PO11$
			KO99	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO5 + 0.60 * PO10 + PO11$
			KO100	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + 0.60 * PO9 + PO11$
			KO117	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO6 + 0.60 * PO10 + PO11$
			KO118	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.60 * PO7 + PO11$
			KO119	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.60 * PO7 + 0.60 * PO9 + PO11$
			KO120	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.60 * PO7 + 0.60 * PO10 + PO11$
			KO121	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.60 * PO9 + PO11$
			KO122	$PO1 + PO2 + PO3 + PO4 + 0.60 * PO10 + PO11$

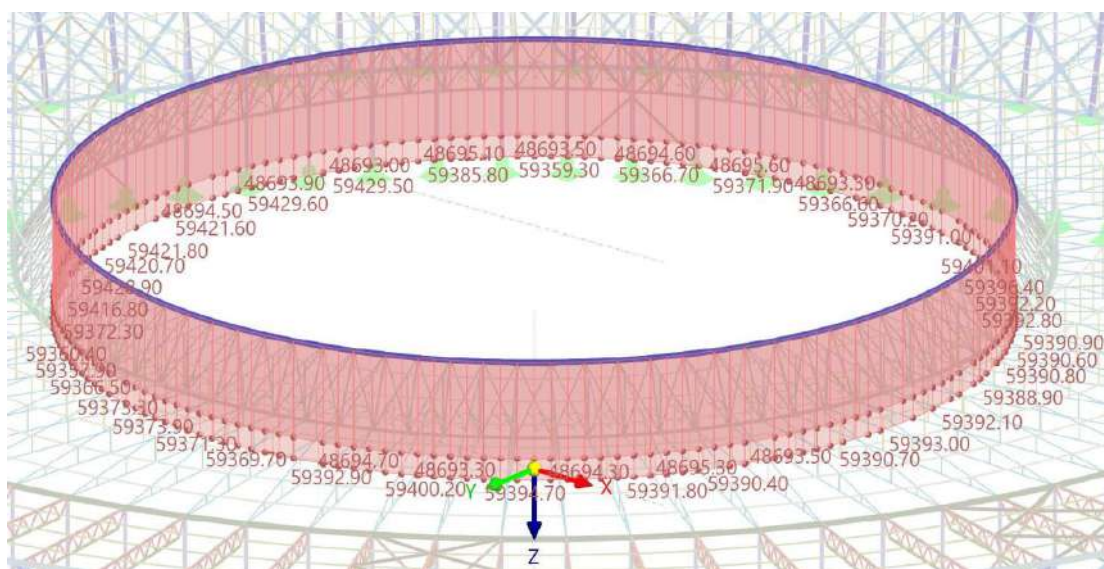
Rys. 3.36. Lista utworzonych kombinacji SGU – Etap VI (faza eksploatacji)

3.4 Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe

3.4.1 Wymiarowanie górnego pierścienia środkowego

3.4.1.1 Obwiednie sił wewnętrznych

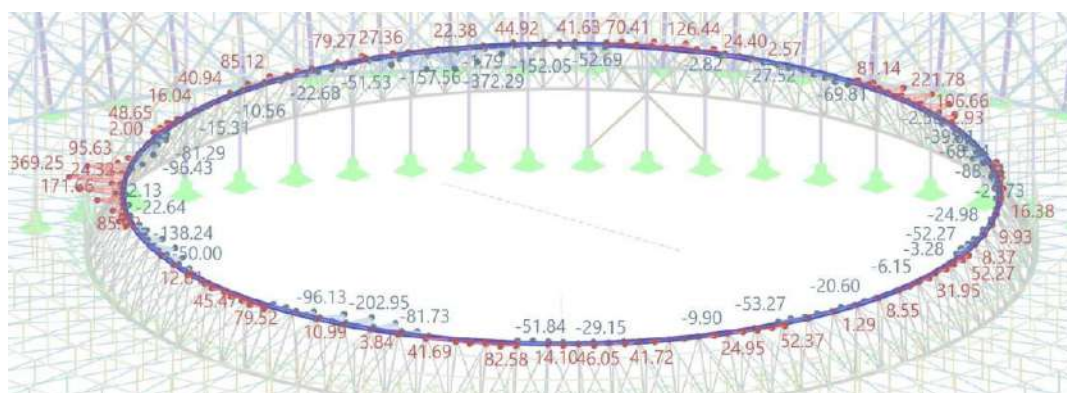
1) Obwiednia sił osiowych N_x



maks. N : 59429.60 | min. N : 48685.00 kN

Rys. 3.37. Obwiednia sił osiowych N_x oddziałujących na górny pierścień wewnętrzny dla kombinacji KO1 - KO61

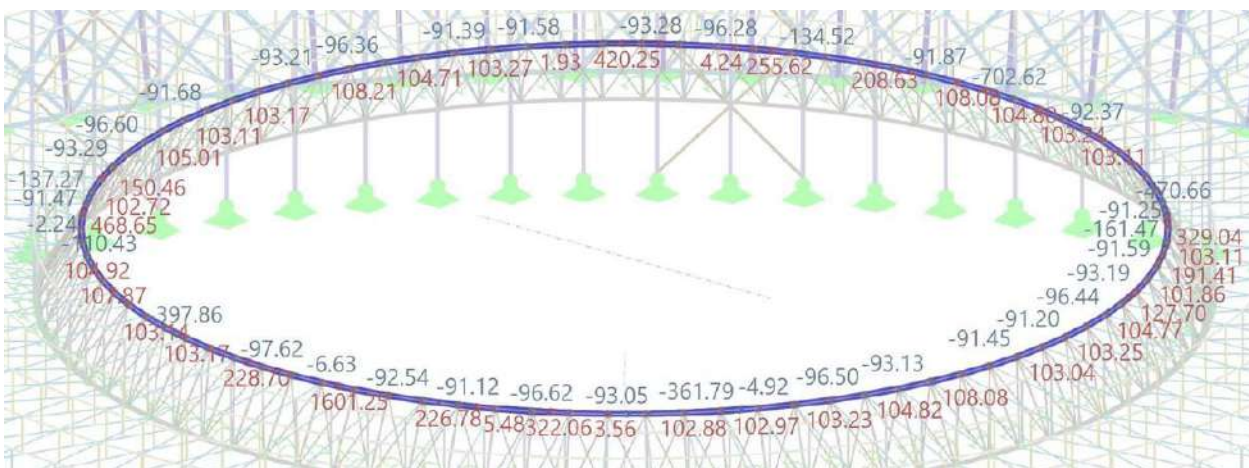
2) Obwiednia sił tnących V_y



maks. V_y : 369.25 | min. V_y : -372.29 kN

Rys. 3.38. Obwiednia sił tnących V_y oddziałujących na górny pierścień wewnętrzny dla kombinacji KO1 - KO61

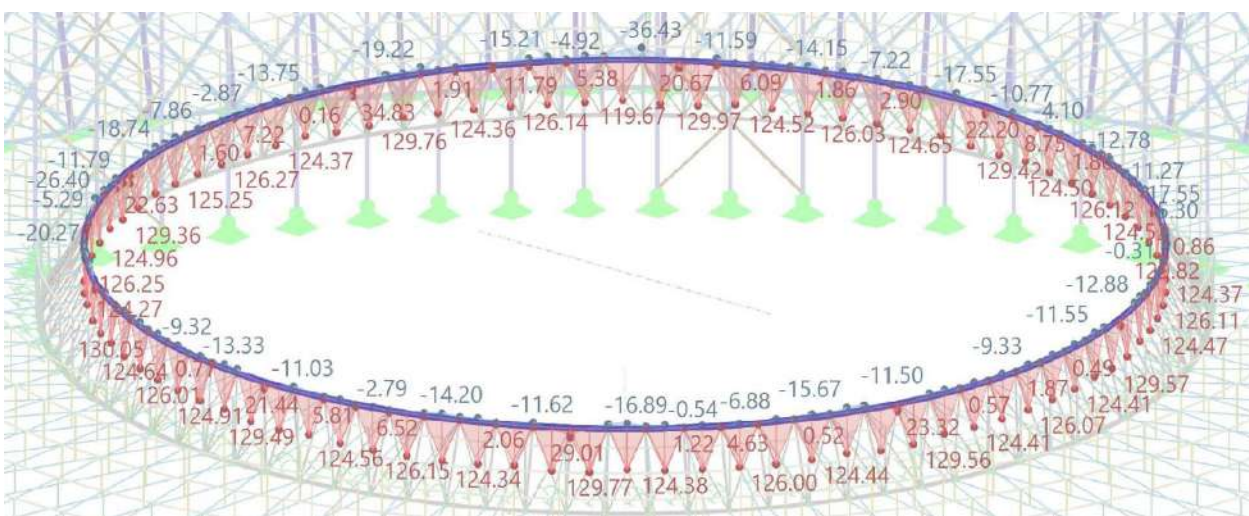
3) Obwódca sił tnących V_z



maks. V_z : 1601.25 | min. V_z : -702.62 kN

Rys. 3.39. Obwódca sił tnących V_z oddziałujących na górny pierścień wewnętrzny dla kombinacji KO1 - KO61

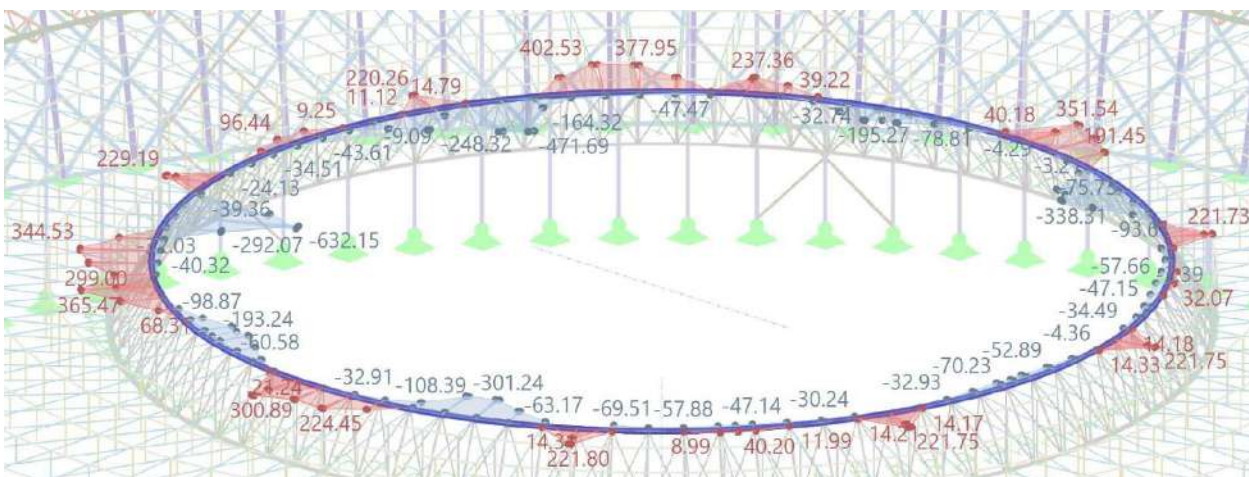
4) Obwódca momentów zginających M_y



maks. M_y : 130.05 | min. M_y : -36.43 kNm

Rys. 3.40. Obwódca momentów zginających M_y oddziałujących na górny pierścień wewnętrzny dla kombinacji KO1 - KO61

5) Obwiednia momentów zginających M_z

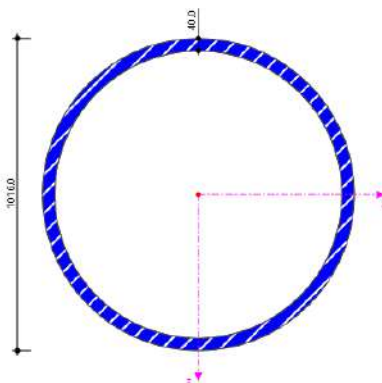


maks. M_z : 402.53 | min. M_z : -632.15 kNm

Rys. 3.41. Obwiednia momentów zginających M_z oddziałujących na górny pierścień wewnętrzny dla kombinacji KO1 - KO61

3.4.1.2 Charakterystyki geometryczne przekroju

Do obliczeń przyjęto przekrój CHS 1016 x 40:



Rys. 3.42. Przekrój profilu CHS 1016 x 40

Średnica:

$$d = 1016 \text{ mm}$$

Grubość ścianki:

$$t = 40 \text{ mm}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A_c = 1\,226,48 \text{ cm}^2$$

Moment bezwładności względem y-y oraz z-z:

$$I_y = I_z = 1\,462\,845 \text{ cm}^4$$

Wskaźnik sprężysty na zginanie względem y-y oraz z-z:

$$W_{el,y} = W_{el,z} = 28\,796 \text{ cm}^3$$

Wskaźnik plastyczny na zginanie względem y-y oraz z-z:

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 38\,124 \text{ cm}^3$$

Promień bezwładności względem y-y oraz z-z:

$$i_y = 34,5 \text{ cm}$$

3.4.1.3 Charakterystyki materiałowe

Gatunek stali:	S620Q
Granica plastyczności ($t < 50\text{mm}$):	$f_y = 620 \text{ MPa}$
Moduł sprężystości:	$E = 210 \text{ GPa}$
Współczynnik zależny od granicy plastyczności stali	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{620}} = 0,62$

3.4.1.4 Klasa przekroju

Sprawdzenie klasy przekroju w przypadku ściskania / zginania przeprowadzono na podstawie wyrażenia (3.12), zgodnie z normą [5]:

$$\frac{d}{t} = \frac{1016 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 25,40 \leq 70\varepsilon^2 = 26,91 \quad (3.12)$$

W związku z powyższym przekrój w przypadku ściskania oraz zginania zaklasyfikowano do klasy 2.

3.4.1.5 Nośność przekroju na rozciąganie

Obliczeniową nośność przekroju na rozciąganie obliczono zgodnie z [5] na podstawie wyrażenia (3.13):

$$N_{t,Rd} = A_c \cdot f_y \quad (3.13)$$

gdzie:

- A_c - pole powierzchni przekroju poprzecznego
- f_y - granica plastyczności stali

Zatem nośność obliczeniowa przekroju na rozciąganie wynosi:

$$N_{t,Rd} = \frac{122\,648 \text{ mm}^2 \cdot 620 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 76\,041,76 \text{ kN}$$

Obliczeniowa wartość maksymalnej siły rozciągającej na podstawie obwiedni sił osiowych przedstawionej na Rys. 3.37 wynosi: $N_{Ed} = 59\,429,60 \text{ kN}$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku rozciągania sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.14), zgodnie z normą [5]:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{59\,429,60\text{ kN}}{76\,041,76\text{ kN}} = 0,78 \leq 1,00 \quad (3.14)$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na rozciąganie jest spełniony

3.4.1.6 Nośność przekroju na zginanie jednokierunkowe

Z uwagi na fakt, że przekrój w przypadku zginania należy do klasy 2, do obliczeń przyjęto plastyczny wskaźnik na zginanie.

Nośność przekroju na zginanie obliczono na podstawie wyrażenia (3.15), zgodnie z normą [5]:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.15)$$

gdzie:

- W_{pl} - wskaźnik plastyczny względem rozpatrywanej osi
- f_y - granica plastyczności stali
- γ_{M0} - materiałowy współczynnik bezpieczeństwa dla stali

Zatem nośność przekroju na zginanie względem osi y-y oraz z-z wynosi:

$$M_{c,Rd,y} = M_{c,Rd,z} = \frac{38\,124\,000\text{ mm}^3 \cdot 620\text{ N/mm}^2}{1,0} = 23\,636,88\text{ kNm}$$

Obliczeniowa wartość maksymalnego momentu zginającego M_y podstawie obwiedni przedstawionej na Rys. 3.40 wynosi:

$$M_{y,Ed} = 130,05\text{ kNm}$$

Natomiast w przypadku zginania względem osi z/z:

$$M_{z,Ed} = 632,15\text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku zginania sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.16), zgodnie z normą [5].

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{130,05\text{ kNm}}{23\,636,88\text{ kNm}} = 0,01 \leq 1,0 \quad (3.16)$$

Analogicznie dla zginania względem osi z-z:

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,Rd,z}} = \frac{632,15 \text{ kNm}}{23\,636,88 \text{ kNm}} = 0,03 \leq 1,0$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na zginanie jest spełniony

3.4.1.7 Nośność przekroju na ścinanie

Pole przekroju czynnego przy ścinaniu obliczono na podstawie wzoru (3.17) dla rur okrągłych, zgodnie z [5]:

$$A_{v,z} = A_{v,y} = \frac{2 \cdot A_c}{\pi} = \frac{2 \cdot 1\,226,48 \text{ cm}^2}{\pi} = 780,80 \text{ cm}^2 \quad (3.17)$$

Nośność przekroju na ścinanie obliczono na podstawie wyrażenia (3.18), zgodnie z normą [5]:

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M_0}} \quad (3.18)$$

gdzie:

- A_v - pole przekroju czynnego przy ścinaniu
- f_y - granica plastyczności stali
- γ_{M_0} - materiałowy współczynnik bezpieczeństwa dla stali

Zatem nośność przekroju na ścinanie wynosi:

$$V_{Pl,y,Rd} = V_{Pl,z,Rd} = \frac{0,07808 \text{ m}^2 \cdot \left(\frac{620000 \text{ kN/m}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 27\,949,30 \text{ kN}$$

Obliczeniowe wartości maksymalnej siły tnącej $V_{y,Ed}$ oraz $V_{z,Ed}$ na podstawie obwiedni przedstawionych na Rys. 3.38 oraz Rys. 3.39 wynoszą:

$$V_{y,Ed} = 372,29 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 1601,25 \text{ kN}$$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku ścinania sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.19), zgodnie z normą [5].

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{Pl,y,Rd}} = \frac{372,29 \text{ kN}}{27\,949,30 \text{ kN}} = 0,01 \leq 1,0 \quad (3.19)$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{Pl,z,Rd}} = \frac{1601,25 \text{ kN}}{27\,949,30 \text{ kN}} = 0,06 \leq 1,0$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na ścinanie jest spełniony

3.4.1.8 Sprawdzenie wpływu siły ścinającej na nośność na zginanie

Sprawdzenie, czy konieczna jest redukcja nośności przekroju na zginanie z uwagi na ścinanie przeprowadzono na podstawie wyrażenia (3.20), zgodnie z normą [5]:

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{Pl,y,Rd}} = 0,01 \leq 0,5 \quad (3.20)$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{Pl,z,Rd}} = 0,06 \leq 0,5$$

Zatem warunek jest spełniony, wobec czego redukcja nośności przekroju na zginanie z uwagi na ścinanie nie jest konieczna.

3.4.1.9 Nośność przekroju na zginanie jednokierunkowe z uwzględnieniem redukcji z uwagi na siłę podłużną

Stan graniczny nośności przekroju na zginanie z siłą podłużną sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.17):

$$M_{N,y,Rd} = 1,04 \cdot M_{pl,Rd} \cdot (1 - n^{1,7}) \leq M_{pl,Rd} \quad (3.17)$$

gdzie:

- $M_{pl,Rd}$ - nośność plastyczna na zginanie
- n - współczynnik ($n = N_{Ed}/N_{pl,Rd}$)

Zatem wartości współczynnika n wynosi:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{59\,429,60 \text{ kN}}{76\,041,76 \text{ kN}} = 0,78$$

Zatem nośność przekroju na zginanie z siłą podłużną wynosi:

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = 1,04 \cdot 23\,636,88 \text{ kNm} \cdot (1 - 0,78^{1,7}) = 8\,469,11 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{130,05 \text{ kNm}}{8\,469,11 \text{ kNm}} = 0,02$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} = \frac{632,15 \text{ kNm}}{8\,469,11 \text{ kNm}} = 0,07$$

Zatem stan graniczny nośności przekroju w przypadku zginania zarówno względem osi z jak i osi y z siłą podłużną jest spełniony

3.4.1.10 Nośność przekroju na zginanie dwukierunkowe z uwzględnieniem redukcji z uwagi na siłę podłużną

Stan graniczny nośności przekroju na dwukierunkowe zginanie z siłą podłużną sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.18):

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^{\beta} \leq 1 \quad (3.18)$$

Wartości współczynników α oraz β przyjęto zgodnie z [5] jak dla rur okrągłych:

$$\alpha = 2; \beta = 2$$

Sprawdzenie stanu granicznego nośności w przypadku dwukierunkowego zginania przedstawiono poniżej:

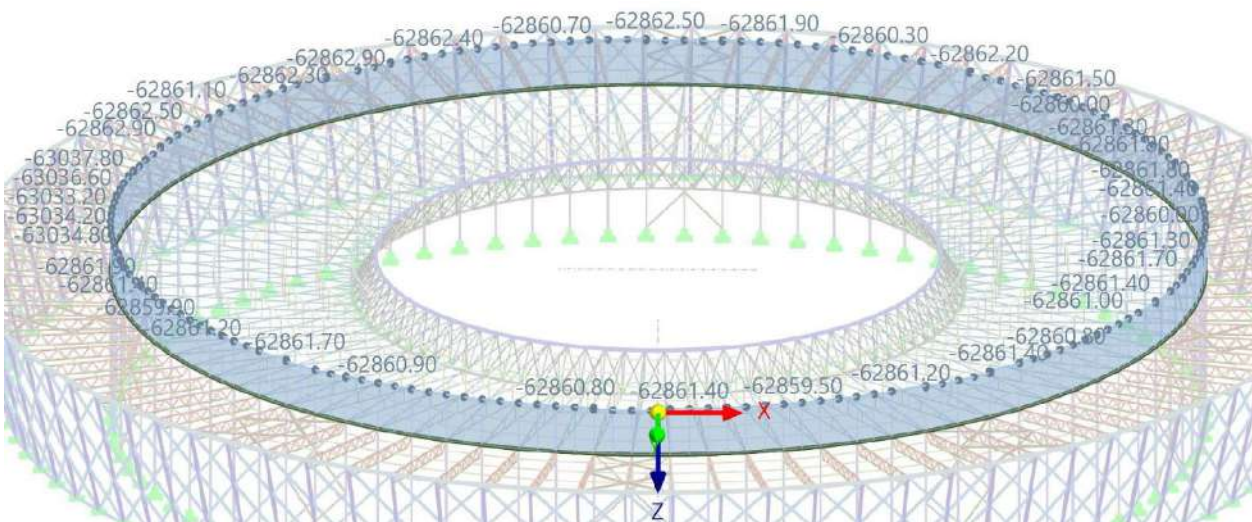
$$\left(\frac{130,05 \text{ kNm}}{8\,469,11 \text{ kNm}} \right)^2 + \left(\frac{632,15 \text{ kNm}}{8\,469,11 \text{ kNm}} \right)^2 = 0,01 \leq 1$$

Zatem stan graniczny nośności przekroju w przypadku zginania dwukierunkowego z siłą podłużną jest spełniony.

3.4.2 Wymiarowanie pierścienia pośredniego

3.4.2.1 Obwiednie sił wewnętrznych

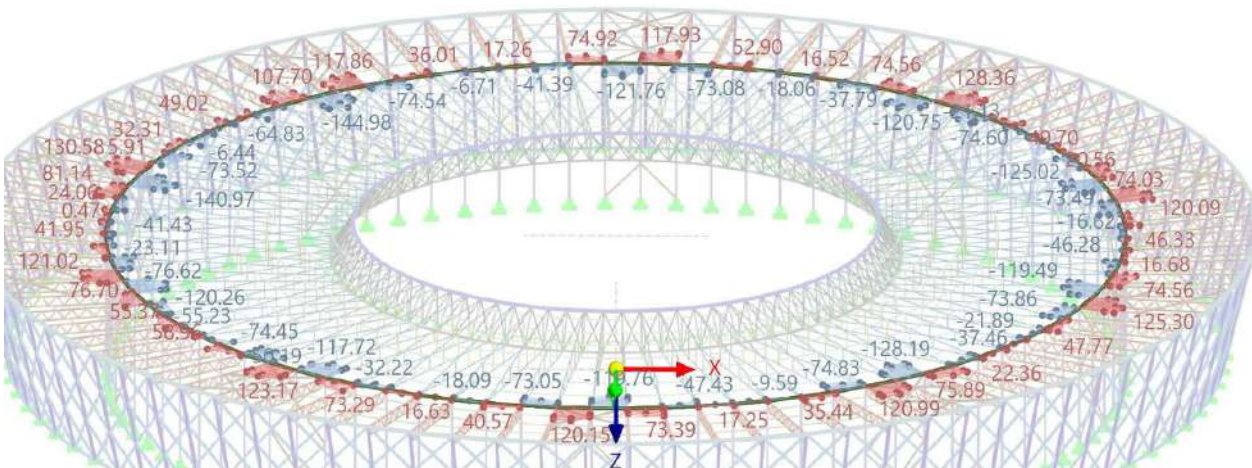
1) Obwiednia sił osiowych N_x



maks. N : -59783.00 | min. N : -63037.80 kN

Rys. 3.43. Obwiednia sił osiowych N_x oddziałujących na pierścień pośredni dla kombinacji KO1 - KO61

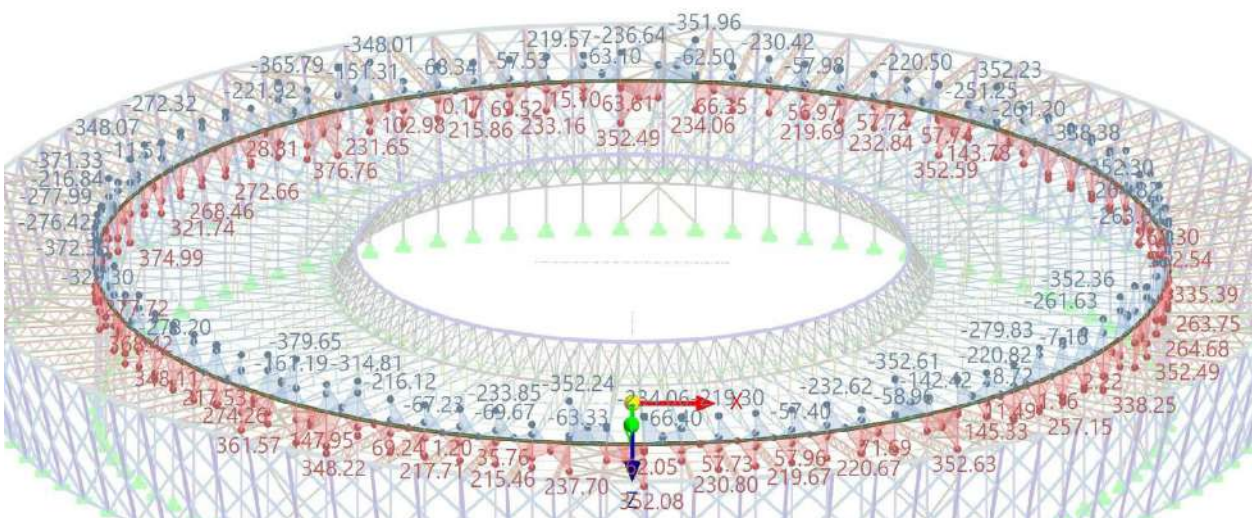
2) Obwiednia sił tnących V_y



maks. V_y : 130.58 | min. V_y : -144.98 kN

Rys. 3.44. Obwiednia sił tnących V_y oddziałujących na pierścień pośredni dla kombinacji KO1 - KO61

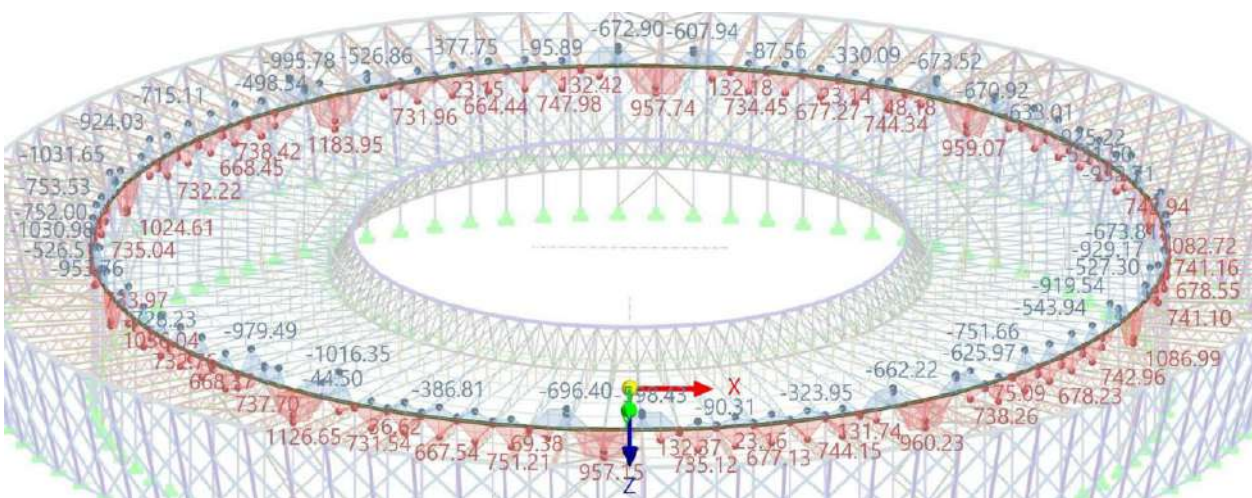
3) Obwiednia sił tnących V_z



maks. V_z : 376.76 | min. V_z : -379.65 kN

Rys. 3.45. Obwiednia sił tnących V_z oddziałujących na pierścień pośredni dla kombinacji KO1 - KO61

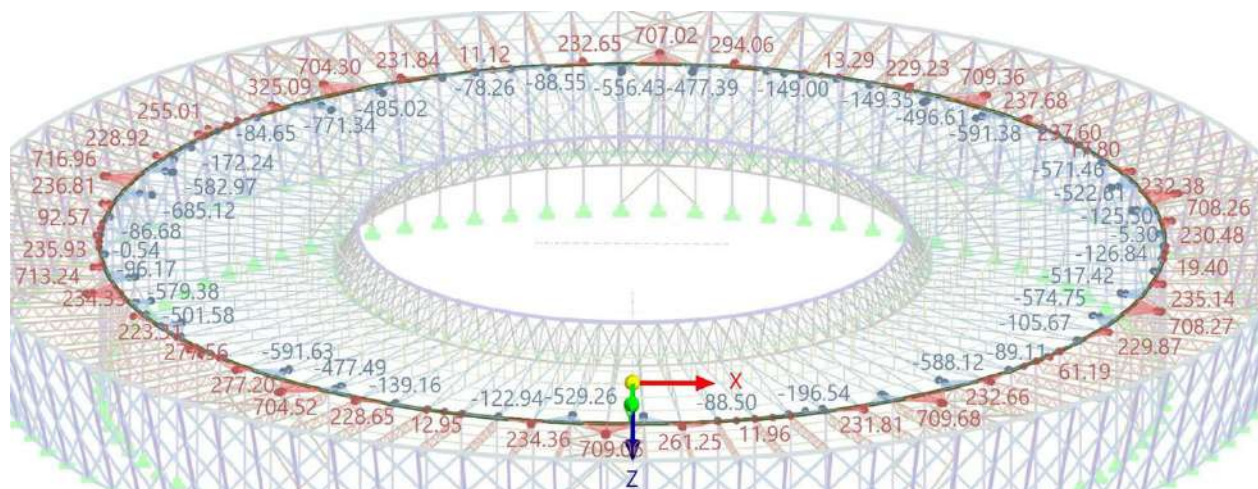
4) Obwiednia momentów zginających M_y



maks. M_y : 1183.95 | min. M_y : -1031.65 kNm

Rys. 3.46. Obwiednia momentów zginających M_y oddziałujących na pierścień pośredni dla kombinacji KO1 - KO61

5) Obwódca momentów zginających M_z



maks. M_z : 716.96 | min. M_z : -771.34 kNm

Rys. 3.47. Obwódca momentów zginających M_z oddziałujących na pierścień pośredni dla kombinacji KO1 - KO61

3.4.2.2 Charakterystyki geometryczne przekroju

Do obliczeń przyjęto przekrój **CHS 1016 x 40**, identyczny jak dla górnego pierścienia wewnętrznego - Rys. 3.42.

Charakterystyki geometryczne są zatem takie same jak w punkcie 3.5.2.2.

3.4.2.3 Charakterystyki materiałowe

Gatunek stali:

S620Q

Granica plastyczności ($t < 50\text{mm}$):

$f_y = 620 \text{ MPa}$

Moduł sprężystości:

$E = 210 \text{ GPa}$

Współczynnik zależny od granicy plastyczności stali $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{620}} = 0,62$

3.4.2.4 Klasa przekroju

Zgodnie ze sprawdzeniem w punkcie 3.5.2.4. przekrój w przypadku ściskania oraz zginania zaklasyfikowano do klasy 2.

3.4.2.5 Nośność przekroju na ściskanie

Obliczeniowa wartość maksymalnej siły ściskającej na podstawie obwiedni sił osiowych przedstawionej na Rys. 3.43 wynosi: $N_{Ed} = 63\,037,80\text{ kN}$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku ściskania sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.23), zgodnie z normą [5]:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{63\,037,80\text{ kN}}{76\,041,76\text{ kN}} = 0,83 \leq 1,00 \quad (3.23)$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na ściskanie jest spełniony

3.4.2.6 Nośność przekroju na zginanie jednokierunkowe

Obliczeniowa wartość maksymalnego momentu zginającego M_y podstawie obwiedni przedstawionej na Rys. 3.46 wynosi:

$$M_{y,Ed} = 1183,95\text{ kNm}$$

Natomiast w przypadku zginania względem osi z/z na podstawie obwiedni na Rys. 3.47:

$$M_{z,Ed} = 771,34\text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku zginania na podstawie wyrażenia (3.16):

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{1183,95\text{ kNm}}{23\,636,88\text{ kNm}} = 0,05 \leq 1,0$$

Analogicznie dla zginania względem osi z-z:

$$\frac{M_{Ed,z}}{M_{c,Rd,z}} = \frac{771,34\text{ kNm}}{23\,636,88\text{ kNm}} = 0,03 \leq 1,0$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na zginanie jest spełniony

3.4.2.7 Nośność przekroju na ścinanie

Obliczeniowe wartości maksymalnej siły tnącej $V_{y,Ed}$ oraz $V_{z,Ed}$ na podstawie obwiedni przedstawionych na Rys. 3.44 oraz Rys. 3.45 wynoszą:

$$V_{y,Ed} = 144,98\text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 379,65\text{ kN}$$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku ścinania na podstawie (3.19):

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{Pl,y,Rd}} = \frac{144,98 \text{ kN}}{27\,949,30 \text{ kN}} = 0,01 \leq 1,0$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{Pl,z,Rd}} = \frac{379,65 \text{ kN}}{27\,949,30 \text{ kN}} = 0,01 \leq 1,0$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na ścinanie jest spełniony

3.4.2.8 Sprawdzenie wpływu siły ścinającej na nośność na zginanie

Sprawdzenie, czy konieczna jest redukcja nośności przekroju na zginanie z uwagi na ścinanie na podstawie (3.20):

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{Pl,y,Rd}} = 0,01 \leq 0,5$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{Pl,z,Rd}} = 0,01 \leq 0,5$$

Zatem warunek jest spełniony, wobec czego redukcja nośności przekroju na zginanie z uwagi na ścinanie nie jest konieczna.

3.4.2.9 Nośność przekroju na zginanie jednokierunkowe z uwzględnieniem redukcji z uwagi na siłę podłużną

Stan graniczny nośności przekroju na zginanie z siłą podłużną sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.17):

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = 1,04 \cdot 23\,636,88 \text{ kNm} \cdot (1 - 0,83^{1,7}) = 6\,673,98 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{1183,95 \text{ kNm}}{6\,673,98 \text{ kNm}} = 0,18$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} = \frac{771,34 \text{ kNm}}{6\,673,98 \text{ kNm}} = 0,12$$

Zatem stan graniczny nośności przekroju w przypadku zginania zarówno względem osi z jak i osi y z siłą podłużną jest spełniony

3.4.2.10 Nośność przekroju na zginanie dwukierunkowe z uwzględnieniem redukcji z uwagi na siłę podłużną

Stan graniczny nośności przekroju na dwukierunkowe zginanie z siłą podłużną sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.18):

$$\left(\frac{1183,95 \text{ kNm}}{6\,673,98 \text{ kNm}}\right)^2 + \left(\frac{771,34 \text{ kNm}}{6\,673,98 \text{ kNm}}\right)^2 = 0,04 \leq 1$$

Zatem stan graniczny nośności przekroju w przypadku zginania dwukierunkowego z siłą podłużną jest spełniony.

3.4.2.11 Sprawdzenie nośności elementu na ściskanie z uwzględnieniem wyboczenia

Obliczenia przeprowadzono dla wyboczenia względem osi y-y jako bardziej niekorzystnego

Długość wyboczeniową względem osi y-y przyjęto jako: $L_{cr,y} = 10,82 \text{ m}$.

Obliczeniowa wartość maksymalnej siły ściskającej na podstawie obwiedni sił osiowych przedstawionej na Rys. 3.43 w tym przypadku wynosi: $N_{Ed} = 63\,037,80 \text{ kN}$

Na podstawie normy [5] przekrojowi **CHS 1016 x 40** w przypadku wyboczenia względem osi z-z przyporządkowano krzywą wyboczenia: a_0 .

W związku z powyższym przyjęto wartość parametru imperfekcji dla krzywej wyboczenia a_0 , równą: $\alpha_0 = 0,13$.

Wartość wyboczeniowej siły krytycznej względem osi y-y obliczono na podstawie wyrażenia (3.24), zgodnie z normą [5]:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} \quad (3.24)$$

gdzie:

- E - moduł sprężystości stali
- I_y - moment bezwładności względem osi y-y
- $L_{cr,y}$ - długość wyboczeniowa względem osi y-y

Zatem wartość wyboczeniowej siły krytycznej względem osi y-y wynosi:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 210\,000 \text{ MPa} \cdot 0,01462845 \text{ m}^4}{(10,82 \text{ m})^2} = 258\,978 \text{ kN}$$

Wartość smukłości względnej obliczono na podstawie wyrażenia (3.25), zgodnie z normą [5]:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{122\,648 \text{ mm}^2 \cdot 620 \text{ N/mm}^2}{258\,987\,000 \text{ N}}} = 0,542 \quad (3.25)$$

Wartość współczynnika Φ obliczono na podstawie wyrażenia (3.26), zgodnie z normą [5]:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (3.26)$$

gdzie:

- α - parametr imperfekcji
- $\bar{\lambda}$ - smukłość względna

Zatem wartość współczynnika Φ_y wynosi:

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,13 \cdot (0,542 - 0,2) + (0,523)^2] = 0,670$$

Wartość współczynnika redukcyjnego przy wyboczeniu obliczono na podstawie wyrażenia (3.27), zgodnie z normą [5]:

$$X_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,670 + \sqrt{(0,670)^2 - (0,542)^2}} = 0,942 \quad (3.27)$$

Nośność elementu na wyboczenie wyznaczono na podstawie wyrażenia (3.28), zgodnie z normą [5]:

$$N_{b,y,Rd} = \frac{X_y \cdot A_c \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (3.28)$$

gdzie:

- X_y - współczynnik redukcyjny przy wyboczeniu
- A_c - pole powierzchni przekroju poprzecznego
- f_y - granica plastyczności stali
- γ_{M1} - materiałowy współczynnik bezpieczeństwa dla stali

Zatem nośność elementu na wyboczenie wynosi:

$$N_{b,y,Rd} = \frac{0,942 \cdot 122\,648\,mm^2 \cdot 620\,N/mm^2}{1,0} = 71\,631,34\,kN$$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku wyboczenia sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.29), zgodnie z normą [5]:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{63\,037,80\text{ kN}}{71\,631,34\text{ kN}} = 0,88 \leq 1,0 \quad (3.29)$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności elementu z uwzględnieniem wyboczenia jest spełniony.

3.4.2.12 Nośność elementu na zginanie dwukierunkowe z siłą podłużną przy uwzględnieniu niestateczności

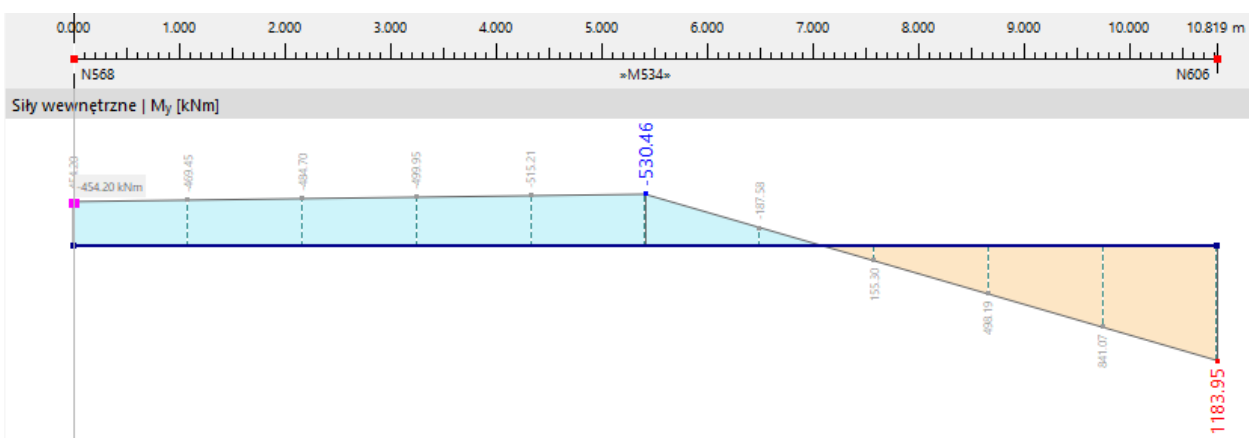
Do obliczeń przyjęto maksymalne wartości sił wewnętrznych spośród wszystkich kombinacji.

Odczytana obliczeniowa wartość siły osiowej w przypadku kombinacji KO34:

$$N_{Ed} = -63\,037,80\text{ kN}$$

Odczytana obliczeniowa wartość momentu zginającego względem osi y-y w przypadku kombinacji KO32:

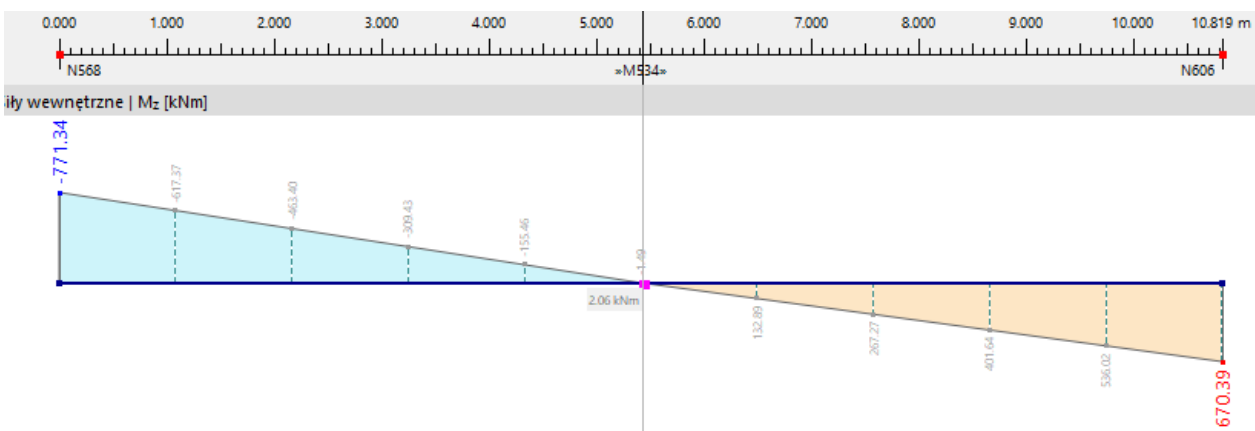
$$M_{y,Ed} = 1183,95\text{ kNm}$$



Rys. 3.48. Wykres momentów zginających M_y na rozpatrywanym odcinku pierścienia pośredniego w przypadku kombinacji KO32

Odczytana obliczeniowa wartość momentu zginającego względem osi z-z w przypadku kombinacji KO33:

$$M_{z,Ed} = 771,34\text{ kNm}$$



Rys. 3.49. Wykres momentów zginających M_z na rozpatrywanym odcinku pierścienia pośredniego w przypadku kombinacji KO33

Wartość współczynnika równoważnego stałego momentu wyznaczono na podstawie normy [5] - Rys. 3.50.

Wykres momentów	Zakres	C_{my} , C_{mz} i C_{mLT}		
		Obciążenie równomierne	Obciążenie skupione	
	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$		
 $\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h/M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 - 0,10\alpha_h(1+2\psi)^{N28)}$
W przypadku przechyłowej postaci wyboczenia można przyjmować odpowiednio $C_{my} = 0,9$ lub $C_{mz} = 0,9$.				
C_{my} , C_{mz} i C_{mLT} ustala się odpowiednio do rozkładu momentów między punktami podparcia (stężeniami), jak następuje:				
Współczynnik momentu	Oś zginania	Kierunek podparcia		
C_{my}	y-y	z-z		
C_{mz}	z-z	y-y		
C_{mLT}	y-y	y-y		

Rys. 3.50. Wartości współczynników równoważnego stałego momentu C_m , wg [5]

a) Zginanie względem y-y

Z wykresu momentów zginających przedstawionym na Rys. 3.48 odczytano:

$$M_h = 1183,95 \text{ kNm}$$

$$M_s = -530,46 \text{ kNm}$$

$$\psi \cdot M_h = -454,20 \text{ kNm}$$

Zatem wartość współczynnika ψ wynosi:

$$\psi = \frac{-454,20 \text{ kNm}}{1183,95 \text{ kNm}} = -0,38$$

Natomiast wartość współczynnika α_h wynosi:

$$\alpha_h = \frac{-530,46 \text{ kNm}}{1183,95 \text{ kNm}} = -0,45$$

Wartość współczynnika C_{my} obliczono na podstawie wyrażenia (3.30), zgodnie z tabelą przedstawioną na Rys. 3.50:

$$C_{my} = 0,90 - 0,10 \cdot \alpha_h \cdot (1 + 2\psi) \quad (3.30)$$

$$C_{my} = 0,90 - 0,10 \cdot (-0,45) \cdot (1 - 2 \cdot 0,38) = 0,91$$

b) Zginanie względem z-z

Z wykresu momentów zginających przedstawionym na Rys. 3.49 odczytano:

$$M = -771,34 \text{ kNm}$$

$$\psi \cdot M = 670,39 \text{ kNm}$$

Zatem wartość współczynnika ψ wynosi:

$$\psi = \frac{670,39 \text{ kNm}}{-771,34 \text{ kNm}} = -0,87$$

Wartość współczynnika C_{mz} obliczono na podstawie wyrażenia (3.31), zgodnie z tabelą przedstawioną na Rys. 3.50:

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4 \quad (3.31)$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,252 < 0,4 \rightarrow \text{Przyjęto } C_{mz} = 0,4$$

Wartości współczynników interakcji wyznaczono zgodnie z normą [5] - Rys. 3.51.

Spółczyn- niki interakcji	Typy przekrojów	Założenia projektowe	
		Przekroje klasy 3 i 4	Przekroje klasy 1 i 2
k_{yy}	Przekroje dwuteowe i rurowe prostokątne	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	Przekroje dwuteowe i rurowe prostokątne	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	Przekroje dwuteowe i rurowe prostokątne	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	Przekroje dwuteowe	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Przekroje rurowe prostokątne		$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
W przypadku ściskania i jednokierunkowego zginania $M_{y,Ed}$ dla przekrojów jw. można przyjmować $k_{zy} = 0$.			

Rys. 3.51. Współczynniki interakcji k_{ij} dla elementów niewrażliwych na deformacje skrętne

Wartość współczynnika interakcji k_{yy} obliczono następująco:

$$\begin{aligned}
 k_{yy} &= C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,20) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot N_{c,Rd}} \right) = \\
 &= 0,91 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,342 \cdot \frac{63\,037,80\,kN}{0,942 \cdot 76\,041,76\,kN} \right) = 1,07 \leq \\
 &\leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot N_{Rd}} \right) = 0,91 \cdot \left(1 + 0,8 \frac{63\,037,80\,kN}{0,942 \cdot 76\,041,76\,kN} \right) = 1,56
 \end{aligned}$$

➔ Przyjęto wartość współczynnika interakcji $k_{yy} = 1,07$

Wartość współczynnika interakcji k_{zy} obliczono następująco:

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,07 = 0,64$$

➔ Przyjęto wartość współczynnika interakcji $k_{zy} = 0,64$

Wartość współczynnika interakcji k_{zz} obliczono następująco:

$$\begin{aligned} k_{zz} &= C_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,20) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{c,Rd}} \right) = \\ &= 0,4 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,342 \cdot \frac{63\,037,80\text{ kN}}{0,942 \cdot 76\,041,76\text{ kN}} \right) = 0,47 \leq \\ &\leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{c,Rd}} \right) = 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \frac{63\,037,80\text{ kN}}{0,942 \cdot 76\,041,76\text{ kN}} \right) = 0,69 \end{aligned}$$

→ Przyjęto wartość współczynnika interakcji $k_{zz} = 0,47$

Wartość współczynnika interakcji k_{yz} obliczono następująco:

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,47 = 0,28$$

→ Przyjęto wartość współczynnika interakcji $k_{yz} = 0,28$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku zginania dwukierunkowego z siłą osiową przy uwzględnieniu niestateczności sprawdzono na podstawie wyrażeń (3.32) oraz (3.33), zgodnie z normą [5].

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot N_{c,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \cdot M_{c,Rd,y}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd,z}} \leq 1,0 \quad (3.32)$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{c,Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \cdot M_{c,Rd,y}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd,z}} \leq 1,0 \quad (3.33)$$

Sprawdzenie powyższych warunków przedstawiono poniżej:

$$\frac{63\,037,80\text{ kN}}{0,942 \cdot 76\,041,76\text{ kN}} + 1,07 \cdot \frac{1183,95\text{ kNm}}{23\,636,88\text{ kNm}} + 0,28 \cdot \frac{771,34\text{ kNm}}{23\,636,88\text{ kNm}} = 0,94 \leq 1$$

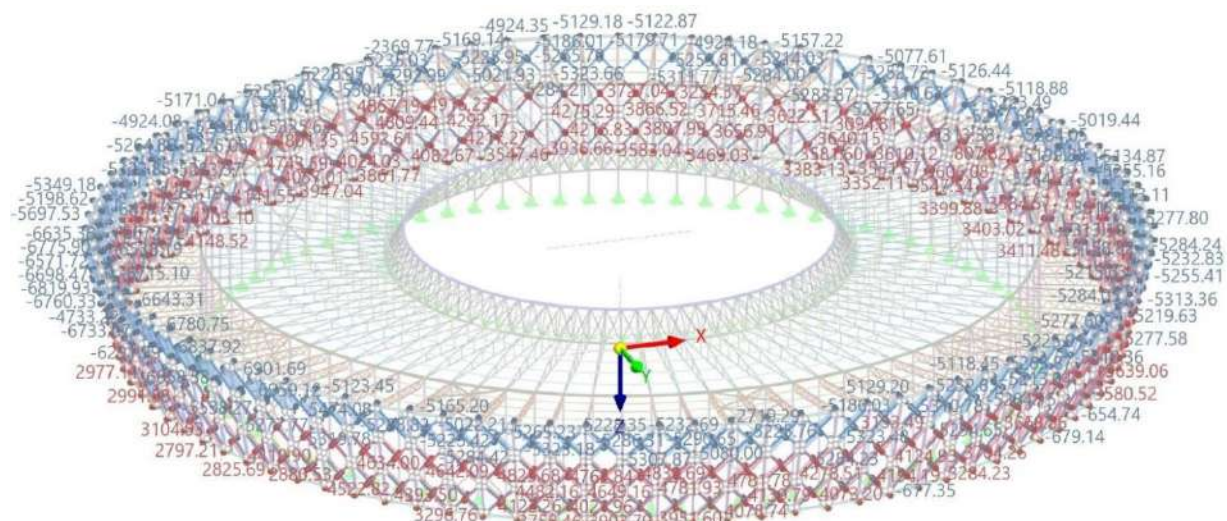
$$\frac{63\,037,80\text{ kN}}{0,942 \cdot 76\,041,76\text{ kN}} + 0,64 \cdot \frac{1183,95\text{ kNm}}{23\,636,88\text{ kNm}} + 0,47 \cdot \frac{771,34\text{ kNm}}{23\,636,88\text{ kNm}} = 0,92 \leq 1$$

Zatem warunki stanu granicznego nośności elementu w przypadku dwukierunkowego zginania z siłą osiową przy uwzględnieniu niestateczności są spełnione.

3.4.3 Wymiarowanie stężeń zewnętrznych

3.4.3.1 Obwiednie sił wewnętrznych

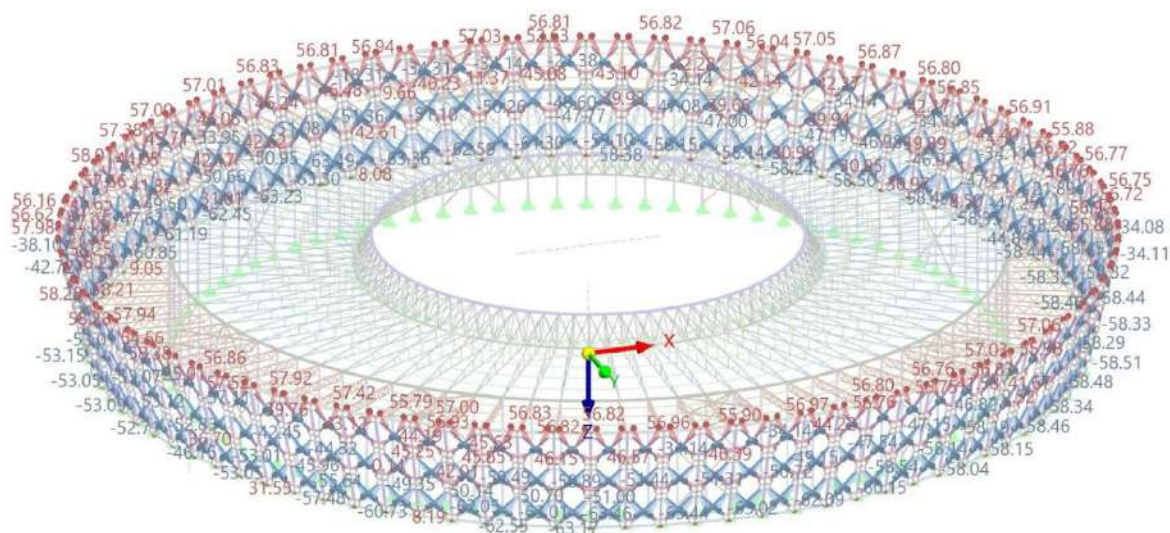
1) Obwiednia sił osiowych N_x



maks. N : 4975.70 | min. N : -6959.12 kN

Rys. 3.52. Obwiednia sił osiowych N_x oddziałujących na stężenia zewnętrzne dla kombinacji KO1 - KO61

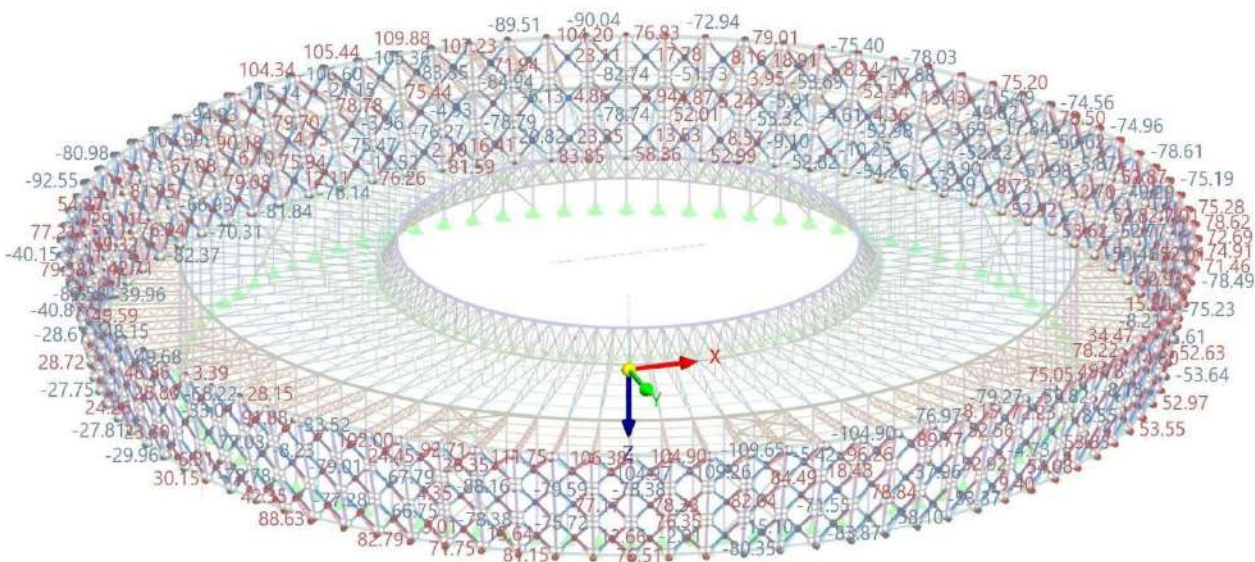
2) Obwiednia sił tnących V_y



maks. V_y : 58.38 | min. V_y : -63.49 kN

Rys. 3.53. Obwiednia sił tnących V_y oddziałujących na stężenia zewnętrzne dla kombinacji KO1 - KO61

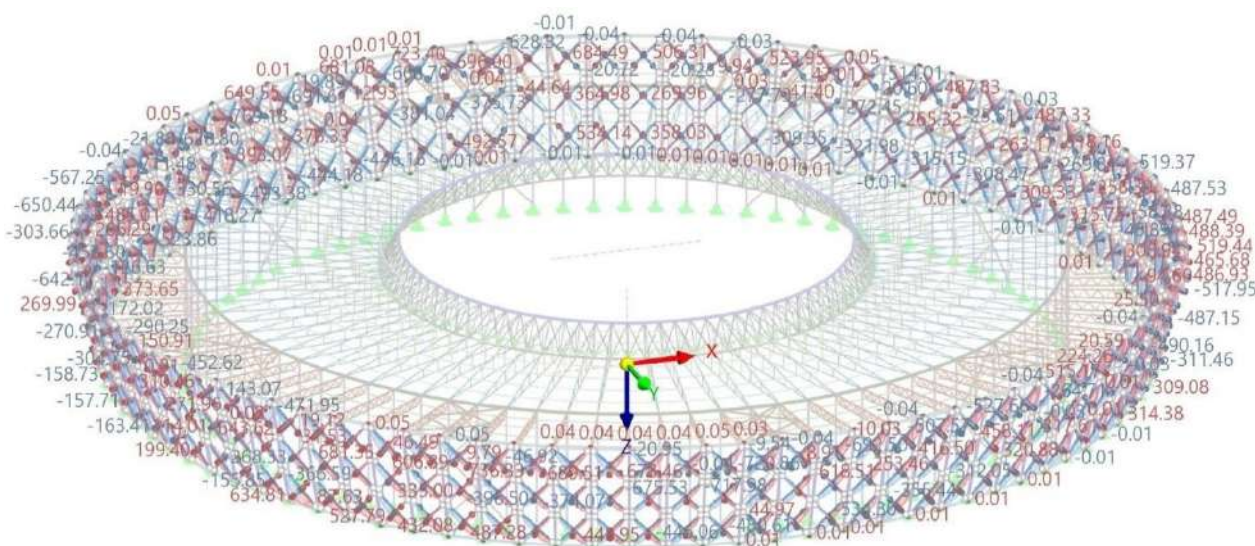
3) Obwódnia sił tnących V_z



maks. V_z : 111.75 | min. V_z : -115.14 kN

Rys. 3.54. Obwódnia sił tnących V_z oddziałujących na stężenia zewnętrzne dla kombinacji KO1 - KO61

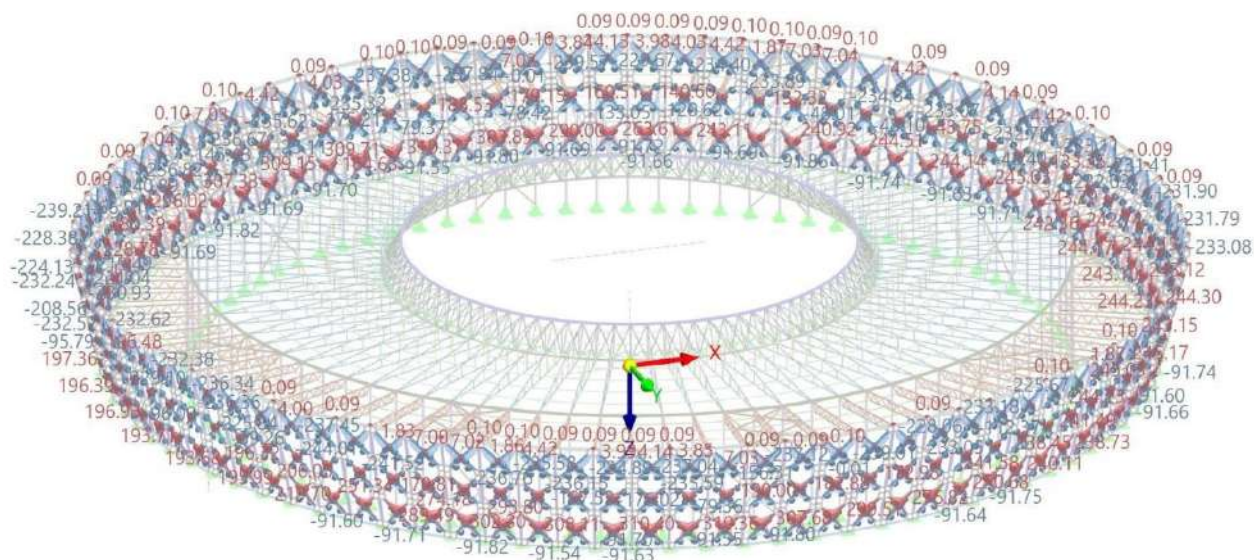
4) Obwódnia momentów zginających M_y



maks. M_y : 736.33 | min. M_y : -769.18 kNm

Rys. 3.55. Obwódnia momentów zginających M_y oddziałujących na stężenia zewnętrzne dla kombinacji KO1 - KO61

5) Obwiednia momentów zginających M_z

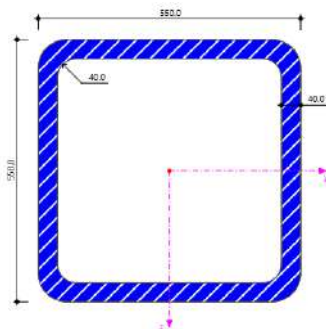


maks. M_z : 310.40 | min. M_z : -245.09 kNm

Rys. 3.56. Obwiednia momentów zginających M_z oddziałujących na stężenia zewnętrzne dla kombinacji KO1 - KO61

3.4.3.2 Charakterystyki geometryczne przekroju

Do obliczeń przyjęto przekrój SHS 550 x 40:



Rys. 3.57. Przekrój profilu SHS 550 x 40

Wysokość:

$$h = 550 \text{ mm}$$

Grubość ścianki:

$$t = 40 \text{ mm}$$

Wysokość prostej części średnika:

$$d = 390 \text{ mm}$$

Moment bezwładności względem y-y oraz z-z:

$$I_y = I_z = 341\,800 \text{ cm}^4$$

Wskaźnik sprężysty na zginanie względem y-y oraz z-z:

$$W_{el,y} = W_{el,z} = 12\,430 \text{ cm}^3$$

Wskaźnik plastyczny na zginanie względem y-y oraz z-z:

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 15\,140 \text{ cm}^3$$

Powierzchnia przekroju poprzecznego:

$$A_c = 799,0 \text{ cm}^2$$

3.4.3.3 Charakterystyki materiałowe

Gatunek stali:	S 355
Granica plastyczności ($t \leq 40\text{mm}$):	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Moduł sprężystości:	$E = 210 \text{ GPa}$
Współczynnik zależny od granicy plastyczności stali	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

3.4.3.4 Klasa przekroju na ściskanie

Sprawdzenie klasy przekroju w przypadku ściskania przeprowadzono na podstawie wyrażenia (3.32), zgodnie z normą [5]:

$$\frac{d}{t} = \frac{390 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 9,75 \leq 33\varepsilon = 26,73 \quad (3.34)$$

W związku z powyższym przekrój w przypadku ściskania zaklasyfikowano do klasy 1.

3.4.3.5 Klasa przekroju na zginanie

Sprawdzenie klasy przekroju w przypadku zginania przeprowadzono na podstawie wyrażenia (3.33), zgodnie z normą [5]:

$$\frac{d}{t} = \frac{390 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 9,75 \leq 72\varepsilon = 58,32 \quad (3.35)$$

W związku z powyższym przekrój w przypadku zginania zaklasyfikowano do klasy 1.

3.4.3.6 Klasa przekroju na zginanie ze ściskaniem

Wartość szerokości docisku siły osiowej obliczono na podstawie wyrażenia (3.36) zgodnie z normą [5]:

$$z_n = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot t \cdot f_y} = \frac{6959,12 \text{ kN}}{4 \cdot 40 \text{ mm} \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 122,5 \text{ mm} \quad (3.36)$$

Współczynnik strefy ściskanej z uwzględnieniem siły osiowej w zginanym przekroju obliczono na podstawie wyrażenia (3.37), zgodnie z normą [5]:

$$\alpha = 0,5 + \frac{z_n}{a - 2 \cdot t} = 0,5 + \frac{122,5 \text{ mm}}{470 \text{ mm}} = 0,76 \quad (3.37)$$

Sprawdzenie klasy przekroju w przypadku zginania ze ściskaniem przeprowadzono na podstawie wyrażenia (3.38), zgodnie z normą [5]:

$$\frac{d}{t} = \frac{390 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 26,00 \leq \frac{396\varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 36,12 \quad (3.38)$$

W związku z powyższym przekrój w przypadku zginania ze ściskaniem zaklasyfikowano do klasy 1.

3.4.3.7 Nośność przekroju na ściskanie

Obliczeniową nośność przekroju na ściskanie obliczono na podstawie wyrażenia (3.23):

$$N_{c,Rd} = \frac{79900 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 28\,364,50 \text{ kN}$$

Obliczeniowa wartość maksymalnej siły ściskającej na podstawie obwiedni sił osiowych przedstawionej na Rys. 3.52 wynosi: $N_{Ed} = 6959,12 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{6959,12 \text{ kN}}{28\,364,50 \text{ kN}} = 0,25 \leq 1,0$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na ściskanie jest spełniony.

3.4.3.8 Nośność przekroju na rozciąganie

Obliczeniową nośność przekroju na rozciąganie obliczono zgodnie z [5] na podstawie wyrażenia (3.13):

$$N_{Rd} = \frac{79900 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 28\,364,50 \text{ kN}$$

Obliczeniowa wartość maksymalnej siły rozciągającej na podstawie obwiedni sił osiowych przedstawionej na Rys. 3.52 wynosi: $N_{Ed} = 4\,977,95 \text{ kN}$

Sprawdzenie stanu granicznego nośności elementu w przypadku rozciągania na podstawie wyrażenia (3.14):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{4\,975,70 \text{ kN}}{28\,364,50 \text{ kN}} = 0,18 \leq 1,00$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na rozciąganie jest spełniony

3.4.3.9 Nośność przekroju na zginanie jednokierunkowe

Nośność przekroju na zginanie obliczono na podstawie wyrażenia (3.15):

$$M_{c,Rd,y} = M_{c,Rd,z} = \frac{12\,430\,000\text{ mm}^3 \cdot 355\text{ N/mm}^2}{1,0} = 4\,412,65\text{ kNm}$$

Obliczeniowa wartość maksymalnego momentu zginającego względem y-y na podstawie obwiedni przedstawionej na Rys. 3.55 wynosi:

$$M_{y,Ed} = 769,18\text{ kNm}$$

Natomiast w przypadku zginania względem osi z-z - Rys. 3.56:

$$M_{z,Ed} = 310,40\text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku zginania sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.16), zgodnie z normą [5].

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{769,18\text{ kNm}}{4\,412,65\text{ kNm}} = 0,17 \leq 1,0$$

Analogicznie dla zginania względem osi z-z:

$$\frac{M_{Ed,z}}{M_{c,Rd,z}} = \frac{310,40\text{ kNm}}{4\,412,65\text{ kNm}} = 0,07 \leq 1,0$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na zginanie jest spełniony

3.4.3.10 Nośność przekroju na ścinanie

Pole przekroju czynnego przy ścinaniu obliczono na podstawie wzoru (3.39) dla rur prostokątnych, zgodnie z [5]:

$$A_{v,z} = A_{v,y} = \frac{A_c \cdot h}{b + h} = \frac{A_c}{2} = \frac{799,0\text{ cm}^2}{2} = 399,5\text{ cm}^2 \quad (3.39)$$

Nośność przekroju na ścinanie obliczono na podstawie wyrażenia (3.18):

$$V_{Pl,y,Rd} = V_{Pl,z,Rd} = \frac{0,03995\text{ m}^2 \cdot \left(\frac{355000\text{ kN/m}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 8\,188,13\text{ kN}$$

Obliczeniowe wartości maksymalnej siły tnącej $V_{y,Ed}$ oraz $V_{z,Ed}$ na podstawie obwiedni przedstawionych na Rys. 3.61 oraz Rys. 3.62 wynoszą:

$$V_{y,Ed} = 63,49\text{ kN}; \quad V_{z,Ed} = 115,14\text{ kN}$$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku ścinania sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.19):

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{Pl,y,Rd}} = \frac{63,49 \text{ kN}}{8\,188,13 \text{ kN}} = 0,01 \leq 1,0$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{Pl,z,Rd}} = \frac{115,14 \text{ kN}}{8\,188,13 \text{ kN}} = 0,01 \leq 1,0$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na ścinanie jest spełniony

3.4.3.11 Sprawdzenie wpływu siły ścinającej na nośność na zginanie

Sprawdzenie, czy konieczna jest redukcja nośności przekroju na zginanie z uwagi na ścinanie przeprowadzono na podstawie wyrażenia (3.20):

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{Pl,y,Rd}} = 0,01 \leq 0,5$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{Pl,z,Rd}} = 0,01 \leq 0,5$$

Zatem warunek jest spełniony, wobec czego redukcja nośności przekroju na zginanie z uwagi na ścinanie nie jest konieczna.

3.4.3.12 Nośność przekroju na zginanie jednokierunkowe z uwzględnieniem redukcji z uwagi na siłę podłużną

Stan graniczny nośności przekroju na zginanie z siłą podłużną sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.40):

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0,5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd} \quad (3.40)$$

gdzie:

- $M_{pl,Rd}$ - nośność plastyczna na zginanie
- n - współczynnik $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$
- a_w - współczynnik $a_w = (A_c - 2bt) / A_c$

Zatem wartości współczynników wynoszą:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{4\,975,70 \text{ kN}}{28\,364,50 \text{ kN}} = 0,18$$

$$a_w = \frac{A_c - 2bt}{A_c} = \frac{799,0 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 55,0 \text{ cm} \cdot 4,0 \text{ cm}}{799,0 \text{ cm}^2} = 0,45$$

Zatem nośność przekroju na zginanie z siłą podłużną wynosi:

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = 4\,412,65 \text{ kNm} \cdot \frac{(1 - 0,18)}{1 - 0,5 \cdot 0,45} > M_{pl,Rd}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{769,18 \text{ kNm}}{4\,412,65 \text{ kNm}} = 0,17$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} = \frac{310,40 \text{ kNm}}{4\,412,65 \text{ kNm}} = 0,07$$

Zatem stan graniczny nośności przekroju w przypadku zginania zarówno względem osi z-z jak i y-y z siłą podłużną jest spełniony

3.4.3.13 Nośność przekroju na zginanie dwukierunkowe z uwzględnieniem redukcji z uwagi na siłę podłużną

Stan graniczny nośności przekroju na dwukierunkowe zginanie z siłą podłużną sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.18):

$$\left(\frac{769,18 \text{ kNm}}{4\,412,65 \text{ kNm}} \right)^2 + \left(\frac{310,40 \text{ kNm}}{4\,412,65 \text{ kNm}} \right)^2 = 0,03 \leq 1$$

Zatem stan graniczny nośności przekroju w przypadku zginania dwukierunkowego z siłą podłużną jest spełniony.

3.4.3.14 Sprawdzenie nośności elementu na ściskanie z uwzględnieniem wyboczenia

Obliczenia przeprowadzono dla wyboczenia względem osi y-y jako bardziej niekorzystny przypadek. Długość wyboczeniową względem osi y-y przyjęto jako: $L_{cr,y} = 19,33 \text{ m}$.

Obliczeniowa wartość maksymalnej siły ściskającej na podstawie obwiedni sił osiowych przedstawionej na Rys. 3.52 w tym przypadku wynosi: $N_{Ed} = 6959,12 \text{ kN}$

Na podstawie normy [5] przekrojowi SHS 550x40 w przypadku wyboczenia względem osi z-z przyporządkowano krzywą wyboczenia: a.

W związku z powyższym przyjęto wartość parametru imperfekcji dla krzywej wyboczenia a_0 ., równą: $\alpha_0 = 0,13$.

Wartość wyboczeniowej siły krytycznej względem osi y-y obliczono na podstawie wyrażenia (3.24):

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \text{ MPa} \cdot 0,003418 \text{ m}^4}{(19,33 \text{ m})^2} = 18\,959 \text{ kN}$$

Wartość smukłości względnej obliczono na podstawie wyrażenia (3.25):

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{79900 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{18\,959\,000 \text{ N}}} = 1,223$$

Wartość współczynnika Φ obliczono na podstawie wyrażenia (3.26):

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,13 \cdot (1,223 - 0,2) + (1,223)^2] = 1,314$$

Wartość współczynnika redukcyjnego przy wyboczeniu obliczono na podstawie wyrażenia (3.27):

$$X_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,314 + \sqrt{(1,314)^2 - (1,223)^2}} = 0,557$$

Nośność elementu na wyboczenie wyznaczono na podstawie wyrażenia (3.28):

$$N_{b,y,Rd} = \frac{0,557 \cdot 79900 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 15\,799,03 \text{ kN}$$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku wyboczenia sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.29):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{6\,959,12 \text{ kN}}{15\,799,03 \text{ kN}} = 0,44 \leq 1,0$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności elementu na wyboczenie jest spełniony.

3.4.3.15 Nośność elementu na zginanie dwukierunkowe z siłą podłużną przy uwzględnieniu niestateczności

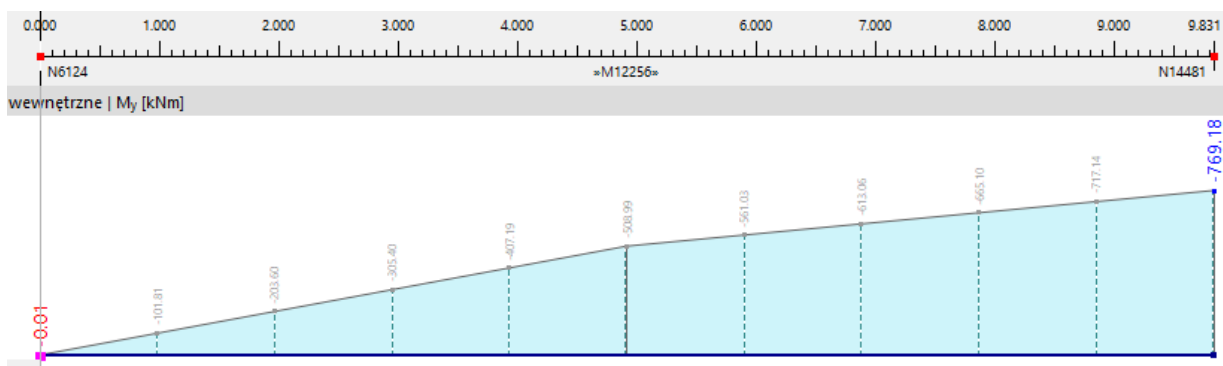
Z uwagi na fakt, że przekroje rurowe są niewrażliwe na zwichrzenie, przyjęto współczynnik $X_{LT} = 1,0$.

Odczytana obliczeniowa wartość siły osiowej w przypadku kombinacji KO33:

$$N_{Ed} = -6\,959,12 \text{ kN}$$

Odczytana obliczeniowa wartość momentu zginającego względem osi y-y w przypadku kombinacji KO32:

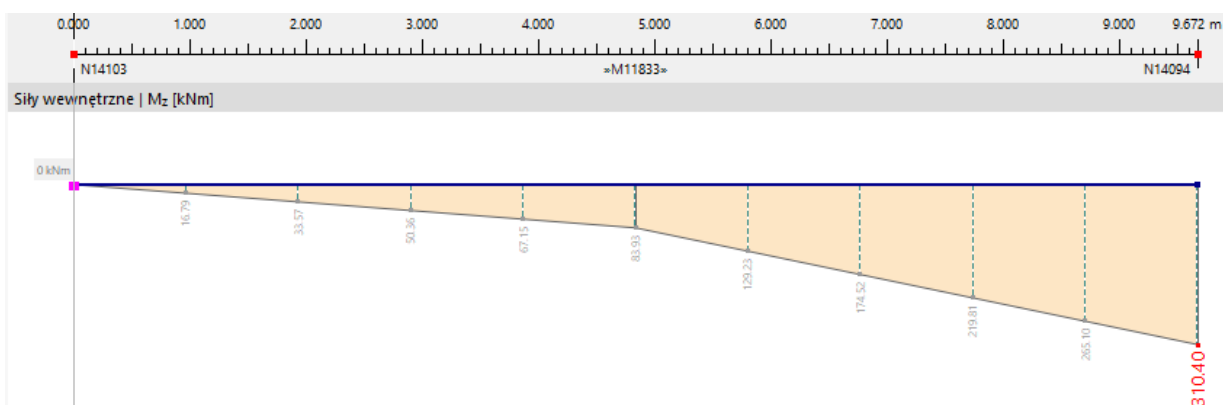
$$M_{y,Ed} = -769,18 \text{ kN}$$



Rys. 3.58. Wykres momentów zginających M_y na rozpatrywanym odcinku stężenia zewnętrznego dla przypadku kombinacji KO32

Odczytana obliczeniowa wartość momentu zginającego względem osi z-z w przypadku kombinacji KO32:

$$M_{z,Ed} = 310,40 \text{ kN}$$



Rys. 3.59. Wykres momentów zginających M_z na rozpatrywanym odcinku stężenia zewnętrznego dla przypadku kombinacji KO32

a) Zginanie względem y-y

Z wykresu momentów zginających przedstawionym na Rys. 3.58 odczytano:

$$M = -769,18 \text{ kNm}$$

$$\psi \cdot M = 0 \text{ kNm}$$

$$\psi = 0$$

Wartość współczynnika C_{my} obliczono na podstawie wyrażenia (3.31), zgodnie z tabelą przedstawioną na Rys. 3.50:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 \geq 0,4 \rightarrow \text{Przyjęto } C_{my} = 0,6$$

b) Zginanie względem z-z

Z wykresu momentów zginających przedstawionym na Rys. 3.59 odczytano:

$$M = 310,40 \text{ kNm}$$

$$\psi \cdot M = 0 \text{ kNm}$$

$$\psi = 0$$

Wartość współczynnika C_{mz} obliczono na podstawie wyrażenia (3.31):

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 \geq 0,4 \rightarrow \text{Przyjęto } C_{mz} = 0,6$$

Wartości współczynników interakcji na podstawie tabeli przedstawionej na Rys. 3.51.:

$$\begin{aligned} k_{yy} &= 0,6 \cdot \left(1 + (1,223 - 0,2) \cdot \frac{6959,12 \text{ kN}}{0,557 \cdot 28\,364,50 \text{ kN}} \right) = 0,87 \leq \\ &\leq 0,6 \cdot \left(1 + 0,8 \frac{8\,164,06 \text{ kN}}{0,557 \cdot 28\,364,50 \text{ kN}} \right) = 0,85 \end{aligned}$$

➔ Przyjęto wartość współczynnika interakcji $k_{yy} = 0,85$

Wartość współczynnika interakcji k_{zy} obliczono następująco:

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,85 = 0,51$$

➔ Przyjęto wartość współczynnika interakcji $k_{zy} = 0,51$

Wartość współczynnika interakcji k_{zz} obliczono następująco:

$$\begin{aligned} k_{zz} &= 0,6 \cdot \left(1 + (1,223 - 0,2) \cdot \frac{6959,12 \text{ kN}}{0,557 \cdot 28\,364,50 \text{ kN}} \right) = 0,87 \leq \\ &\leq 0,6 \cdot \left(1 + 0,8 \frac{8\,164,06 \text{ kN}}{0,557 \cdot 28\,364,50 \text{ kN}} \right) = 0,85 \end{aligned}$$

➔ Przyjęto wartość współczynnika interakcji $k_{zz} = 0,85$

Wartość współczynnika interakcji k_{yz} obliczono następująco:

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,85 = 0,51$$

➔ Przyjęto wartość współczynnika interakcji $k_{yz} = 0,51$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku zginania dwukierunkowego z siłą osiową przy uwzględnieniu niestateczności sprawdzono na podstawie wyrażeń (3.32) oraz (3.33):

$$\frac{6959,12 \text{ kN}}{0,557 \cdot 28\,364,50 \text{ kN}} + 0,87 \cdot \frac{769,18 \text{ kNm}}{4\,412,65 \text{ kNm}} + 0,51 \cdot \frac{310,40 \text{ kNm}}{4\,412,65 \text{ kNm}} = 0,63 \leq 1$$

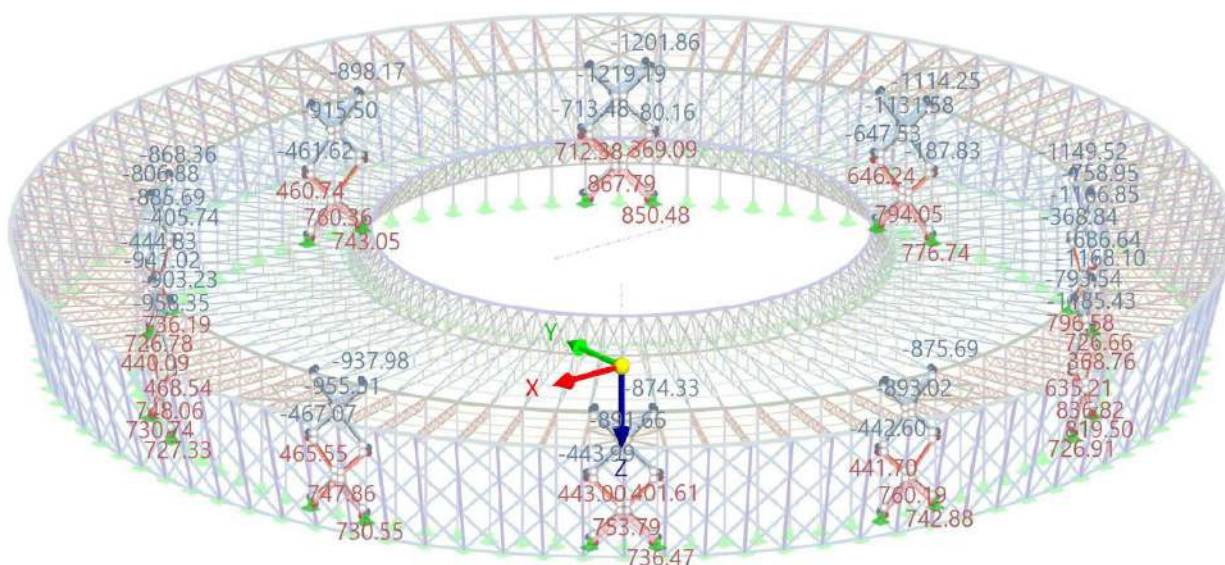
$$\frac{6959,12 \text{ kN}}{0,557 \cdot 28\,364,50 \text{ kN}} + 0,51 \cdot \frac{769,18 \text{ kNm}}{4\,412,65 \text{ kNm}} + 0,87 \cdot \frac{310,40 \text{ kNm}}{4\,412,65 \text{ kNm}} = 0,59 \leq 1$$

Zatem warunki stanu granicznego nośności elementu w przypadku dwukierunkowego zginania z siłą osiową przy uwzględnieniu niestateczności są spełnione.

3.4.4 Wymiarowanie stężeń wewnętrznych

3.4.4.1 Obwiednie sił wewnętrznych

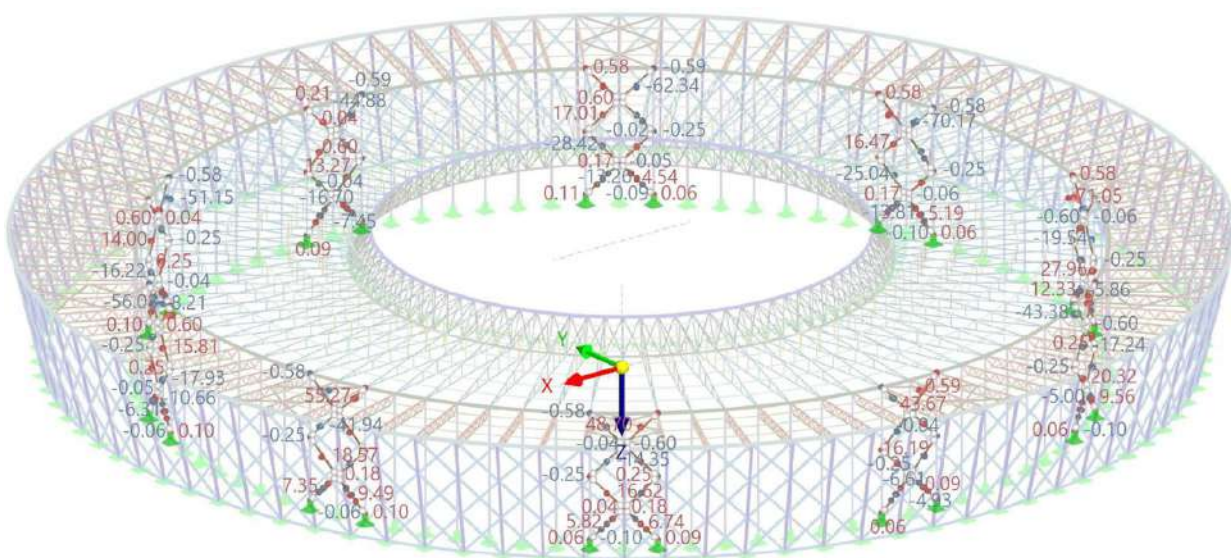
1) Obwiednia sił osiowych N_x



maks. N : 867.79 | min. N : -1219.19 kN

Rys. 3.60. Obwiednia sił osiowych N_x oddziałujących na stężenia wewnętrzne dla kombinacji KO1 - KO61

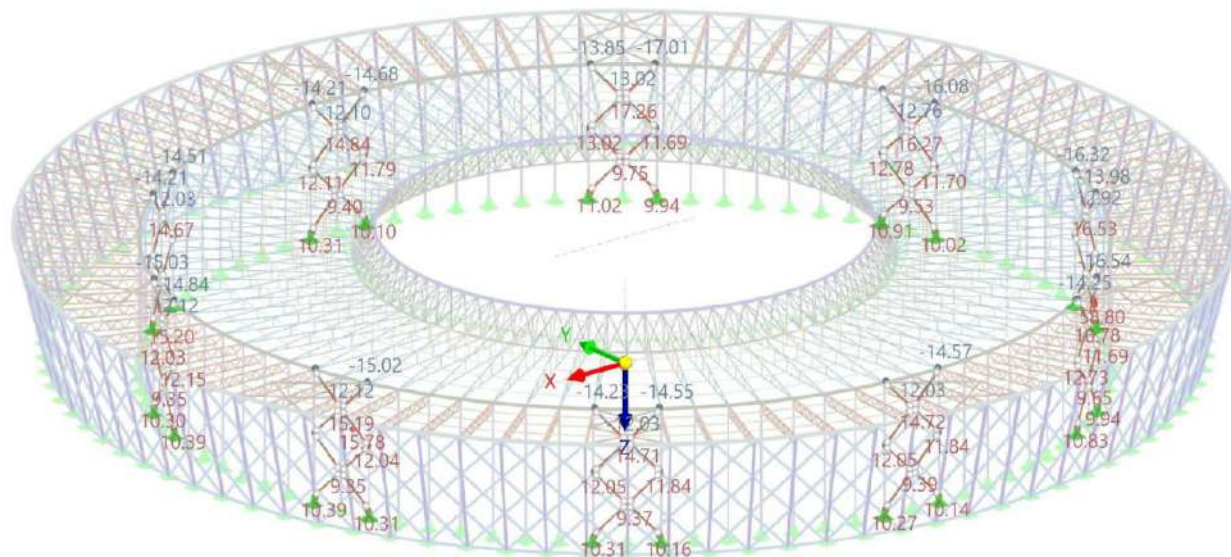
2) Obwiednia sił tnących V_y



maks. V_y : 71.05 | min. V_y : -70.17 kN

Rys. 3.61. Obwiednia sił tnących V_y oddziałujących na stężenia wewnętrzne dla kombinacji KO1 - KO61

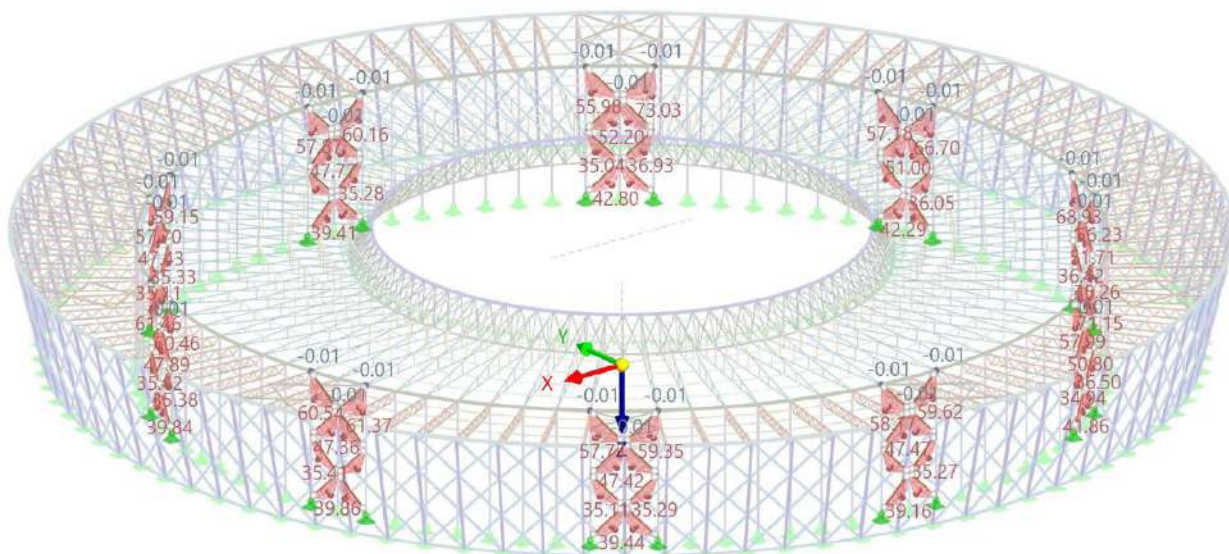
3) Obwiednia sił tnących V_z



maks. V_z : 58.80 | min. V_z : -17.01 kN

Rys. 3.62. Obwiednia sił tnących V_z oddziałujących na stężenia wewnętrzne dla kombinacji KO1 - KO61

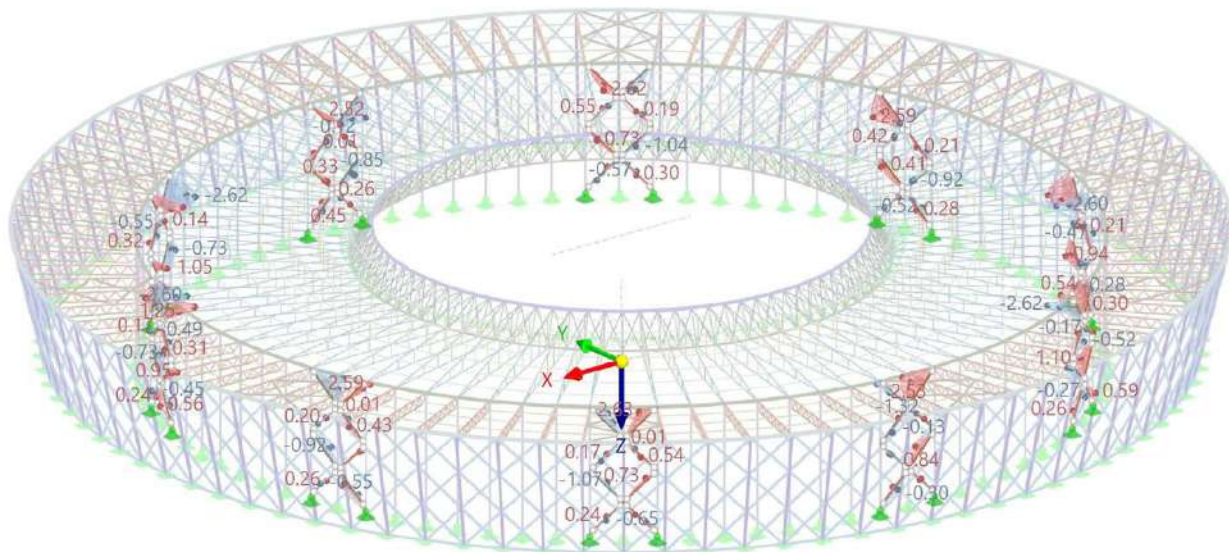
4) Obwiednia momentów zginających M_y



maks. M_y : 73.03 | min. M_y : -0.01 kNm

Rys. 3.63. Obwiednia momentów zginających M_y oddziałujących na stężenia wewnętrzne dla kombinacji KO1 - KO61

5) Obwiednia momentów zginających M_z

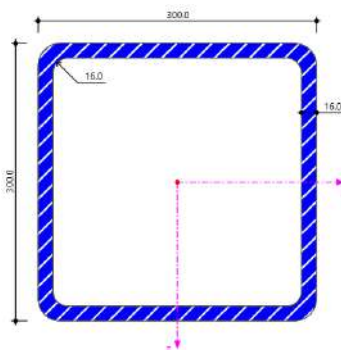


maks. M_z : 2.63 | min. M_z : -2.62 kNm

Rys. 3.64. Obwiednia momentów zginających M_z oddziałujących na stężenia wewnętrzne dla kombinacji KO1 - KO61

3.4.4.2 Charakterystyki geometryczne przekroju

Do obliczeń przyjęto przekrój SHS 300 x 16:



Rys. 3.65. Przekrój profilu SHS 300 x 16

Wysokość:	$h = 300 \text{ mm}$
Grubość ścianki:	$t = 16 \text{ mm}$
Wysokość prostej części środka:	$d = 236 \text{ mm}$
Moment bezwładności względem y-y oraz z-z:	$I_y = I_z = 23\,850 \text{ cm}^4$
Wskaźnik sprężysty na zginanie względem y-y oraz z-z:	$W_{el,y} = W_{el,z} = 1590 \text{ cm}^3$
Wskaźnik plastyczny na zginanie względem y-y oraz z-z:	$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 1895 \text{ cm}^3$
Powierzchnia przekroju poprzecznego:	$A_c = 179,0 \text{ cm}^2$

3.4.4.3 Charakterystyki materiałowe

Gatunek stali:	$S\,355$
Granica plastyczności ($t \leq 40\text{mm}$):	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Moduł sprężystości:	$E = 210 \text{ GPa}$
Współczynnik zależny od granicy plastyczności stali	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

3.4.4.4 Klasa przekroju na ściskanie

Sprawdzenie klasy przekroju w przypadku ściskania przeprowadzono na podstawie wyrażenia (3.32), zgodnie z normą [5]:

$$\frac{d}{t} = \frac{236 \text{ mm}}{16 \text{ mm}} = 14,75 \leq 33\varepsilon = 26,73$$

W związku z powyższym przekrój w przypadku ściskania zaklasyfikowano do klasy 1.

3.4.4.5 Klasa przekroju na zginanie

Sprawdzenie klasy przekroju w przypadku zginania przeprowadzono na podstawie wyrażenia (3.33), zgodnie z normą [5]:

$$\frac{d}{t} = \frac{236 \text{ mm}}{16 \text{ mm}} = 14,95 \leq 72\varepsilon = 58,32$$

W związku z powyższym przekrój w przypadku zginania zaklasyfikowano do klasy 1.

3.4.4.6 Nośność przekroju na ściskanie

Obliczeniową nośność przekroju na ściskanie obliczono na podstawie wyrażenia (3.23):

$$N_{c,Rd} = \frac{17900 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 6\,354,50 \text{ kN}$$

Obliczeniowa wartość maksymalnej siły ściskającej na podstawie obwiedni sił osiowych przedstawionej na Rys. 3.60 wynosi: $F_{Ed} = 1219,19 \text{ kN}$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{1\,219,19 \text{ kN}}{6\,354,50 \text{ kN}} = 0,19 \leq 1,0$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na ściskanie jest spełniony.

3.4.4.7 Nośność przekroju na rozciąganie

Obliczeniową nośność przekroju na rozciąganie obliczono na podstawie wyrażenia (3.13):

$$N_{Rd} = \frac{17900 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 6\,354,50 \text{ kN}$$

Obliczeniowa wartość maksymalnej siły rozciągającej na podstawie obwiedni sił osiowych przedstawionej na Rys. 3.60 wynosi: $F_{Ed} = 867,79 \text{ kN}$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku rozciągania sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.14):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{867,79 \text{ kN}}{6\,354,50 \text{ kN}} = 0,14 \leq 1,00$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na rozciąganie jest spełniony

3.4.4.8 Nośność przekroju na zginanie jednokierunkowe

Nośność przekroju na zginanie obliczono na podstawie wyrażenia (3.15):

$$M_{c,Rd,y} = M_{c,Rd,z} = \frac{1\,590\,000\,mm^3 \cdot 355\,N/mm^2}{1,0} = 564,45\,kNm$$

Obliczeniowa wartość maksymalnego momentu zginającego M_y podstawie obwiedni przedstawionej na Rys. 3.63 wynosi:

$$M_{y,Ed} = 73,03\,kNm$$

Natomiast w przypadku zginania względem osi z/z - Rys. 3.64:

$$M_{z,Ed} = 2,63\,kNm$$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku zginania sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.16):

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{73,03\,kNm}{564,45\,kNm} = 0,13 \leq 1,0$$

Analogicznie dla zginania względem osi z-z:

$$\frac{M_{Ed,z}}{M_{c,Rd,z}} = \frac{2,63\,kNm}{564,45\,kNm} = 0,00 \leq 1,0$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na zginanie jest spełniony.

Z uwagi na znikomy wpływ zginania na kierunku z-z, pominięto je w dalszych obliczeniach

3.4.4.9 Nośność przekroju na ścinanie

Pole przekroju czynnego przy ścinaniu obliczono na podstawie wzoru (3.39) dla rur prostokątnych:

$$A_{v,z} = A_{v,y} = \frac{179,0\,cm^2}{2} = 179,5\,cm^2$$

Nośność przekroju na ścinanie obliczono na podstawie wyrażenia (3.18):

$$V_{Pl,y,Rd} = V_{Pl,z,Rd} = \frac{0,01795\,m^2 \cdot \left(\frac{355000\,kN/m^2}{\sqrt{3}}\right)}{1,0} = 3\,679,02\,kN$$

Obliczeniowe wartości maksymalnej siły tnącej $V_{y,Ed}$ oraz $V_{z,Ed}$ na podstawie obwiedni przedstawionych na Rys. 3.61 oraz Rys. 3.62 wynoszą:

$$V_{y,Ed} = 71,05 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 58,80 \text{ kN}$$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku ścinania sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.19):

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{Pl,y,Rd}} = \frac{71,05 \text{ kN}}{3\,679,02 \text{ kN}} = 0,02 \leq 1,0$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{Pl,z,Rd}} = \frac{58,80 \text{ kN}}{3\,679,02 \text{ kN}} = 0,02 \leq 1,0$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na ścinanie jest spełniony

3.4.4.10 Sprawdzenie wpływu siły ścinającej na nośność na zginanie

Sprawdzenie, czy konieczna jest redukcja nośności przekroju na zginanie z uwagi na ścinanie przeprowadzono na podstawie wyrażenia (3.20):

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{Pl,y,Rd}} = 0,02 \leq 0,50$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{Pl,z,Rd}} = 0,02 \leq 0,50$$

Zatem warunek jest spełniony, wobec czego redukcja nośności przekroju na zginanie z uwagi na ścinanie nie jest konieczna.

3.4.4.11 Nośność przekroju na zginanie jednokierunkowe z uwzględnieniem redukcji z uwagi na siłę podłużną

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1\,219,19 \text{ kN}}{6\,354,50 \text{ kN}} = 0,14$$

$$a_w = \frac{A_c - 2bt}{A_c} = \frac{179,0 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 30,0 \text{ cm} \cdot 1,6 \text{ cm}}{179,0 \text{ cm}^2} = 0,46$$

Stan graniczny nośności przekroju na zginanie z siłą podłużną sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.40):

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = 564,45 \text{ kNm} \cdot \frac{(1 - 0,14)}{1 - 0,5 \cdot 0,46} > M_{pl,Rd}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{73,03 \text{ kNm}}{564,45 \text{ kNm}} = 0,13$$

Zatem stan graniczny nośności przekroju w przypadku zginania względem y-y z siłą podłużną jest spełniony

3.4.4.12 Sprawdzenie nośności elementu na ściskanie z uwzględnieniem wyboczenia

Obliczenia przeprowadzono dla wyboczenia względem osi y-y. Jako że warunki podparcia względem osi y-y oraz z-z, zatem jest bez znaczenia, która oś zostanie wybrana do obliczeń. Długość wyboczeniową względem osi y-y przyjęto jako: $L_{cr,y} = 15,25 \text{ m}$.

Obliczeniowa wartość maksymalnej siły ściskającej na podstawie obwiedni sił osiowych przedstawionej na Rys. 3.60 w tym przypadku wynosi: $N_{Ed} = 1219,19 \text{ kN}$

Na podstawie normy [5] przekrojowi **SHS 300 x 16** w przypadku wyboczenia względem osi z-z przyporządkowano krzywą wyboczenia: a.

W związku z powyższym przyjęto wartość parametru imperfekcji dla krzywej wyboczenia a_0 ., równą: $\alpha_0 = 0,13$.

Wartość wyboczeniowej siły krytycznej względem osi y-y obliczono na podstawie wyrażenia (3.24):

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \text{ MPa} \cdot 0,0002385 \text{ m}^4}{(15,25 \text{ m})^2} = 2\,125 \text{ kN}$$

Wartość smukłości względnej obliczono na podstawie wyrażenia (3.25):

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{17900 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{2\,125\,000 \text{ N}}} = 1,729$$

Wartość współczynnika Φ obliczono na podstawie wyrażenia (3.26):

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,13 \cdot (1,729 - 0,2) + (1,729)^2] = 2,094$$

Wartość współczynnika redukcyjnego przy wyboczeniu obliczono na podstawie wyrażenia (3.27):

$$X_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,094 + \sqrt{(2,094)^2 - (1,729)^2}} = 0,305$$

Nośność elementu na wyboczenie wyznaczono na podstawie wyrażenia (3.28):

$$N_{b,y,Rd} = \frac{0,305 \cdot 17900 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 1\,940,15 \text{ kN}$$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku wyboczenia sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.29):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{1\,219,19 \text{ kN}}{1\,940,15 \text{ kN}} = 0,63 \leq 1,0$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności elementu na wyboczenie jest spełniony.

3.4.4.13 Nośność elementu na zginanie względem y-y z siłą podłużną przy uwzględnieniu niestateczności

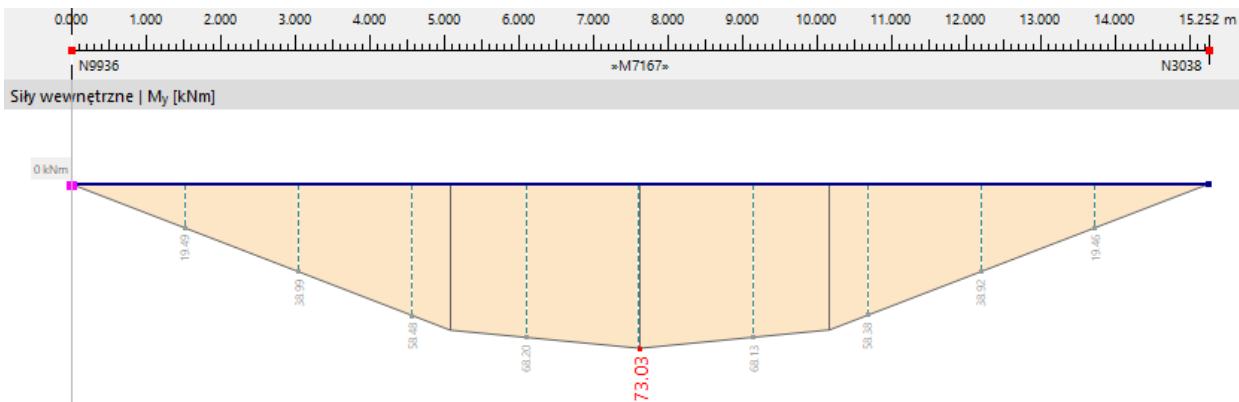
Z uwagi na fakt, że przekroje rurowe są niewrażliwe na zwichrzenie, przyjęto współczynnik $X_{LT} = 1,0$.

Odczytana obliczeniowa wartość siły osiowej w przypadku kombinacji KO35:

$$N_x = -1\,219,19 \text{ kN}$$

Odczytana obliczeniowa wartość momentu zginającego względem osi y-y w przypadku kombinacji KO35:

$$M_{y,Ed} = 73,03 \text{ kNm}$$



Rys. 3.66. Wykres momentów zginających M_y na rozpatrywanym odcinku stężenia wewnętrznego dla przypadku kombinacji KO35

Z wykresu momentów zginających przedstawionym na Rys. 3.66 odczytano:

$$M = 73,03 \text{ kNm}$$

$$\psi = 0; \alpha_h = 0$$

Wartość współczynnika C_{my} obliczono na podstawie wyrażenia (3.31), zgodnie z tabelą przedstawioną na Rys. 3.50:

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 \rightarrow \text{Przyjęto } C_{my} = 0,95$$

Wartości współczynników interakcji na podstawie tabeli przedstawionej na Rys. 3.51.:

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left(1 + (1,729 - 0,2) \cdot \frac{1\,219,19\text{ kN}}{0,305 \cdot 6\,354,50\text{ kN}} \right) = 1,86 \leq$$

$$\leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \frac{1\,219,19\text{ kN}}{0,305 \cdot 6\,354,50\text{ kN}} \right) = 1,43$$

➔ Przyjęto wartość współczynnika interakcji $k_{yy} = 1,43$

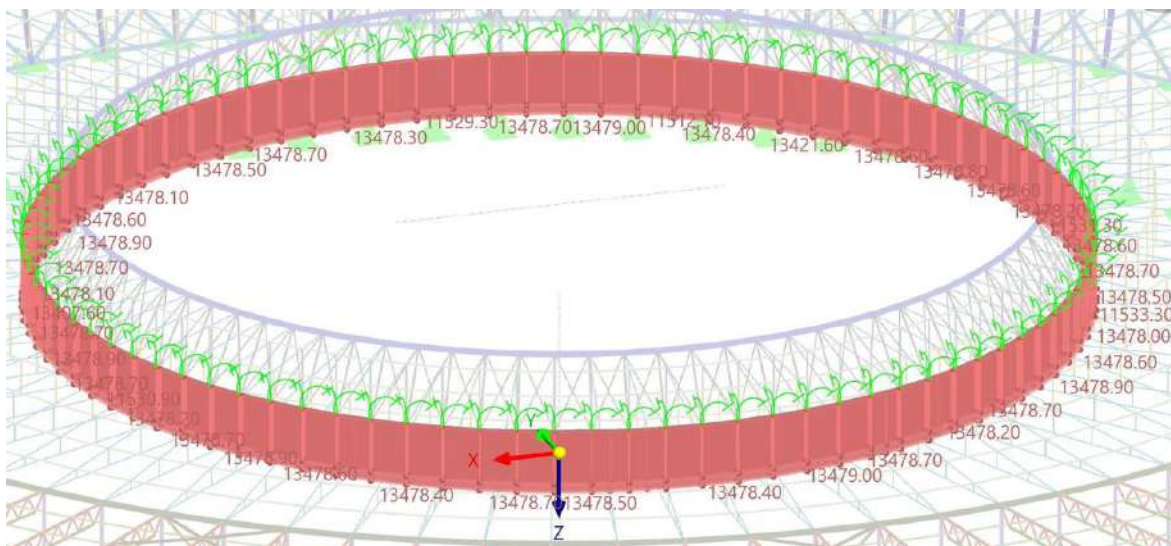
Stan graniczny nośności elementu w przypadku zginania względem osi y-y z siłą osiową przy uwzględnieniu niestateczności sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.32) zgodnie z normą [5].

$$\frac{1\,219,19\text{ kN}}{0,305 \cdot 6\,354,50\text{ kN}} + 1,43 \cdot \frac{73,03\text{ kNm}}{564,45\text{ kNm}} = 0,81 \leq 1$$

Zatem warunki stanu granicznego nośności elementu w przypadku zginania z siłą osiową przy uwzględnieniu niestateczności są spełnione.

3.4.5 Wymiarowanie cięgien wchodzących w skład środkowego pierścienia dolnego

3.4.5.1 Obwiednia sił osiowych



maks. N : 13479.00 | min. N : 11504.80 kN

Rys. 3.67. Obwiednia sił osiowych N_x oddziałujących na cięgna dla kombinacji KO1 - KO61

3.4.5.2 Charakterystyki geometryczne

Pierścień składa się z zestawu 6 jednakowych cięgien typu PV 2450.

Full Locked Cable - GALFAN

European technical assessment: Part of ETA-11/0160.

Material: Unalloyed quality steel

Corrosion protection: Inner layers: Hot dip galvanized with inner filling

Outer layers: GALFAN coated without inner filling

E modulus: 160 kN/mm²

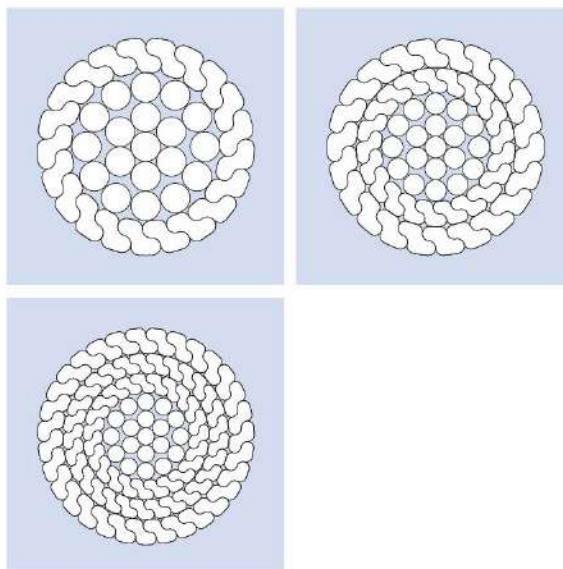
Tolerance E-Modulus: ± 10 kN/mm²

Tolerance nom. strand diameter: + 3 %

Design: construction: VVS-1 = 1, VVS-2 = 2, VVS-3 = 3 and more layers z-profiled wires

Subject to technical modifications!

Technical details: Due to prestressing and / or differing weather conditions inner filling may escape to the surface.



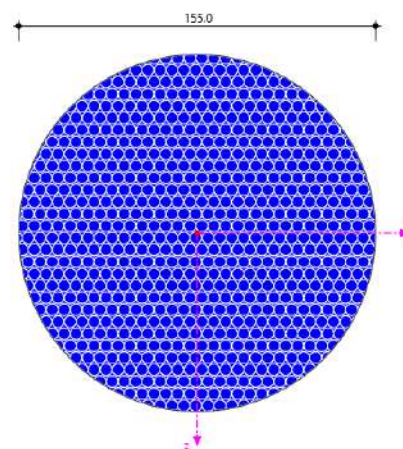
Rys. 3.68. Wycinek z karty technicznej producenta PFEIFER dla cięgien typu PV

▲ Geometria			
Średnica	d	155.0	mm
▲ Pole przekroju			
Pole przekroju	A	170.00	cm ²
▲ Inne			
Ciężar	G	133.5	kg/m
Powierzchnia na jednostkę długości	A _m	0.487	m ² /m
Objętość	V	17000.00	cm ³ /m
Współczynnik przekroju	A _m /V	28.644	1/m
Charakterystyczne obciążenie niszczące (wg DIN 18800)	Z _{B,k}	24500.000	kN
Graniczna siła rozciągająca (wg DIN 18800)	Z _{R,d}	16333.000	kN
Minimalne rozciąganie	Z _{min}	24500.000	kN

Kabel PV 2450

■ DIN EN 12385

■ Pfeifer



Rys. 3.69. Charakterystyki geometryczne przekroju PV 2450

3.4.5.3 Nośność przekroju na rozciąganie

Odczytana wartość granicznej siły rozciągającej zgodnie z [5] oraz DIN18800:

$$N_{t,Rd} = 16\,333,00\text{ kN}$$

Maksymalna siła rozciągająca odczytana z obwiedni przedstawionej na Rys. 3.67:

$$N_{Ed} = 13\,479,00\text{ kN}$$

Stan graniczny nośności elementu w przypadku rozciągania sprawdzono na podstawie wyrażenia (3.14), zgodnie z normą [5]:

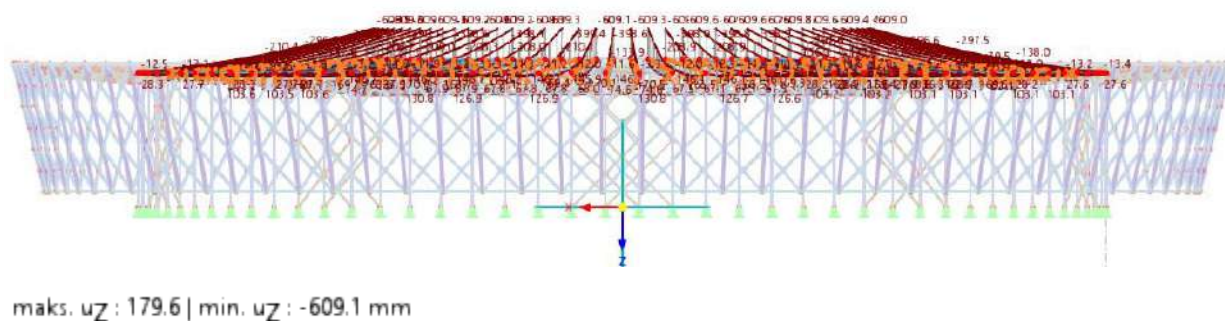
$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{13\,479,00\text{ kN}}{16\,333,00\text{ kN}} = 0,83 \leq 1,00$$

Zatem warunek stanu granicznego nośności przekroju na rozciąganie jest spełniony

3.4.6 Sprawdzenie stanu granicznego użytkowości przekrycia

Kryteria, jakie powinno spełnić przekrycie dachowe:

- Maksymalne pionowe ugięcie nie powinno przekroczyć 1000 mm
- Nie powinna wystąpić sytuacja, w której ugięcie utrudni swobodne spływanie wody, lub spowoduje jej spływanie do środka stadionu



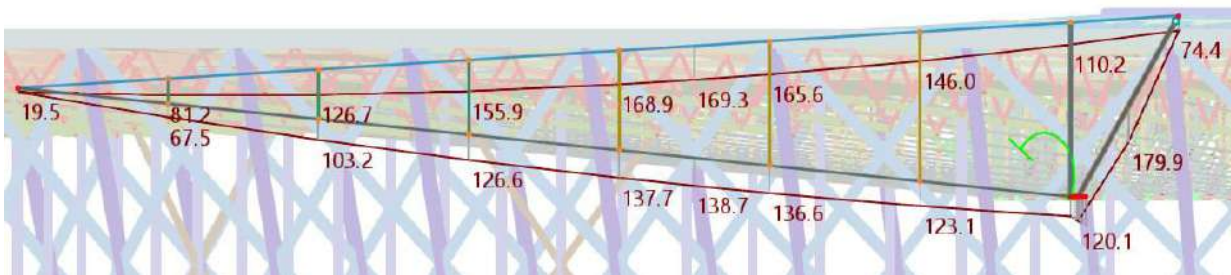
Rys. 3.70. Obwiednia ugięć na kierunku Z dla kombinacji KO62 – KO122 (SGU - Charakterystyczna)

Maksymalne ugięcie odczytane z obwiedni - Rys. 3.70:

$$x = 609,8\text{ mm} \leq 1000\text{ mm}$$

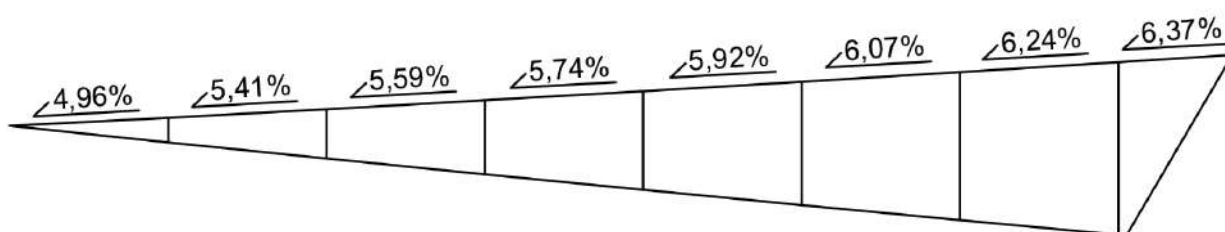
Zatem warunek jest spełniony

Jako minimalny kąt spadku potrzebny do swobodnego spływu wody deszczowej przyjęto wartość 3%. Poniżej przedstawiono wykres deformacji dla kombinacji z największymi pionowymi ugięciami w dół (KO72):

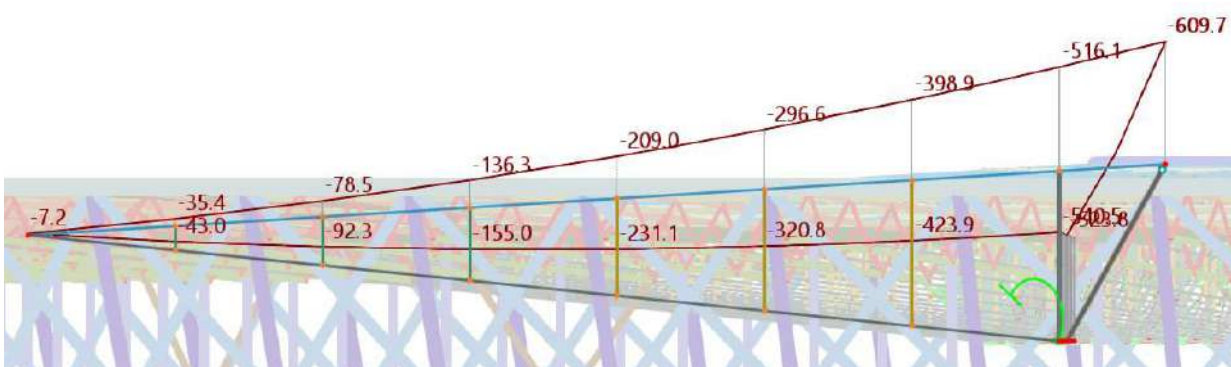


Rys. 3.71. Wykres deformacji u_z dla kombinacji KO72

Dla każdego odcinka spadek jest większy niż 3%, zatem swobodny spływ wody deszczowej nie będzie utrudniony - Rys. 3.72.



Rys. 3.72. Sprawdzenie kąta spadku dla poszczególnych odcinków między węzłami w przypadku kombinacji z największym ugięciem pionowym w dół (KO63)



Rys. 3.73. Wykres deformacji u_z dla kombinacji z największym ssaniem wiatru - KO79

3.4.7 Wymiarowanie połączenia nr 1

Projekt: Praca magisterska - połączenia

Projekt nr:

Autor : Mateusz Bartos



Element projektu Węzeł nr 1

Wymiarowanie

Nazwa Węzeł nr 1

Opis

Analiza Naprężenia, odkształcenia/ uproszczone obciążenie

Elementy

Geometria

Nazwa	Przekrój Poprzeczny	β – Kierunek [°]	γ - nachylenie [°]	α - obrót [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
C	10 - CHS559,16	0,0	90,0	90,0	0	0	0
B	9 - SHS300/300/16.0	0,0	45,0	0,0	0	30	0
M3	9 - SHS300/300/16.0	0,0	-45,0	0,0	0	30	0
M4	9 - SHS300/300/16.0	180,0	-45,0	0,0	0	30	0
M5	9 - SHS300/300/16.0	180,0	45,0	0,0	0	30	0

Podpory i siły

Nazwa	Podparcie	Siły w	X [mm]
C / początek	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Węzeł	0
C / koniec	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Węzeł	0
B / koniec		Węzeł	0
M3 / koniec		Węzeł	0
M4 / koniec		Węzeł	0
M5 / koniec		Węzeł	0

Przekroje

Nazwa	Materiał
10 - CHS559,16	S 355
9 - SHS300/300/16.0	S 355

Śruby

Nazwa	Zestaw śrub	Średnica [mm]	f_u [MPa]	Pole brutto [mm ²]
M39 10.9	M39 10.9	39	1000,0	1195



Efekty obciążenia (Równowaga nie jest wymagana)

Nazwa	Element	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Min N - KO35	B / koniec	-706,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M3 / koniec	-693,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4 / koniec	-118,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5 / koniec	-1219,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Max N - KO43	B / koniec	587,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M3 / koniec	550,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4 / koniec	867,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5 / koniec	269,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Sprawdzenie

Podsumowanie

Nazwa	Wartość	Status sprawdzenia
Analiza	100,0%	OK
Płyty	$0,3 < 5,0\%$	OK
Lokalna deformacja	$0,1 < 3\%$	OK
Śruby	$91,4 < 100\%$	OK
Spoiny	$99,3 < 100\%$	OK
Stateczność	Nie obliczono	
GMNA	Obliczony	

Płyty

Nazwa	Materiał	t_p [mm]	Obciążenia	σ_{Ed} [MPa]	ϵ_{pl} [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
C	S 355	16,0	Min N - KO35	355,7	0,3	0,0	OK
B	S 355	16,0	Min N - KO35	202,1	0,0	0,0	OK
M3	S 355	16,0	Min N - KO35	197,9	0,0	0,0	OK
M4	S 355	16,0	Max N - KO43	258,4	0,0	0,0	OK
M5	S 355	16,0	Min N - KO35	355,1	0,0	0,0	OK
SP1	S 355 - 1	50,0	Min N - KO35	322,7	0,0	23,9	OK
CPL3a	S 355	30,0	Min N - KO35	122,7	0,0	0,0	OK
CPL3b	S 355	40,0	Min N - KO35	213,3	0,0	51,7	OK
CPL4a	S 355	30,0	Min N - KO35	119,4	0,0	0,0	OK
CPL4b	S 355	40,0	Min N - KO35	212,6	0,0	46,2	OK
CPL5a	S 355	30,0	Max N - KO43	164,2	0,0	0,0	OK
CPL5b	S 355	40,0	Max N - KO43	221,6	0,0	29,8	OK
CPL6a	S 355	30,0	Min N - KO35	346,9	0,0	0,0	OK
CPL6b	S 355	40,0	Min N - KO35	355,3	0,1	95,3	OK

Dane projektowe

Materiał	f_y [MPa]	ϵ_{lim} [%]
S 355	355,0	5,0
S 355 - 1	335,0	5,0

Objaśnienie symbolu

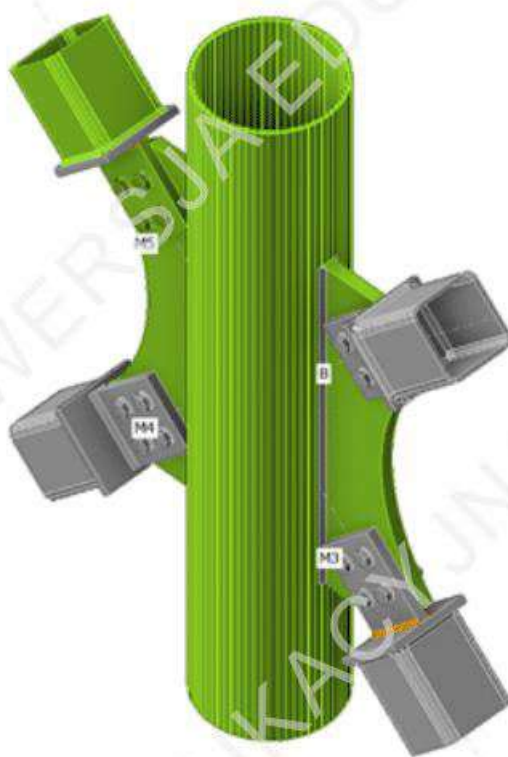
t_p	Grubość płyty
σ_{Ed}	Równoważne naprężenie
ϵ_{pl}	Odształcenie plastyczne
$\sigma_{c,Ed}$	Naprężenie dociskowe
f_y	Wytrzymałość na rozciąganie
ϵ_{lim}	Limit odkształceń plastycznych

Lokalna deformacja

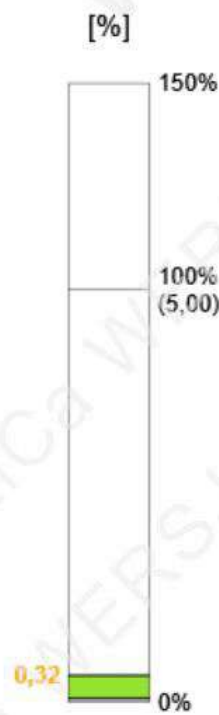
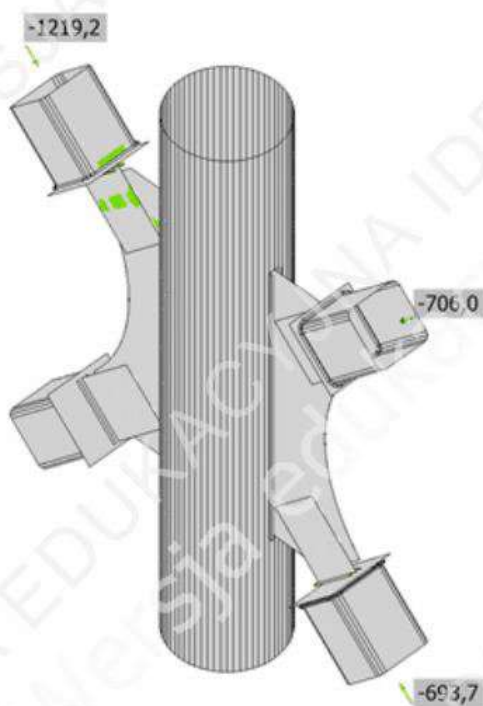
Nazwa	d_0 [mm]	Obciążenia	δ [mm]	δ_{lim} [mm]	δ/d_0 [%]	Status sprawdzenia
C	559	Min N - KO35	0	17	0,1	OK
B	300	Min N - KO35	0	9	0,0	OK
M3	300	Min N - KO35	0	9	0,0	OK
M4	300	Max N - KO43	0	9	0,0	OK
M5	300	Min N - KO35	0	9	0,1	OK

Objaśnienie symbolu

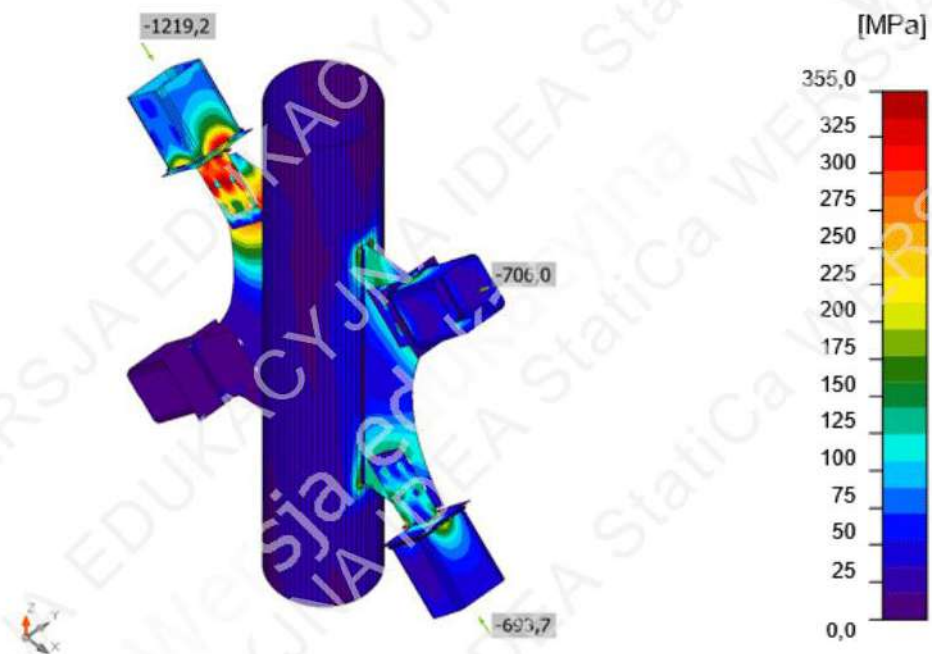
d_0	Rozmiar przekroju
δ	Lokalna deformacja przekroju
δ_{lim}	Dopuszczalna deformacja



Sprawdzenie ogólne, Min N - KO35



Sprawdzenie odkształcenia, Min N - KO35



Równoważne naprężenie, Min N - KO35

Śruby

Kształt	Pozycja	Gatunek	Obciążenia	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t,t}$ [%]	$U_{t,s}$ [%]	$U_{t,s}$ [%]	Status
	B1	M39 10.9 - 1	Min N - KO35	17,4	185,3	1316,5	2,5	47,5	49,2	OK
	B2	M39 10.9 - 1	Min N - KO35	34,8	160,2	1528,8	4,9	41,0	44,6	OK
	B3	M39 10.9 - 1	Min N - KO35	19,3	193,8	1316,5	2,7	49,7	51,6	OK
	B4	M39 10.9 - 1	Min N - KO35	65,1	167,1	1528,8	9,3	42,8	49,4	OK
	B5	M39 10.9 - 1	Min N - KO35	19,2	189,3	1316,5	2,7	48,5	50,4	OK
	B6	M39 10.9 - 1	Min N - KO35	61,0	165,1	1528,8	8,7	42,3	48,5	OK
	B7	M39 10.9 - 1	Min N - KO35	16,3	181,1	1316,5	2,3	46,4	48,0	OK
	B8	M39 10.9 - 1	Min N - KO35	32,0	158,5	1528,8	4,6	40,6	43,9	OK
	B9	M39 10.9 - 1	Max N - KO43	66,8	217,4	970,7	9,5	55,7	62,5	OK
	B10	M39 10.9 - 1	Max N - KO43	0,9	208,6	1316,5	0,1	53,4	53,5	OK
	B11	M39 10.9 - 1	Max N - KO43	89,0	225,0	970,7	12,7	57,6	66,7	OK
	B12	M39 10.9 - 1	Max N - KO43	0,0	217,1	1316,5	0,0	55,6	55,6	OK
	B13	M39 10.9 - 1	Min N - KO35	26,1	346,6	1316,5	3,7	88,8	91,4	OK
	B14	M39 10.9 - 1	Min N - KO35	166,4	280,4	1528,8	23,7	71,8	88,7	OK
	B15	M39 10.9 - 1	Min N - KO35	21,9	327,8	1316,5	3,1	84,0	86,2	OK
	B16	M39 10.9 - 1	Min N - KO35	107,0	265,3	1528,8	15,2	68,0	78,8	OK

Dane projektowe

Gatunek	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M39 10.9 - 1	702,7	1868,5	390,4

Objaśnienie symbolu

$F_{t,Ed}$	Siła rozciągająca
$F_{v,Ed}$	Wypadkowa sił ścinających w śrubie V_y i V_z w płaszczyznach ścinania
$F_{b,Rd}$	Nośność blachy na docisk EN 1993-1-8 — Tabela 3.4
U_{t_i}	Wyężenie w rozciąganiu
U_{t_s}	Wyężenie w ścinaniu
$U_{t,s}$	Interakcja rozciągania i ścinania EN 1993-1-8 – Tabela 3.4
$F_{t,Rd}$	Nośność śruby na rozciąganie EN 1993-1-8 – Tabela 3.4
$B_{p,Rd}$	Nośność na przebicie EN 1993-1-8 — Tabela 3.4
$F_{v,Rd}$	Nośność śruby na ścinanie EN 1993-1-8 – Tabela 3.4

Spoiny

Pozycja	Krawędź	T_w [mm]	L [mm]	Obciążenia	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	ϵ_{pl} [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{ }$ [MPa]	U_{t_i} [%]	U_{t_s} [%]	Status
SP1	C-arc 1	▲ 12,0 ▼	1517	Min N - KO35	143,5	0,0	93,5	7,4	62,4	34,3	20,5	OK
		▲ 12,0 ▼	1514	Min N - KO35	168,6	0,0	-35,3	26,2	-91,5	40,4	17,8	OK
SP1	C-arc 32	▲ 12,0 ▼	1517	Min N - KO35	94,0	0,0	57,6	19,4	-38,3	22,5	19,3	OK
		▲ 12,0 ▼	1517	Min N - KO35	125,0	0,0	-39,7	6,9	68,1	29,9	17,6	OK
SP1	C-arc 33	▲ 12,0 ▼	1517	Min N - KO35	99,4	0,0	-40,9	-2,3	52,3	23,8	19,9	OK
		▲ 12,0 ▼	1517	Min N - KO35	85,8	0,0	32,2	-0,1	-45,9	20,5	13,9	OK
SP1	C-arc 64	▲ 12,0 ▼	1517	Min N - KO35	128,4	0,0	-102,0	-23,8	-38,1	30,7	19,4	OK
		▲ 12,0 ▼	1517	Min N - KO35	184,6	0,0	77,6	-9,9	96,2	44,2	31,8	OK
CPL3a	CPL3b	▲ 12,0 ▼	298	Min N - KO35	427,1	0,1	-193,5	-197,2	97,0	98,1	94,1	OK
		▲ 12,0 ▼	299	Min N - KO35	426,9	0,0	-202,5	197,3	90,2	98,0	85,1	OK
CPL4a	CPL4b	▲ 12,0 ▼	298	Min N - KO35	427,0	0,1	-193,5	-196,2	-99,1	98,0	91,8	OK
		▲ 12,0 ▼	299	Min N - KO35	426,8	0,0	-200,9	197,7	-90,4	98,0	84,0	OK
CPL5a	CPL5b	▲ 12,0 ▼	299	Max N - KO43	427,4	0,3	196,8	200,7	-87,7	98,1	88,6	OK
		▲ 12,0 ▼	299	Max N - KO43	427,7	0,5	205,9	-203,2	-74,5	98,2	94,3	OK
CPL6a	CPL6b	▲ 12,0 ▼	298	Min N - KO35	432,5	3,3	-179,8	-219,9	-56,7	99,3	99,3	OK
		▲ 12,0 ▼	299	Min N - KO35	428,8	1,1	-264,9	182,0	-68,9	98,4	98,4	OK
CPL3a	B	▲ 12,0 ▼	1074	Min N - KO35	185,5	0,0	-104,9	-86,2	19,1	42,6	17,5	OK
CPL4a	M3	▲ 12,0 ▼	1074	Min N - KO35	182,1	0,0	-102,6	-84,6	19,7	41,8	17,2	OK
CPL5a	M4	▲ 12,0 ▼	1074	Max N - KO43	227,2	0,0	130,7	103,4	-28,5	52,2	20,9	OK
CPL6a	M5	▲ 12,0 ▼	1074	Min N - KO35	316,7	0,0	-176,9	-133,4	72,1	72,7	31,3	OK
		▲ 12,0 ▼	1074	Min N - KO35	165,0	0,0	-67,9	86,8	-1,6	37,9	17,4	OK
		▲ 12,0 ▼	1074	Min N - KO35	161,9	0,0	-67,0	85,1	2,1	37,2	17,2	OK
		▲ 12,0 ▼	1074	Max N - KO43	196,3	0,0	77,2	-104,2	-0,7	45,1	20,2	OK
		▲ 12,0 ▼	1074	Min N - KO35	252,1	0,0	-84,0	137,1	5,3	57,9	25,7	OK

Dane projektowe

Material	f_{td} [MPa]	β_w [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	0.9σ [MPa]
S 355	470,0	0,90	417,8	338,4

Objaśnienie symbolu

T_w	Grubość efektywna a
L	Długość
$\sigma_{w,Ed}$	Równoważne naprężenie
ϵ_{pl}	Odkształcenie
$\sigma_{\perp}$	Naprężenie prostopadłe
$\tau_{\perp}$	Naprężenia ścinające prostopadłe do osi spoiny
$\tau_{\parallel}$	Naprężenia ścinające równoległe do osi spoiny
Ut	Wykorzystanie
Ut _c	Oszacowanie nośności spoiny
▲	Spoina pachwinowa
f_u	Maksymalna wytrzymałość spoiny
β_w	Współczynnik korelacji EN 1993-1-8 – Tabela 4.1
$\sigma_{w,Rd}$	Ekwiwalentna wytrzymałość naprężeniowa
0.9σ	Prostopadła wytrzymałość naprężeniowa - $0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$

Stateczność

Analiza wyboczeniowa nie została przeliczona.

Ustawienia normy

Pozycja	Wartość	Jednostki	Odniesienie
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{M0}	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{M1}	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{M2}	1,25	-	EN 1993-1-1: 6.1
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{M3}	1,25	-	EN 1993-1-8: 2.2
Współczynnik bezpieczeństwa γ_C	1,50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{Inst}	1,20	-	EN 1992-4: Table 4.1
Współczynnik złącza β_j	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Efektywne pole - współczynnik rozmiaru siatki	0,10	-	
Współczynnik tarcia - beton	0,25	-	EN 1993-1-8
Współczynnik tarcia w odporności na poślizg	0,30	-	EN 1993-1-8 Tab. 3.7
Graniczne odkształcenie plastyczne	0,05	-	EN 1993-1-5
Sprawdzenie pozycji śrub	Nie		
Odległość między śrubami [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: Tab. 3.3
Odległość między śrubami a krawędzią [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: Tab. 3.3
Wytrzymałość betonu na przebicie	Rozciąganie i ścinanie		EN 1992-4: 7.2.1.4 and 7.2.2.5
Użyj obliczonych ob w sprawdzeniu nośności.	Tak		EN 1993-1-8: Tab. 3.4
Beton spękany	Tak		EN 1992-4
Lokalne sprawdzenie deformacji	Tak		CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Lokalny limit deformacji	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Geometryczna nieliniowość (GMNA)	Tak		Duże deformacje przekrojów rurowych
System usztywniony	Nie		EN 1993-1-8: 5.2.2.5

3.4.8 Wymiarowanie połączenia nr 2

Element projektu Węzeł nr 2

Wymiarowanie

Nazwa	Węzeł nr 2
Opis	
Analiza	Napężenia, odkształcenia/ uproszczone obciążenie

Elementy

Geometria

Nazwa	Przekrój Poprzeczny	β – Kierunek [°]	γ - nachylenie [°]	α - obrót [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
C	10 - CHS559,16	0,0	90,0	90,0	0	0	0
B	9 - SHS300/300/16.0	0,0	45,0	0,0	0	30	0
M3	9 - SHS300/300/16.0	0,0	-45,0	0,0	0	30	0

Podpory i siły

Nazwa	Podparcie	Siły w	X [mm]
C / początek	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Węzeł	0
C / koniec	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Węzeł	0
B / koniec		Węzeł	0
M3 / koniec		Węzeł	0

Przekroje

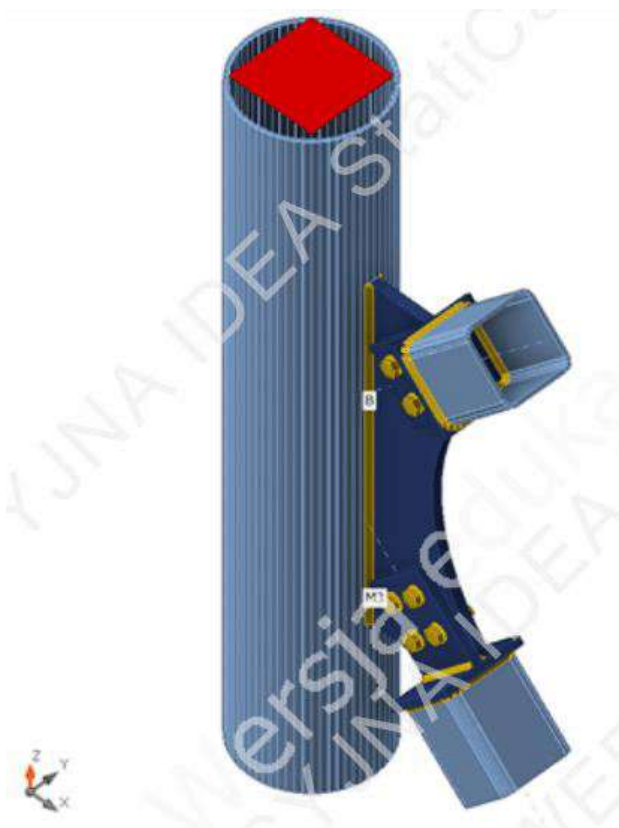
Nazwa	Materiał
10 - CHS559,16	S 355
9 - SHS300/300/16.0	S 355

Śruby

Nazwa	Zestaw śrub	Średnica [mm]	f_u [MPa]	Pole brutto [mm ²]
M39 10.9	M39 10.9	39	1000,0	1195

Efekty obciążenia (Równowaga nie jest wymagana)

Nazwa	Element	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Min & Max N - KO33	B / koniec	-713,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M3 / koniec	712,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Sprawdzenie

Podsumowanie

Nazwa	Wartość	Status sprawdzenia
Analiza	100,0%	OK
Płyty	$0,0 < 5,0\%$	OK
Lokalna deformacja	$0,0 < 3\%$	OK
Śruby	$56,7 < 100\%$	OK
Spoiny	$98,1 < 100\%$	OK
Stateczność	Nie obliczono	
GMNA	Obliczony	

Płyty

Nazwa	t_p [mm]	Obciążenia	σ_{Ed} [MPa]	ϵ_{pl} [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
C	16,0	Min & Max N - KO33	324,8	0,0	0,0	OK
B	16,0	Min & Max N - KO33	205,7	0,0	0,0	OK
M3	16,0	Min & Max N - KO33	203,7	0,0	0,0	OK
SP1	40,0	Min & Max N - KO33	300,8	0,0	18,0	OK
CPL3a	30,0	Min & Max N - KO33	126,6	0,0	0,0	OK
CPL3b	40,0	Min & Max N - KO33	230,7	0,0	83,8	OK
CPL4a	30,0	Min & Max N - KO33	122,4	0,0	0,0	OK
CPL4b	40,0	Min & Max N - KO33	221,0	0,0	32,8	OK

Dane projektowe

Materiał	f_y [MPa]	ϵ_{lim} [%]
S 355	355,0	5,0

Objaśnienie symbolu

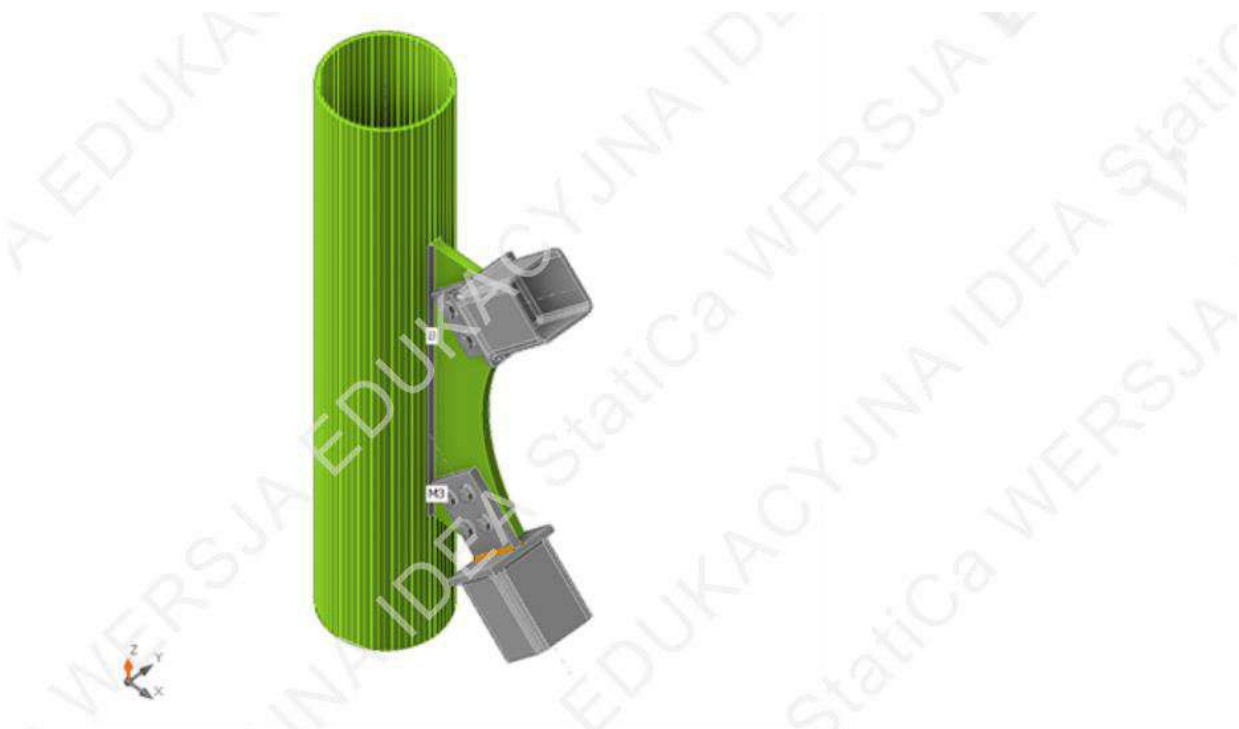
t_p	Grubość płyty
σ_{Ed}	Równoważne naprężenie
ϵ_{pl}	Odkształcenie plastyczne
$\sigma_{c,Ed}$	Naprężenie dociskowe
f_y	Wytrzymałość na rozciąganie
ϵ_{lim}	Limit odkształceń plastycznych

Lokalna deformacja

Nazwa	d_0 [mm]	Obciążenia	δ [mm]	δ_{lim} [mm]	δ/d_0 [%]	Status sprawdzenia
C	559	Min & Max N - KO33	0	17	0,0	OK
B	300	Min & Max N - KO33	0	9	0,0	OK
M3	300	Min & Max N - KO33	0	9	0,0	OK

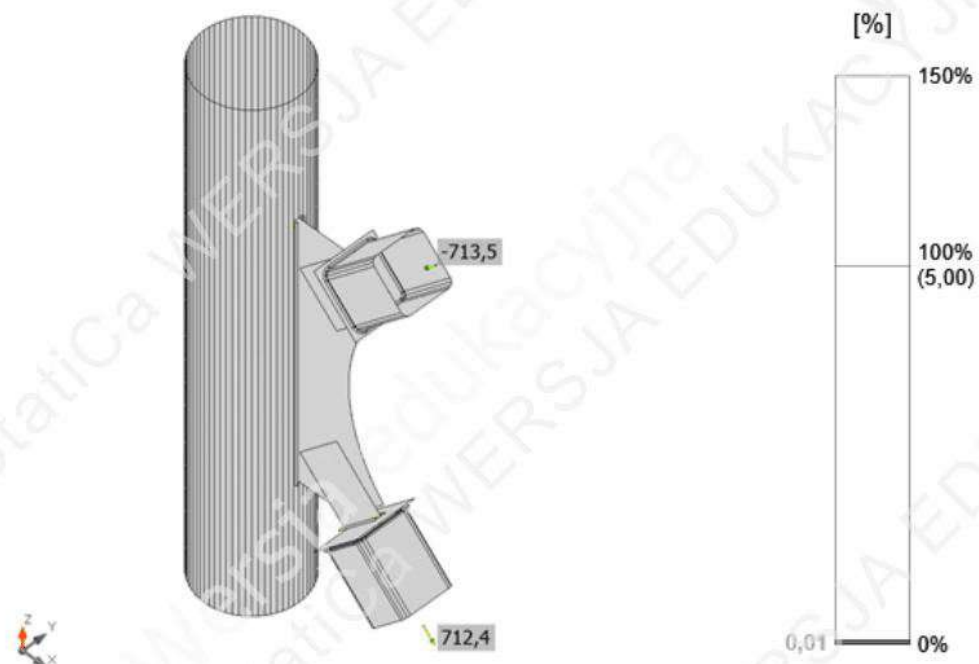
Objaśnienie symbolu

d_0	Rozmiar przekroju
δ	Lokalna deformacja przekroju
δ_{lim}	Dopuszczalna deformacja

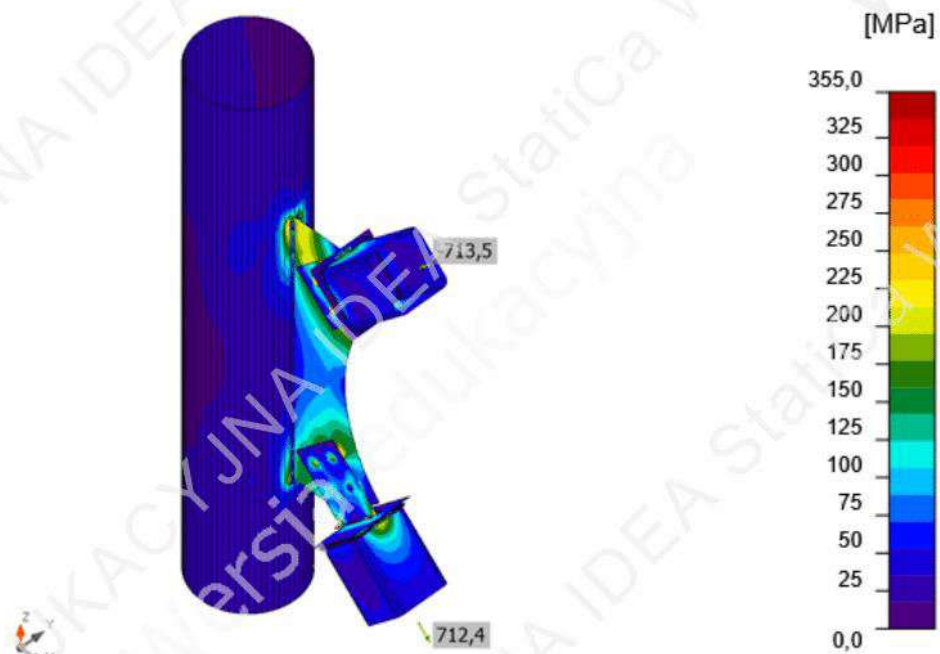


Sprawdzenie ogólne, Min & Max N - KO33

Projekt: Praca magisterska - połączenia
 Projekt nr:
 Autor : Mateusz Bartos

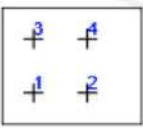
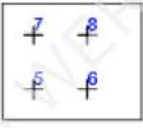


Sprawdzenie odkształcenia, Min & Max N - KO33



Równoważne naprężenie, Min & Max N - KO33

Śruby

Kształt	Pozycja	Gatunek	Obciążenia	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	U_t [%]	U_s [%]	U_{ts} [%]	Status
	B1	M39 10.9 - 1	Min & Max N - KO33	37,5	189,0	1316,5	5,3	48,4	52,2	OK
	B2	M39 10.9 - 1	Min & Max N - KO33	23,7	156,5	1316,5	3,4	40,1	42,5	OK
	B3	M39 10.9 - 1	Min & Max N - KO33	41,4	202,2	1316,5	5,9	51,8	56,0	OK
	B4	M39 10.9 - 1	Min & Max N - KO33	71,8	166,8	1316,5	10,2	42,7	50,0	OK
	B5	M39 10.9 - 1	Min & Max N - KO33	81,8	188,8	970,7	11,6	48,4	56,7	OK
	B6	M39 10.9 - 1	Min & Max N - KO33	10,5	175,9	1289,9	1,5	45,1	46,1	OK
	B7	M39 10.9 - 1	Min & Max N - KO33	54,9	180,2	970,7	7,8	46,2	51,7	OK
	B8	M39 10.9 - 1	Min & Max N - KO33	14,6	167,7	1289,9	2,1	43,0	44,4	OK

Dane projektowe

Gatunek	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M39 10.9 - 1	702,7	1868,5	390,4

Spoiny

Pozycja	Krawędź	T_w [mm]	L [mm]	Obciążenia	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	ϵ_{pl} [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	U_t [%]	U_c [%]	Status
SP1	C-arc 1	▲ 12,0 ▼	1517	Min & Max N - KO33	63,7	0,0	9,9	-0,7	36,3	14,6	13,2	OK
		▲ 12,0 ▼	1517	Min & Max N - KO33	43,4	0,0	9,3	-2,3	-24,3	10,0	10,0	OK
SP1	C-arc 32	▲ 12,0 ▼	1517	Min & Max N - KO33	104,0	0,0	64,4	3,8	-47,0	23,9	20,4	OK
		▲ 12,0 ▼	1517	Min & Max N - KO33	102,2	0,0	-22,5	17,6	54,8	23,5	17,5	OK
SP1	C-arc 33	▲ 12,0 ▼	1517	Min & Max N - KO33	83,6	0,0	-58,2	-16,8	30,3	19,2	16,9	OK
		▲ 12,0 ▼	1517	Min & Max N - KO33	102,7	0,0	36,3	-0,4	-55,4	23,6	17,0	OK
SP1	C-arc 64	▲ 12,0 ▼	1517	Min & Max N - KO33	62,3	0,0	-17,5	-14,1	-31,5	14,3	14,3	OK
		▲ 12,0 ▼	1517	Min & Max N - KO33	53,6	0,0	-3,0	5,9	30,3	12,3	11,9	OK
CPL3a	CPL3b	▲ 12,0 ▼	298	Min & Max N - KO33	427,2	0,2	-193,0	-198,2	95,6	98,1	94,7	OK
		▲ 12,0 ▼	299	Min & Max N - KO33	426,8	0,0	-206,3	197,3	87,3	98,0	85,8	OK
CPL4a	CPL4b	▲ 12,0 ▼	299	Min & Max N - KO33	426,9	0,0	188,2	197,6	99,4	98,0	86,1	OK
		▲ 12,0 ▼	299	Min & Max N - KO33	427,1	0,1	204,5	-197,5	88,5	98,1	92,1	OK
CPL3a	B	▲ 12,0 ▼	1074	Min & Max N - KO33	187,7	0,0	-106,9	-87,3	17,6	43,1	17,7	OK
CPL4a	M3	▲ 12,0 ▼	1074	Min & Max N - KO33	187,5	0,0	105,7	86,8	21,4	43,0	17,3	OK
		▲ 12,0 ▼	1074	Min & Max N - KO33	167,2	0,0	-68,4	88,1	-1,2	38,4	17,6	OK
		▲ 12,0 ▼	1074	Min & Max N - KO33	166,1	0,0	68,6	-87,3	-1,5	38,1	17,5	OK

Objaśnienie symbolu

$F_{t,Ed}$	Siła rozciągająca
$F_{v,Ed}$	Wypadkowa sił ścinających w śrubie V_y i V_z w płaszczyznach ścinania
$F_{b,Rd}$	Nośność blachy na docisk EN 1993-1-8 — Tabela 3.4
U_t	Wyteżenie w rozciąganiu
U_s	Wyteżenie w ścinaniu
U_{ts}	Interakcja rozciągania i ścinania EN 1993-1-8 — Tabela 3.4
$F_{t,Rd}$	Nośność śruby na rozciąganie EN 1993-1-8 — Tabela 3.4
$B_{p,Rd}$	Nośność na przebicie EN 1993-1-8 — Tabela 3.4
$F_{v,Rd}$	Nośność śruby na ścinanie EN 1993-1-8 — Tabela 3.4

Dane projektowe

Materiał	f_u [MPa]	β_w [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	0.9σ [MPa]
S 355	490,0	0,90	435,6	352,8

Objaśnienie symbolu

T_w	Grubość efektywna a
L	Długość
$\sigma_{w,Ed}$	Równoważne naprężenie
ϵ_{pl}	Odkształcenie
$\sigma_{\perp}$	Naprężenie prostopadłe
$\tau_{\perp}$	Naprężenia ścinające prostopadłe do osi spoiny
$\tau_{\parallel}$	Naprężenia ścinające równoległe do osi spoiny
Ut	Wykorzystanie
U_t^c	Oszacowanie nośności spoiny
	Spoina pachwinowa
f_u	Maksymalna wytrzymałość spoiny
β_w	Współczynnik korelacji EN 1993-1-8 – Tabela 4.1
$\sigma_{w,Rd}$	Ekwiwalentna wytrzymałość naprężeniowa
0.9σ	Prostopadła wytrzymałość naprężeniowa - $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$

Stateczność

Analiza wyboczeniowa nie została przeliczona.

Ustawienia normy

Pozycja	Wartość	Jednostki	Odniesienie
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{M0}	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{M1}	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{M2}	1,25	-	EN 1993-1-1: 6.1
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{M3}	1,25	-	EN 1993-1-8: 2.2
Współczynnik bezpieczeństwa γ_C	1,50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{Inst}	1,20	-	EN 1992-4: Table 4.1
Współczynnik złącza β_j	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Efektywne pole - współczynnik rozmiaru siatki	0,10	-	
Współczynnik tarcia - beton	0,25	-	EN 1993-1-8
Współczynnik tarcia w odporności na poślizg	0,30	-	EN 1993-1-8 Tab. 3.7
Graniczne odkształcenie plastyczne	0,05	-	EN 1993-1-5
Sprawdzenie pozycji śrub	Nie		
Odległość między śrubami [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: Tab. 3.3
Odległość między śrubami a krawędzią [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: Tab. 3.3
Wytrzymałość betonu na przebicie	Rozciąganie i ścinanie		EN 1992-4: 7.2.1.4 and 7.2.2.5
Użyj obliczonych ob w sprawdzeniu nośności.	Tak		EN 1993-1-8: Tab. 3.4
Beton spękany	Tak		EN 1992-4
Lokalne sprawdzenie deformacji	Tak		CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Lokalny limit deformacji	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Geometryczna nieliniowość (GMNA)	Tak		Duże deformacje przekrojów rurowych
System usztywniony	Nie		EN 1993-1-8: 5.2.2.5

3.4.9 Wymiarowanie połączenia nr 3

Element projektu Węzeł nr 3

Wymiarowanie

Nazwa	Węzeł nr 3
Opis	
Analiza	Napężenia, odkształcenia/ uproszczone obciążenie

Elementy

Geometria

Nazwa	Przekrój Poprzeczny	β – Kierunek [°]	γ - nachylenie [°]	α - obrót [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
B1	14 - CHS1016,40	0,0	0,0	0,0	0	0	0
B2	14 - CHS1016,40	180,0	0,0	0,0	0	0	0

Podpory i siły

Nazwa	Podparcie	Siły w	X [mm]
B1 / koniec	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Węzeł	0
B2 / koniec		Węzeł	0

Przekroje

Nazwa	Materiał
14 - CHS1016,40	S 620 Q (EN 10025-6)

Śruby

Nazwa	Zestaw śrub	Średnica [mm]	f_u [MPa]	Pole brutto [mm ²]
M27 10.9	M27 10.9	27	1000,0	573

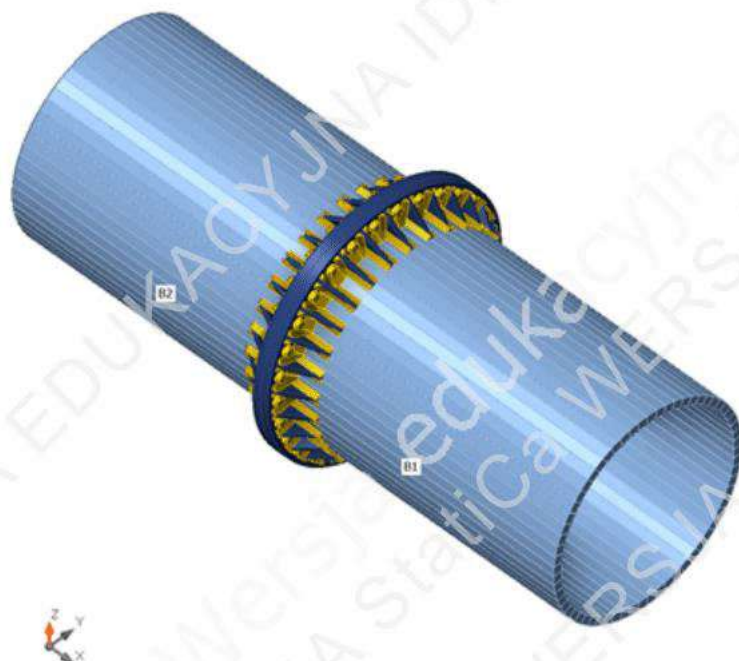
Efekty obciążenia (Równowaga nie jest wymagana)

Nazwa	Element	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B1 / koniec	-63037,3	0,0	0,0	0,0	1184,0	771,3

Sprawdzenie

Podsumowanie

Nazwa	Wartość	Status sprawdzenia
Analiza	100,0%	OK
Płyty	1,1 < 5,0%	OK
Lokalna deformacja	0,1 < 3%	OK
Śruby	1,6 < 100%	OK
Spoiny	99,5 < 100%	OK
Stateczność	Nie obliczono	
GMNA	Obliczony	



Płyty

Nazwa	Material	t_p [mm]	Obciążenia	σ_{Ed} [MPa]	ϵ_{pl} [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
B1	S 620 Q (EN 10025-6) *	40,0	LE1	650,3	0,1	0,0	OK
B2	S 620 Q (EN 10025-6) *	40,0	LE1	650,3	0,2	0,0	OK
PP1a	S 620 Q (EN 10025-6)	40,0	LE1	302,3	0,0	179,2	OK
PP1b	S 620 Q (EN 10025-6)	40,0	LE1	315,1	0,0	179,2	OK
Żebro1	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	650,9	0,4	0,0	OK
Żebro2	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	650,7	0,3	0,0	OK
Żebro3	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	647,5	0,3	0,0	OK
Żebro6	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	553,7	0,2	0,0	OK
Żebro7	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	551,8	0,2	0,0	OK
Żebro8	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	544,0	0,2	0,0	OK
Żebro9	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	539,4	0,1	0,0	OK
Żebro10	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	535,3	0,3	0,0	OK
Żebro11	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	527,9	0,1	0,0	OK
Żebro12	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	521,2	0,1	0,0	OK
Żebro13	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	520,2	0,1	0,0	OK
Żebro14	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	520,3	0,1	0,0	OK
Żebro15	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	524,8	0,1	0,0	OK
Żebro16	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	531,8	0,1	0,0	OK
Żebro17	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	546,1	0,2	0,0	OK
Żebro18	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	561,4	0,2	0,0	OK
Żebro19	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	561,5	0,2	0,0	OK
Żebro20	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	557,9	0,3	0,0	OK
Żebro21	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	650,6	0,3	0,0	OK
Żebro22	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	650,8	0,4	0,0	OK
Żebro23	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,1	0,5	0,0	OK
Żebro24	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,4	0,7	0,0	OK
Żebro25	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	652,1	1,0	0,0	OK
Żebro26	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,8	0,8	0,0	OK
Żebro27	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,9	0,9	0,0	OK

Żebro28	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,9	0,9	0,0	OK
Żebro29	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,9	0,9	0,0	OK
Żebro30	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,7	0,8	0,0	OK
Żebro31	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,5	0,7	0,0	OK
Żebro32	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,2	0,6	0,0	OK
Żebro39	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	545,2	0,2	0,0	OK
Żebro40	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	530,5	0,1	0,0	OK
Żebro41	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	523,0	0,1	0,0	OK
Żebro42	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	519,0	0,1	0,0	OK
Żebro43	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	518,4	0,0	0,0	OK
Żebro44	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	520,3	0,1	0,0	OK
Żebro45	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	527,3	0,1	0,0	OK
Żebro46	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	567,7	0,3	0,0	OK
Żebro47	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	536,0	0,1	0,0	OK
Żebro48	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	540,6	0,2	0,0	OK
Żebro49	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	549,4	0,2	0,0	OK
Żebro50	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	553,9	0,2	0,0	OK
Żebro51	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	648,5	0,3	0,0	OK
Żebro52	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	650,7	0,3	0,0	OK
Żebro53	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	650,9	0,4	0,0	OK
Żebro54	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,3	0,6	0,0	OK
Żebro55	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,6	0,8	0,0	OK
Żebro56	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,8	0,9	0,0	OK
Żebro57	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	652,0	0,9	0,0	OK
Żebro58	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	652,0	1,0	0,0	OK
Żebro59	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	652,0	0,9	0,0	OK
Żebro60	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,9	0,9	0,0	OK
Żebro61	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	652,3	1,1	0,0	OK
Żebro62	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,4	0,7	0,0	OK
Żebro63	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	651,2	0,6	0,0	OK
Żebro64	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	650,9	0,4	0,0	OK
Żebro65	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	650,1	0,3	0,0	OK
Żebro66	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	554,8	0,3	0,0	OK
Żebro67	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	559,3	0,2	0,0	OK
Żebro68	S 620 Q (EN 10025-6)	20,0	LE1	558,4	0,2	0,0	OK

Dane projektowe

Material	C_f [-]	f_y [MPa]	ϵ_{lim} [%]
S 620 Q (EN 10025-6) *	0,80	520,0	5,0
S 620 Q (EN 10025-6)	-	650,0	5,0

Objaśnienie symbolu

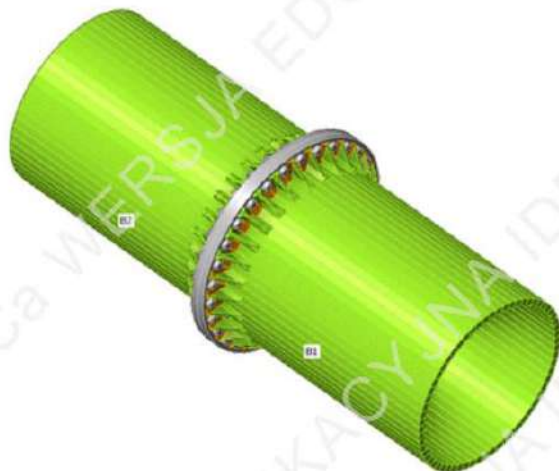
t_p	Grubość płyty
σ_{Ed}	Równoważne naprężenie
ϵ_{pl}	Odkształcenie plastyczne
$\sigma_{c,Ed}$	Naprężenie dociskowe
C_f	Kształtowniki zamknięte - współczynnik redukcji granicy plastyczności
f_y	Wytrzymałość na rozciąganie
ϵ_{lim}	Limit odkształceń plastycznych

Lokalna deformacja

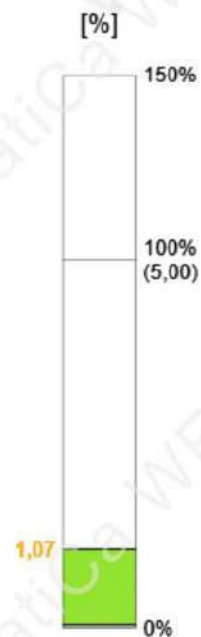
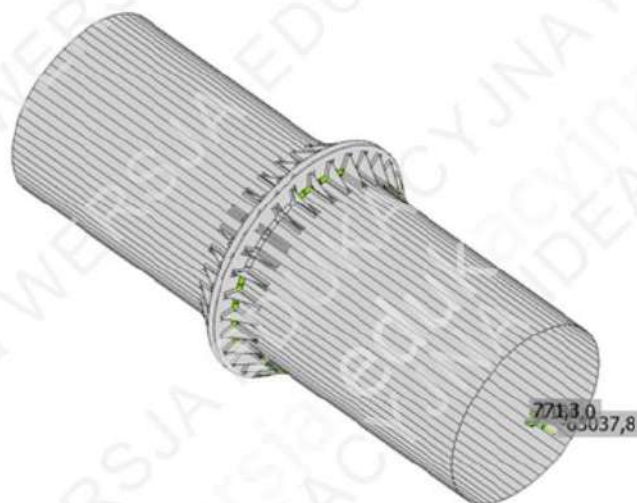
Nazwa	d_0 [mm]	Obciążenia	δ [mm]	δ_{lim} [mm]	δ/d_0 [%]	Status sprawdzenia
B1	1016	LE1	0	30	0,0	OK
B2	1016	LE1	1	30	0,1	OK

Objaśnienie symbolu

d_0	Rozmiar przekroju
δ	Lokalna deformacja przekroju
δ_{lim}	Dopuszczalna deformacja



Sprawdzenie ogólne, LE1



Sprawdzenie odkształcenia, LE1



Równoważne naprężenie, LE1

Śruby

Kształt	Pozycja	Gatunek	Obciążenia	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	U_{t1} [%]	U_{t2} [%]	U_{t3} [%]	Status
	B1	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	0,3	839,2	0,0	0,2	0,2	OK
	B2	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	0,9	953,0	0,0	0,5	0,5	OK
	B3	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	2,6	1186,8	0,0	1,4	1,4	OK
	B4	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	0,4	833,3	0,0	0,2	0,2	OK
	B5	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,2	830,3	0,0	0,6	0,6	OK
	B6	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	2,9	1041,5	0,0	1,6	1,6	OK
	B7	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	2,0	983,1	0,0	1,1	1,1	OK
	B8	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	0,8	833,3	0,0	0,4	0,4	OK
	B9	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,1	833,3	0,0	0,6	0,6	OK
	B10	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,2	886,4	0,0	0,6	0,6	OK
	B11	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	0,6	839,2	0,0	0,3	0,3	OK
	B12	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	0,8	830,3	0,0	0,4	0,4	OK
	B13	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	0,6	833,3	0,0	0,3	0,3	OK
	B14	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,9	953,2	0,0	1,0	1,0	OK
	B15	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	2,1	939,5	0,0	1,2	1,2	OK
	B16	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,1	839,2	0,0	0,6	0,6	OK
	B17	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,1	889,5	0,0	0,6	0,6	OK
	B18	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	2,9	1071,4	0,0	1,6	1,6	OK
	B19	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,3	861,8	0,0	0,7	0,7	OK
	B20	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	0,2	830,3	0,0	0,1	0,1	OK

B21	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,1	1119,8	0,0	0,6	0,6	OK
B22	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,6	1109,9	0,0	0,9	0,9	OK
B23	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	0,7	833,3	0,0	0,4	0,4	OK
B24	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,4	833,3	0,0	0,7	0,7	OK
B25	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,6	830,3	0,0	0,9	0,9	OK
B26	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,5	839,2	0,0	0,8	0,8	OK
B27	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,6	830,3	0,0	0,9	0,9	OK
B28	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,3	833,3	0,0	0,7	0,7	OK
B29	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,6	855,2	0,0	0,9	0,9	OK
B30	M27 10.9 - 1	LE1	0,0	1,0	830,3	0,0	0,6	0,6	OK

Dane projektowe

Gatunek	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M27 10.9 - 1	330,5	1819,8	183,6

Objaśnienie symbolu

$F_{t,Ed}$	Siła rozciągająca
$F_{v,Ed}$	Wypadkowa sił ścinających w śrubie V_y i V_z w płaszczyznach ścinania
$F_{b,Rd}$	Nośność blachy na docisk EN 1993-1-8 — Tabela 3.4
U_t	Wyteżenie w rozciąganiu
U_s	Wyteżenie w ścinaniu
U_{ts}	Interakcja rozciągania i ścinania EN 1993-1-8 — Tabela 3.4
$F_{t,Rd}$	Nośność śruby na rozciąganie EN 1993-1-8 — Tabela 3.4
$B_{p,Rd}$	Nośność na przebicie EN 1993-1-8 — Tabela 3.4
$F_{v,Rd}$	Nośność śruby na ścinanie EN 1993-1-8 — Tabela 3.4

Spoiny

Pozycja	Krawędź	Materiał	T_w [mm]	L [mm]	Obciążenia	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	ϵ_{pl} [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	Ut [%]	Ut _c [%]	Status
PP1a	Żebro1	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	553,7	2,2	-254,5	-278,6	54,3	98,9	86,8	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	553,3	2,0	-277,3	266,7	-72,7	98,8	85,4	OK
B1-arc 2	Żebro1	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	493,2	0,0	-68,7	-75,1	-271,8	88,1	55,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	484,0	0,0	-76,3	70,8	266,7	86,4	56,0	OK
PP1a	Żebro2	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	552,7	1,7	-253,0	-278,1	56,1	98,7	83,4	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	552,3	1,5	-278,6	263,5	-79,8	98,6	82,2	OK
B1-arc 4	Żebro2	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	464,1	0,0	-56,4	-60,4	-259,0	82,9	53,8	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	478,2	0,0	-62,9	59,3	267,2	85,4	56,5	OK
PP1a	Żebro3	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	551,7	1,3	-254,5	-275,9	61,1	98,5	80,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	551,4	1,1	-275,3	261,4	-87,8	98,5	79,4	OK
B1-arc 6	Żebro3	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	437,1	0,0	-130,6	-135,0	-199,4	78,1	54,4	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	452,7	0,0	-49,6	44,6	255,9	80,8	57,0	OK
PP1a	Żebro6	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	550,9	0,9	-254,0	-277,0	54,3	98,4	78,1	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	550,6	0,8	-277,9	259,5	-89,1	98,3	77,6	OK
B1-arc 8	Żebro6	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	434,2	0,0	-129,0	-134,0	-198,3	77,5	55,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	435,9	0,0	-132,2	127,6	203,0	77,8	57,4	OK
PP1a	Żebro7	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	550,1	0,6	-250,8	-276,6	58,4	98,2	75,7	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,9	0,5	-277,0	252,7	-106,6	98,2	74,2	OK
B1-arc 10	Żebro7	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	423,8	0,0	-121,9	-128,6	-195,8	76,7	56,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	429,2	0,0	-126,8	120,3	203,9	76,6	59,0	OK

PP1a	Žebro8	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,4	0,3	-252,4	-277,2	50,4	98,1	71,7	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,2	0,2	-277,4	251,1	-108,7	98,1	70,8	OK
B1-arc 12	Žebro8	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	407,1	0,0	-114,1	-117,7	-192,5	72,7	55,5	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	413,7	0,0	-116,7	113,4	199,1	73,9	58,1	OK
PP1a	Žebro9	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,0	0,1	-253,4	-272,6	68,8	98,0	69,9	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	548,9	0,0	-269,5	249,3	-118,7	98,0	68,9	OK
B1-arc 14	Žebro9	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	389,3	0,0	-109,6	-108,8	-186,2	69,5	53,5	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	395,5	0,0	-108,6	110,1	190,0	70,6	55,3	OK
PP1a	Žebro10	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	548,9	0,0	-248,2	-262,8	104,0	98,0	69,3	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	548,8	0,0	-259,5	245,1	-133,7	98,0	68,7	OK
B1-arc 17	Žebro10	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	501,3	0,0	-96,9	-92,7	-268,4	89,5	63,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	455,5	0,0	-92,4	96,7	238,6	81,3	63,3	OK
PP1a	Žebro11	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	455,0	0,0	-212,7	-218,9	77,4	81,2	57,4	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	446,3	0,0	-215,3	210,0	-82,8	79,7	56,3	OK
B1-arc 19	Žebro11	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	364,4	0,0	-95,8	-102,5	-175,2	65,1	44,7	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	363,5	0,0	-100,4	94,5	178,2	64,9	46,0	OK
PP1a	Žebro12	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	407,5	0,0	-199,4	-197,0	57,5	72,8	51,6	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	409,9	0,0	-196,8	200,2	-54,9	73,2	51,9	OK
B1-arc 21	Žebro12	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	359,9	0,0	-94,0	-96,2	-176,0	64,3	42,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	357,9	0,0	-95,3	93,5	175,9	63,9	42,4	OK
PP1a	Žebro13	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	422,3	0,0	-204,8	-199,7	74,6	75,4	53,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	428,1	0,0	-201,9	207,9	-65,6	76,5	53,8	OK
B1-arc 23	Žebro13	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	361,6	0,0	-95,7	-94,7	-177,7	64,6	42,5	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	358,8	0,0	-94,6	95,9	175,3	64,1	41,9	OK
PP1a	Žebro14	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	448,2	0,0	-216,5	-213,5	75,9	80,0	56,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	454,7	0,0	-215,9	220,1	-70,5	81,2	57,0	OK
B1-arc 25	Žebro14	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	364,8	0,0	-96,9	-95,9	-179,0	65,1	43,5	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	363,7	0,0	-96,0	97,4	177,6	64,9	43,0	OK
PP1a	Žebro15	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	466,0	0,0	-227,5	-223,1	73,0	83,2	58,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	477,6	0,0	-227,7	233,2	-66,1	85,3	59,5	OK
B1-arc 27	Žebro15	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	372,3	0,0	-100,7	-98,4	-182,1	66,5	46,9	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	371,9	0,0	-99,1	101,7	180,3	66,4	46,2	OK
PP1a	Žebro16	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	531,1	0,0	-265,3	-251,3	86,0	94,8	65,8	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	548,8	0,0	-258,4	273,4	-58,2	98,0	68,0	OK
B1-arc 29	Žebro16	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	385,2	0,0	-107,4	-101,5	-187,9	68,8	53,3	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	384,3	0,0	-102,9	109,5	183,6	68,6	51,2	OK
PP1a	Žebro17	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,1	0,1	-272,7	-257,8	96,2	98,0	70,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,2	0,2	-257,9	273,2	-61,1	98,1	71,0	OK
B1-arc 31	Žebro17	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	396,3	0,0	-114,3	-111,9	-188,3	70,8	57,7	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	400,9	0,0	-113,1	116,2	189,2	71,6	56,0	OK
PP1a	Žebro18	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,5	0,3	-276,1	-252,9	106,3	98,1	72,8	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,7	0,4	-253,7	277,2	-49,2	98,2	73,9	OK
B1-arc 34	Žebro18	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	420,8	0,0	-126,4	-118,4	-199,2	75,1	60,8	OK

Pozycja	Krawędź	Materiał	T _w [mm]	L [mm]	Obciążenia	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	ϵ_{PI} [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{ }$ [MPa]	U _t [%]	U _{t,c} [%]	Status
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	411,6	0,0	-119,0	127,0	188,8	73,5	58,1	OK
PP1a	Żebro19	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	550,1	0,6	-279,0	-254,1	101,6	98,2	75,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	550,4	0,7	-251,1	277,7	-53,0	98,3	76,0	OK
B1-arc 36	Żebro19	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	431,9	0,0	-129,3	-127,1	-201,2	77,1	59,5	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	425,3	0,0	-126,4	129,0	195,8	75,9	57,4	OK
PP1a	Żebro20	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	550,9	0,9	-279,9	-257,1	94,4	98,4	78,6	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	551,2	1,1	-250,7	278,3	-53,9	98,4	79,0	OK
B1-arc 38	Żebro20	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	438,1	0,0	-134,2	-128,5	-203,6	78,2	57,9	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	434,9	0,0	-129,5	135,4	197,7	77,7	55,0	OK
PP1a	Żebro21	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	551,9	1,4	-279,7	-262,7	80,4	98,5	80,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	552,3	1,6	-252,9	278,7	-51,7	98,6	81,2	OK
B1-arc 40	Żebro21	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	475,9	0,0	-57,4	-52,4	-267,7	85,0	56,1	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	451,9	0,0	-49,7	54,7	253,5	80,7	54,0	OK
PP1a	Żebro22	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	552,8	1,8	-275,1	-266,1	76,3	98,7	83,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	553,2	2,0	-255,9	277,2	-57,9	98,8	84,5	OK
B1-arc 42	Żebro22	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	490,0	0,0	-73,2	-67,5	-271,4	87,5	54,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	480,2	0,0	-65,1	71,1	265,3	85,7	53,0	OK
PP1a	Żebro23	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	553,6	2,2	-274,7	-268,9	68,6	98,9	86,3	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	554,0	2,3	-257,2	278,1	-54,3	98,9	87,2	OK
B1-arc 44	Żebro23	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	505,6	0,0	-88,9	-83,4	-275,0	90,3	53,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	500,0	0,0	-81,2	87,3	271,1	89,3	51,9	OK
PP1a	Żebro24	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	554,5	2,6	-274,9	-269,2	69,7	99,0	88,7	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	555,0	2,7	-255,5	278,6	-57,3	99,1	89,6	OK
B1-arc 46	Żebro24	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	518,6	0,0	-100,9	-95,5	-277,7	92,6	54,7	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	514,6	0,0	-93,6	99,8	274,6	91,9	53,1	OK
PP1a	Żebro25	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	555,3	2,9	-270,1	-269,1	78,0	99,2	92,5	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	555,7	3,1	-256,3	277,2	-64,6	99,2	93,3	OK
B1-arc 49	Żebro25	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	549,4	0,3	-152,3	-163,5	-257,2	98,1	77,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	549,3	0,2	-154,4	144,9	267,7	98,1	84,3	OK
PP1a	Żebro26	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	555,9	3,2	-267,4	-273,6	65,5	99,3	93,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,0	3,2	-261,7	277,2	-58,1	99,3	93,3	OK
B1-arc 51	Żebro26	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	545,5	0,0	-111,7	-113,3	-286,7	97,4	53,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	536,0	0,0	-111,3	110,2	282,0	95,7	54,3	OK
PP1a	Żebro27	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,2	3,3	-267,9	-274,9	60,4	99,3	93,3	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,3	3,3	-262,0	277,9	-55,4	99,3	93,5	OK
B1-arc 53	Żebro27	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	548,8	0,0	-113,6	-115,7	-287,6	98,0	52,4	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	544,4	0,0	-115,1	113,5	285,4	97,2	52,9	OK
PP1a	Żebro28	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,5	3,4	-265,7	-276,0	59,5	99,4	93,4	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,5	3,4	-263,6	276,9	-58,2	99,4	93,4	OK
B1-arc 55	Żebro28	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	548,8	0,0	-114,3	-115,7	-287,5	98,0	52,7	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	548,1	0,0	-116,3	115,2	287,0	97,9	52,6	OK
PP1a	Żebro29	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,4	3,4	-261,5	-278,3	54,2	99,4	93,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,2	3,3	-268,6	274,9	-59,0	99,3	92,8	OK
B1-arc 57	Żebro29	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	546,6	0,0	-114,0	-115,5	-286,2	97,6	52,8	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	548,8	0,0	-115,8	114,6	287,7	98,0	52,8	OK
PP1a	Żebro30	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	555,9	3,2	-258,1	-278,9	55,3	99,3	92,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	555,6	3,0	-271,7	272,0	-65,5	99,2	91,4	OK

B1-arc 59	Żebro30	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	534,2	0,0	-110,2	-111,1	-280,6	95,4	52,8	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	547,0	0,0	-112,8	112,2	287,9	97,7	52,7	OK
PP1a	Żebro31	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	555,3	2,9	-257,3	-279,0	53,6	99,2	90,8	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	554,9	2,7	-273,2	270,6	-67,4	99,1	89,9	OK
B1-arc 61	Żebro31	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	519,1	0,0	-101,7	-102,5	-275,4	92,7	54,4	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	533,0	0,0	-104,5	104,0	283,2	95,2	53,6	OK
PP1a	Żebro32	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	554,6	2,6	-254,5	-279,9	51,2	99,0	88,5	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	554,2	2,4	-276,8	267,7	-71,7	99,0	87,5	OK
B1-arc 63	Żebro32	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	493,2	0,0	-88,3	-86,3	-266,5	88,1	54,6	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	524,3	0,0	-89,7	92,1	283,6	93,6	54,8	OK
PP1b	Żebro39	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,2	0,2	-252,3	-276,6	53,3	98,1	71,3	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,1	0,1	-278,4	252,5	-104,5	98,0	70,2	OK
B2-arc 2	Żebro39	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	398,3	0,0	-111,9	-114,6	-188,6	71,1	55,6	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	394,1	0,0	-113,0	111,1	187,5	70,4	58,1	OK
PP1b	Żebro40	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	548,8	0,0	-253,5	-276,0	53,1	98,0	68,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	533,6	0,0	-271,0	248,3	-93,6	95,3	66,2	OK
B2-arc 4	Żebro40	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	380,7	0,0	-101,6	-107,6	-182,5	68,0	50,9	OK

Pozycja	Krawędź	Materiał	T _w [mm]	L [mm]	Obciążenia	σ _{w,Ed} [MPa]	ε _{pl} [%]	σ _⊥ [MPa]	T _⊥ [MPa]	T [MPa]	U _t [%]	U _{t,c} [%]	Status
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	382,2	0,0	-105,8	100,3	186,8	68,2	53,6	OK
PP1b	Żebro41	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	478,3	0,0	-223,3	-234,7	67,5	85,4	60,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	465,9	0,0	-229,9	219,7	-80,3	83,2	58,5	OK
B2-arc 6	Żebro41	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	368,4	0,0	-97,4	-99,6	-179,3	65,8	45,6	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	369,0	0,0	-98,8	96,9	181,0	65,9	46,8	OK
PP1b	Żebro42	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	457,6	0,0	-215,0	-222,7	69,3	81,7	57,4	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	449,5	0,0	-219,2	212,7	-78,2	80,3	56,3	OK
B2-arc 8	Żebro42	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	360,8	0,0	-94,8	-96,0	-176,6	64,4	42,8	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	362,0	0,0	-95,6	94,7	178,0	64,6	43,4	OK
PP1b	Żebro43	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	430,0	0,0	-202,0	-209,1	65,8	76,8	54,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	423,3	0,0	-205,8	199,5	-76,3	75,6	53,2	OK
B2-arc 10	Żebro43	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	355,9	0,0	-93,2	-94,4	-174,4	63,5	41,7	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	358,7	0,0	-94,3	93,3	176,7	64,0	42,3	OK
PP1b	Żebro44	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	412,4	0,0	-198,9	-201,6	53,4	73,6	51,9	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	410,8	0,0	-201,1	199,2	-55,7	73,4	51,7	OK
B2-arc 12	Żebro44	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	355,3	0,0	-94,2	-92,5	-174,8	63,4	42,3	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	357,2	0,0	-93,0	95,1	175,0	63,8	42,1	OK
PP1b	Żebro45	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	450,0	0,0	-218,6	-211,0	83,8	80,4	56,4	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	459,3	0,0	-213,7	222,2	-75,7	82,0	57,6	OK
B2-arc 14	Żebro45	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	361,1	0,0	-99,4	-93,7	-177,2	64,5	46,1	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	361,9	0,0	-95,0	101,3	174,3	64,6	44,8	OK
PP1b	Żebro46	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	548,8	0,0	-262,4	-237,8	144,5	98,0	68,9	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	548,9	0,1	-245,3	268,2	-91,9	98,0	69,6	OK
B2-arc 17	Żebro46	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	468,9	0,0	-86,7	-114,3	-240,3	83,7	62,7	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	484,8	0,0	-100,1	75,2	263,4	86,6	63,3	OK
PP1b	Żebro47	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	548,9	0,0	-273,7	-244,3	125,5	98,0	69,4	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,0	0,1	-248,3	275,0	-65,7	98,0	70,4	OK
B2-arc 19	Żebro47	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	392,7	0,0	-106,8	-108,7	-189,2	70,1	55,6	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	385,6	0,0	-108,0	106,7	185,2	68,9	52,7	OK

PP1b	Żebro48	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,2	0,2	-282,5	-245,0	117,9	98,1	71,8	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,5	0,3	-246,0	279,9	-46,2	98,1	72,3	OK
B2-arc 21	Żebro48	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	412,3	0,0	-115,3	-112,4	-199,0	73,6	58,6	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	404,7	0,0	-112,9	115,9	192,1	72,3	54,8	OK
PP1b	Żebro49	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,9	0,5	-283,9	-247,3	113,0	98,2	74,8	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	550,2	0,6	-244,0	280,2	-50,3	98,3	76,4	OK
B2-arc 23	Żebro49	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	429,7	0,0	-126,3	-120,4	-204,3	76,7	59,4	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	422,8	0,0	-121,6	127,8	195,8	75,5	56,1	OK
PP1b	Żebro50	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	550,7	0,8	-285,8	-254,4	95,7	98,3	77,6	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	551,1	1,0	-246,3	280,6	-47,5	98,4	78,1	OK
B2-arc 25	Żebro50	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	436,6	0,0	-131,7	-127,7	-203,6	78,0	58,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	433,1	0,0	-128,7	133,1	198,2	77,3	54,8	OK
PP1b	Żebro51	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	551,6	1,2	-284,3	-257,4	90,7	98,5	79,3	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	552,0	1,4	-247,0	280,2	-52,1	98,6	79,9	OK
B2-arc 27	Żebro51	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	453,4	0,0	-49,0	-43,5	-256,6	81,0	57,8	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	436,7	0,0	-43,0	48,7	246,1	78,0	54,5	OK
PP1b	Żebro52	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	552,5	1,6	-286,9	-260,2	81,3	98,7	82,3	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	553,0	1,9	-246,0	281,9	-47,9	98,8	84,1	OK
B2-arc 29	Żebro52	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	479,9	0,0	-63,0	-58,8	-268,3	85,7	57,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	464,4	0,0	-58,3	62,9	258,4	82,9	53,9	OK
PP1b	Żebro53	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	553,5	2,1	-284,4	-263,8	74,9	98,8	86,7	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	554,0	2,3	-248,1	281,9	-48,4	98,9	87,9	OK
B2-arc 31	Żebro53	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	485,6	0,0	-76,5	-71,0	-267,6	86,7	56,3	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	494,9	0,0	-71,5	77,7	271,8	88,4	54,7	OK
PP1b	Żebro54	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	554,5	2,5	-282,7	-265,5	73,1	99,0	88,5	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	555,0	2,8	-249,0	282,6	-46,5	99,1	89,8	OK
B2-arc 34	Żebro54	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	526,8	0,0	-90,4	-92,6	-285,0	94,1	55,1	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	495,0	0,0	-90,7	89,1	266,4	88,4	54,5	OK
PP1b	Żebro55	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	555,3	2,9	-277,6	-268,8	69,4	99,2	91,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	555,7	3,1	-252,8	281,2	-50,8	99,2	92,4	OK
B2-arc 36	Żebro55	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	536,8	0,0	-105,7	-104,1	-285,4	95,9	53,5	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	521,2	0,0	-103,7	105,6	275,3	93,1	53,9	OK
PP1b	Żebro56	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,0	3,2	-274,9	-271,2	65,8	99,3	92,7	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,4	3,4	-255,0	280,7	-52,2	99,4	93,6	OK
B2-arc 38	Żebro56	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	548,8	0,0	-113,5	-111,8	-289,1	98,0	52,7	OK

Pozycja	Krawędź	Materiał	T _w [mm]	L [mm]	Obciążenia	σ _{w,Ed} [MPa]	ε _{pI} [%]	σ _⊥ [MPa]	T _⊥ [MPa]	T [MPa]	U _t [%]	U _{t,c} [%]	Status
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	537,7	0,0	-111,9	113,9	281,5	96,0	52,7	OK
PP1b	Żebro57	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,7	3,5	-270,5	-274,7	58,8	99,4	93,9	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,9	3,6	-259,5	279,7	-52,1	99,5	94,5	OK
B2-arc 40	Żebro57	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	548,8	0,0	-115,8	-113,9	-288,0	98,0	52,9	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	548,3	0,0	-114,9	117,0	286,9	98,0	52,8	OK
PP1b	Żebro58	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	557,0	3,7	-264,2	-277,2	57,4	99,5	94,8	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	557,0	3,7	-265,0	276,8	-58,2	99,5	94,8	OK
B2-arc 42	Żebro58	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	548,8	0,0	-116,2	-115,1	-287,5	98,0	52,6	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	548,8	0,0	-114,3	115,7	287,5	98,0	52,8	OK
PP1b	Żebro59	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,8	3,6	-261,2	-278,8	53,4	99,4	94,9	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,7	3,5	-268,6	275,2	-59,2	99,4	94,7	OK

B2-arc 44	Żebro59	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	548,8	0,0	-116,2	-115,3	-287,4	98,0	53,1	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	548,8	0,0	-114,0	115,3	287,7	98,0	52,7	OK
PP1b	Żebro60	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,5	3,4	-259,7	-278,9	54,4	99,4	94,1	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,3	3,4	-269,6	273,5	-64,1	99,3	93,7	OK
B2-arc 46	Żebro60	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	540,3	0,0	-113,0	-112,7	-283,5	96,5	54,4	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	548,8	0,0	-112,8	113,6	288,5	98,0	53,1	OK
PP1b	Żebro61	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	556,2	3,3	-252,6	-279,2	62,1	99,3	94,1	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	555,7	3,1	-274,4	268,5	-75,8	99,2	93,3	OK
B2-arc 49	Żebro61	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	549,5	0,3	-152,6	-147,4	-266,7	98,1	82,2	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	549,3	0,2	-155,4	162,0	257,4	98,1	77,9	OK
PP1b	Żebro62	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	555,4	3,0	-250,4	-281,3	53,1	99,2	91,1	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	554,9	2,7	-280,4	267,2	-70,9	99,1	90,0	OK
B2-arc 51	Żebro62	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	516,6	0,0	-96,2	-103,3	-274,3	92,3	53,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	522,9	0,0	-102,4	96,0	280,1	93,4	55,0	OK
PP1b	Żebro63	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	554,4	2,5	-251,0	-281,2	48,9	99,0	88,4	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	553,9	2,3	-281,4	266,3	-70,4	98,9	87,3	OK
B2-arc 53	Żebro63	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	500,6	0,0	-83,7	-90,6	-270,1	89,4	51,6	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	508,3	0,0	-89,9	83,6	276,5	90,8	53,6	OK
PP1b	Żebro64	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	553,6	2,1	-249,0	-280,7	51,6	98,9	85,9	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	553,1	1,9	-282,7	262,8	-79,2	98,8	84,2	OK
B2-arc 55	Żebro64	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	480,3	0,0	-67,0	-73,6	-264,5	85,8	52,6	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	491,6	0,0	-73,2	66,8	272,6	87,8	54,6	OK
PP1b	Żebro65	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	552,6	1,7	-245,3	-282,1	46,1	98,7	82,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	552,0	1,5	-287,6	258,3	-85,3	98,6	80,9	OK
B2-arc 57	Żebro65	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	451,8	0,0	-51,1	-56,7	-252,9	80,7	53,5	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	477,3	0,0	-57,0	51,5	268,7	85,2	56,6	OK
PP1b	Żebro66	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	551,4	1,2	-243,1	-281,8	47,2	98,5	79,0	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	551,0	1,0	-287,7	252,1	-100,2	98,4	78,3	OK
B2-arc 59	Żebro66	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	433,9	0,0	-129,5	-134,7	-197,5	77,5	54,7	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	439,1	0,0	-134,0	128,9	204,1	78,4	58,5	OK
PP1b	Żebro67	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	550,5	0,7	-243,8	-281,6	43,6	98,3	76,1	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	550,1	0,6	-286,9	248,6	-107,8	98,2	75,3	OK
B2-arc 61	Żebro67	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	424,5	0,0	-126,6	-128,5	-195,4	75,8	57,5	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	432,8	0,0	-129,2	127,6	201,4	77,3	60,2	OK
PP1b	Żebro68	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,8	0,4	-247,0	-280,6	41,3	98,2	74,1	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	99	LE1	549,5	0,3	-282,4	247,0	-114,4	98,1	73,1	OK
B2-arc 63	Żebro68	S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	410,6	0,0	-118,4	-125,8	-188,9	73,3	57,9	OK
		S 620 Q (EN 10025-6)	▲ 14,0 ▼	148	LE1	420,2	0,0	-125,5	118,0	199,2	75,0	61,3	OK
PP1a	B1	S 355	▲ 24,0 ▼	3065	LE1	433,1	3,6	-208,5	-219,2	-0,9	99,4	99,4	OK
PP1b	B2	S 355	▲ 24,0 ▼	3065	LE1	433,5	3,8	-208,8	-219,3	0,8	99,5	99,5	OK
		S 355	▲ 24,0 ▼	3065	LE1	430,4	2,0	-212,3	216,2	-0,1	98,8	98,8	OK
		S 355	▲ 24,0 ▼	3065	LE1	430,6	2,2	-211,2	216,7	0,4	98,9	98,9	OK

Dane projektowe

Material	f_u [MPa]	β_w [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0,9 \sigma$ [MPa]
S 620 Q (EN 10025-6)	700,0	1,00	560,0	504,0
S 355	490,0	0,90	435,6	352,8

Objaśnienie symbolu

T_w	Grubość efektywna a
L	Długość
$\sigma_{w,Ed}$	Równoważne naprężenie
ϵ_{pi}	Odkształcenie
$\sigma_{\perp}$	Naprężenie prostopadłe
$\tau_{\perp}$	Naprężenia ścinające prostopadłe do osi spoiny
$\tau_{ }$	Naprężenia ścinające równoległe do osi spoiny
U_t	Wykorzystanie
$U_{t,c}$	Oszacowanie nośności spoiny
$\blacktriangle$	Spoina pachwinowa
f_u	Maksymalna wytrzymałość spoiny
β_w	Współczynnik korelacji EN 1993-1-8 – Tabela 4.1
$\sigma_{w,Rd}$	Ekwiwalentna wytrzymałość naprężeniowa
0.9σ	Prostopadła wytrzymałość naprężeniowa - $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$

Stateczność

Analiza wyboczeniowa nie została przeliczona.

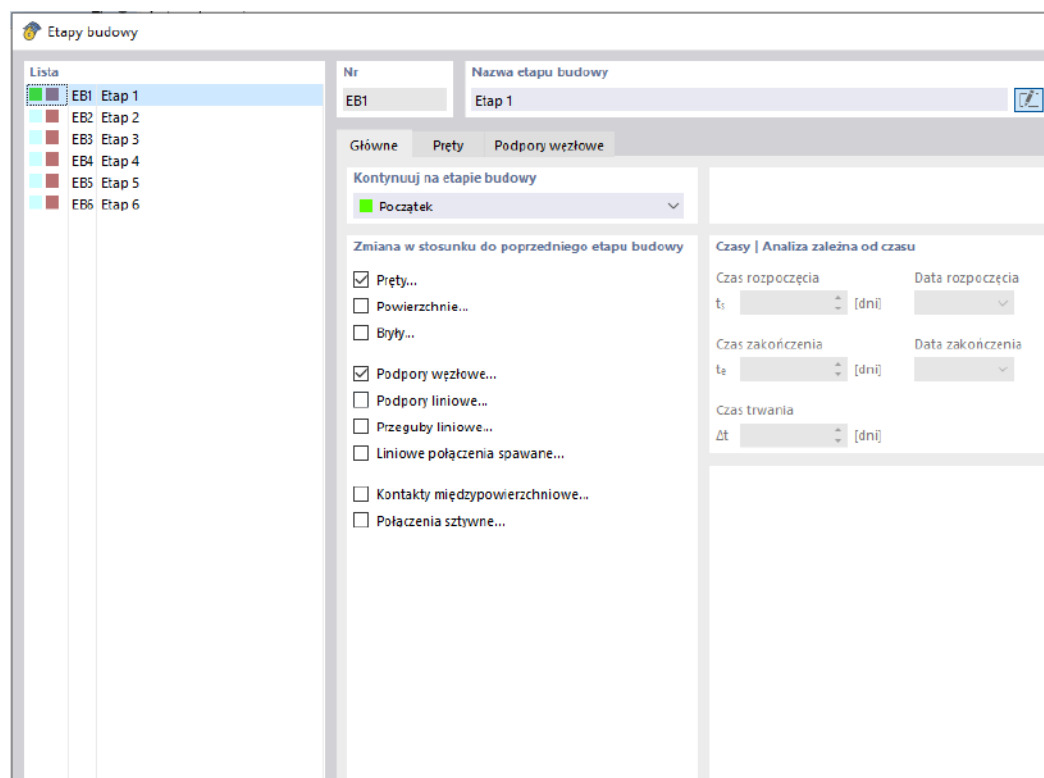
Ustawienia normy

Pozycja	Wartość	Jednostki	Odniesienie
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{M0}	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{M1}	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{M2}	1,25	-	EN 1993-1-1: 6.1
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{M3}	1,25	-	EN 1993-1-8: 2.2
Współczynnik bezpieczeństwa γ_c	1,50	-	EN 1992-1-1: 2.4 2.4
Współczynnik bezpieczeństwa γ_{inst}	1,20	-	EN 1992-4: Table 4.1
Współczynnik złącza β_j	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Efektywne pole - współczynnik rozmiaru siatki	0,10	-	
Współczynnik tarcia - beton	0,25	-	EN 1993-1-8
Współczynnik tarcia w odporności na poślizg	0,30	-	EN 1993-1-8 Tab. 3.7
Graniczne odkształcenie plastyczne	0,05	-	EN 1993-1-5
Sprawdzenie pozycji śrub	Nie		
Odległość między śrubami [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: Tab. 3.3
Odległość między śrubami a krawędzią [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: Tab. 3.3
Wytrzymałość betonu na przebicie	Rozciąganie i ścinanie		EN 1992-4: 7.2.1.4 and 7.2.2.5
Użyj obliczonych α_b w sprawdzeniu nośności.	Tak		EN 1993-1-8: Tab. 3.4
Beton spękany	Tak		EN 1992-4
Lokalne sprawdzenie deformacji	Tak		CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Lokalny limit deformacji	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Geometryczna nieliniowość (GMNA)	Tak		Duże deformacje przekrojów rurowych
System usztywniony	Nie		EN 1993-1-8: 5.2.2.5

3.5 Etapowanie budowy

3.5.1 Sposób uwzględnienia

Etapy budowy zostały uwzględnione przy pomocy przeznaczonego do tego modułu *Etapy budowy* w programie Dlubal RFEM 6. Polega on na przypisaniu prętów, węzłów, podpór etc. do poszczególnych etapów. Ponadto dla każdego z etapów wygenerowany został osobny zestaw kombinacji. Opisujący moduł pozwala zatem na rozpatrywanie sytuacji obliczeniowych powstałych na różnych stadiach budowy obiektu.



Rys. 3.74. Wycinek z programu Dlubal RFEM 6 przedstawiający okno dialogowe modułu *Etapy budowy*

3.5.2 Kombinacje obciążeń

3.5.2.1 Przypadki proste

Do obliczeń w przypadku etapów I-V przyjęto następujące przypadki proste:

- **PO1** – Ciężar własny konstrukcji stalowej
- **PO3** – Wstępne sprężenie cięgien
- **PO4** – Końcowe sprężenie cięgien
- **PO8** – Obciążenie wiatrem podczas montażu
- **PO9** – Temperatura (lato)
- **PO10** – Temperatura (zima)

3.5.2.2 Założenia przyjęte do tworzenia kombinacji

Przy tworzeniu kombinacji przyjęto następujące założenia:

- Na docelowe sprzężenie cięgien składają się przypadki PO3 i PO4, zatem występują one jednocześnie oraz w każdej kombinacji
- W przypadku stanu granicznego użytkowalności wykorzystano kombinacje dla sytuacji charakterystycznej

3.5.2.3 Lista kombinacji

Listy kombinacji przedstawiono na Rys. 3.75 - Rys. 3.79:

SGN	KO1001	EB1 $1.35 * PO1$
SGN	KO1002	EB1 $1.35 * PO1 + 0.90 * PO8$
SGN	KO1003	EB1 $1.35 * PO1 + 0.90 * PO8 + 0.90 * PO10$
SGN	KO1004	EB1 $1.35 * PO1 + 0.90 * PO10$
SGN	KO1005	EB1 $1.15 * PO1 + 1.50 * PO8$
SGN	KO1006	EB1 $1.15 * PO1 + 1.50 * PO8 + 0.90 * PO10$
SGN	KO1007	EB1 $1.15 * PO1 + 1.50 * PO10$
SGN	KO1008	EB1 $1.15 * PO1 + 0.90 * PO8 + 1.50 * PO10$
S Fr	KO1009	EB1 PO1
S Fr	KO1010	EB1 $PO1 + 0.20 * PO8$
S Fr	KO1011	EB1 $PO1 + 0.50 * PO10$
S Ch	KO1012	EB1 PO1
S Ch	KO1013	EB1 $PO1 + PO8$
S Ch	KO1014	EB1 $PO1 + PO8 + 0.60 * PO10$
S Ch	KO1015	EB1 $PO1 + PO10$
S Ch	KO1016	EB1 $PO1 + 0.60 * PO8 + PO10$

Rys. 3.75. Lista utworzonych kombinacji SGN oraz SGU – Etap I

SGN	KO2001	EB2 $1.35 * PO1$
SGN	KO2002	EB2 $1.35 * PO1 + 0.90 * PO8$
SGN	KO2003	EB2 $1.35 * PO1 + 0.90 * PO8 + 0.90 * PO10$
SGN	KO2004	EB2 $1.35 * PO1 + 0.90 * PO10$
SGN	KO2005	EB2 $1.15 * PO1 + 1.50 * PO8$
SGN	KO2006	EB2 $1.15 * PO1 + 1.50 * PO8 + 0.90 * PO10$
SGN	KO2007	EB2 $1.15 * PO1 + 1.50 * PO10$
SGN	KO2008	EB2 $1.15 * PO1 + 0.90 * PO8 + 1.50 * PO10$
S Ch	KO2009	EB2 PO1
S Ch	KO2010	EB2 $PO1 + PO8$
S Ch	KO2011	EB2 $PO1 + PO8 + 0.60 * PO10$
S Ch	KO2012	EB2 $PO1 + PO10$
S Ch	KO2013	EB2 $PO1 + 0.60 * PO8 + PO10$

Rys. 3.76. Lista utworzonych kombinacji SGN oraz SGU – Etap II

SGN	KO3001	EB3 $1.35 * PO1 + PO3$
SGN	KO3002	EB3 $1.35 * PO1 + PO3 + 0.90 * PO8$
SGN	KO3003	EB3 $1.35 * PO1 + PO3 + 0.90 * PO8 + 0.90 * PO10$
SGN	KO3004	EB3 $1.35 * PO1 + PO3 + 0.90 * PO10$
SGN	KO3005	EB3 $1.15 * PO1 + PO3$
SGN	KO3006	EB3 $1.15 * PO1 + PO3 + 1.50 * PO8$
SGN	KO3007	EB3 $1.15 * PO1 + PO3 + 1.50 * PO8 + 0.90 * PO10$
SGN	KO3008	EB3 $1.15 * PO1 + PO3 + 1.50 * PO10$
SGN	KO3009	EB3 $1.15 * PO1 + PO3 + 0.90 * PO8 + 1.50 * PO10$
S Ch	KO3010	EB3 $PO1 + PO3$
S Ch	KO3011	EB3 $PO1 + PO3 + PO8$
S Ch	KO3012	EB3 $PO1 + PO3 + PO8 + 0.60 * PO10$
S Ch	KO3013	EB3 $PO1 + PO3 + PO10$
S Ch	KO3014	EB3 $PO1 + PO3 + 0.60 * PO8 + PO10$

Rys. 3.77. Lista utworzonych kombinacji SGN oraz SGU – Etap III

SGN	KO4001	EB4 $1.35 * PO1 + PO3$
SGN	KO4002	EB4 $1.35 * PO1 + PO3 + 0.90 * PO8$
SGN	KO4003	EB4 $1.35 * PO1 + PO3 + 0.90 * PO8 + 0.90 * PO10$
SGN	KO4004	EB4 $1.35 * PO1 + PO3 + 0.90 * PO10$
SGN	KO4005	EB4 $1.15 * PO1 + PO3$
SGN	KO4006	EB4 $1.15 * PO1 + PO3 + 1.50 * PO8$
SGN	KO4007	EB4 $1.15 * PO1 + PO3 + 1.50 * PO8 + 0.90 * PO10$
SGN	KO4008	EB4 $1.15 * PO1 + PO3 + 1.50 * PO10$
SGN	KO4009	EB4 $1.15 * PO1 + PO3 + 0.90 * PO8 + 1.50 * PO10$
S Ch	KO4010	EB4 $PO1 + PO3$
S Ch	KO4011	EB4 $PO1 + PO3 + PO8$
S Ch	KO4012	EB4 $PO1 + PO3 + PO8 + 0.60 * PO10$
S Ch	KO4013	EB4 $PO1 + PO3 + PO10$
S Ch	KO4014	EB4 $PO1 + PO3 + 0.60 * PO8 + PO10$

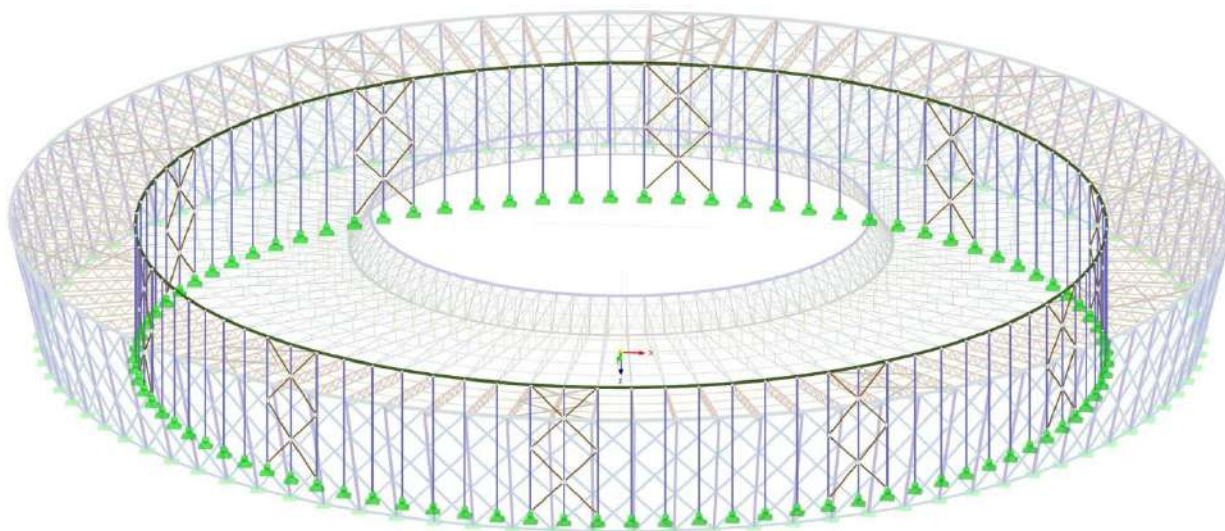
Rys. 3.78. Lista utworzonych kombinacji SGN oraz SGU – Etap IV

SGN	KO5001	EB5 $1.35 * PO1 + PO3 + PO4$
SGN	KO5002	EB5 $1.35 * PO1 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO8$
SGN	KO5003	EB5 $1.35 * PO1 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO8 + 0.90 * PO10$
SGN	KO5004	EB5 $1.35 * PO1 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO10$
SGN	KO5005	EB5 $1.15 * PO1 + PO3 + PO4$
SGN	KO5006	EB5 $1.15 * PO1 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO8$
SGN	KO5007	EB5 $1.15 * PO1 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO8 + 0.90 * PO10$
SGN	KO5008	EB5 $1.15 * PO1 + PO3 + PO4 + 1.50 * PO10$
SGN	KO5009	EB5 $1.15 * PO1 + PO3 + PO4 + 0.90 * PO8 + 1.50 * PO10$
S Fr	KO5010	EB5 $PO1 + PO3 + PO4$
S Fr	KO5011	EB5 $PO1 + PO3 + PO4 + 0.20 * PO8$
S Fr	KO5012	EB5 $PO1 + PO3 + PO4 + 0.50 * PO10$
S Ch	KO5013	EB5 $PO1 + PO3 + PO4$
S Ch	KO5014	EB5 $PO1 + PO3 + PO4 + PO8$
S Ch	KO5015	EB5 $PO1 + PO3 + PO4 + PO8 + 0.60 * PO10$
S Ch	KO5016	EB5 $PO1 + PO3 + PO4 + PO10$
S Ch	KO5017	EB5 $PO1 + PO3 + PO4 + 0.60 * PO8 + PO10$

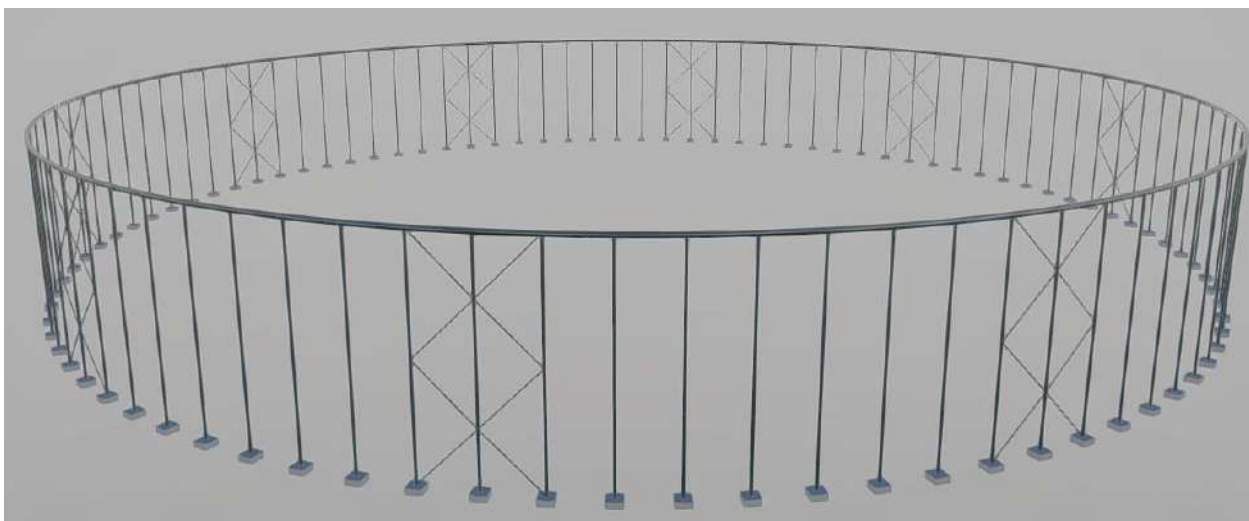
Rys. 3.79. Lista utworzonych kombinacji SGN oraz SGU – Etap V

3.5.3 Etap I

Jako początkowy etap budowy obiektu przyjęto montaż słupów pośrednich wraz z opartym na nich pierścieniem. Zamontowane zostaną również stężenia ścienne, które zapewnią stateczność (zapobiegą przechyłowi całego obiektu oraz skręceniu się całego układu słupów) w czasie rozpatrywanego etapu budowy.



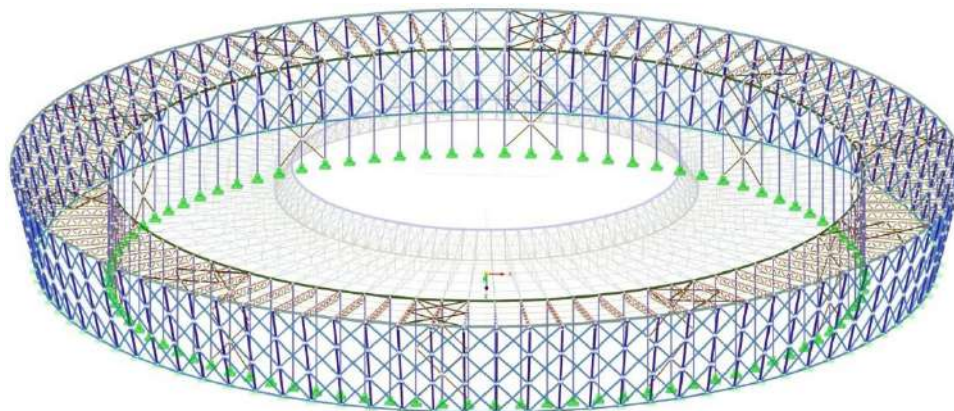
Rys. 3.80. Elementy przypisane dla etapu I w programie Dlubal RFEM 6



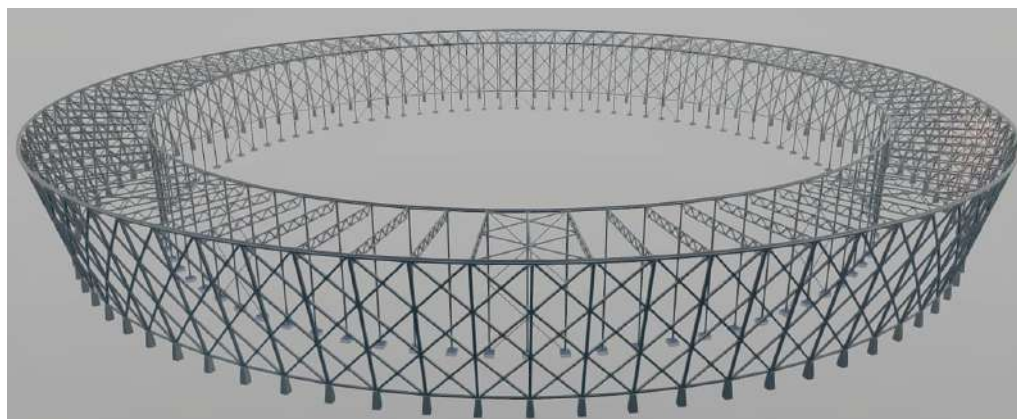
Rys. 3.81. Wizualizacja konstrukcji w programie Tekla Structures po zakończeniu etapu I

3.5.4 Etap II

W kolejnym etapie zamontowane zostaną słupy zewnętrzne wraz z opartym na nich pierścieniem, kratownice rozpościerające się między zewnętrznym i pośrednim pierścieniem, oraz układ stężeń zewnętrznych i dachowych.



Rys. 3.82. Elementy przypisane dla etapu II w programie Dlubal RFEM 6



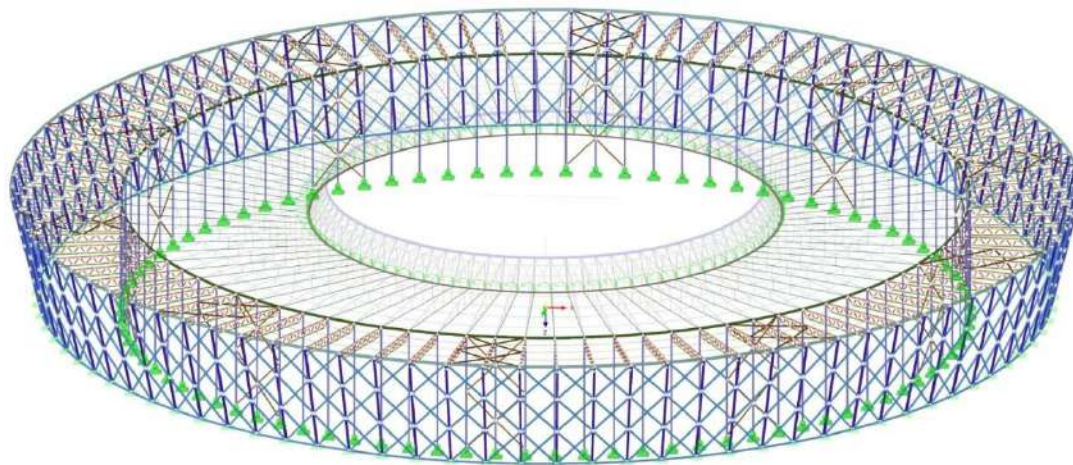
Rys. 3.83. Wizualizacja konstrukcji w programie Tekla Structures po zakończeniu etapu II



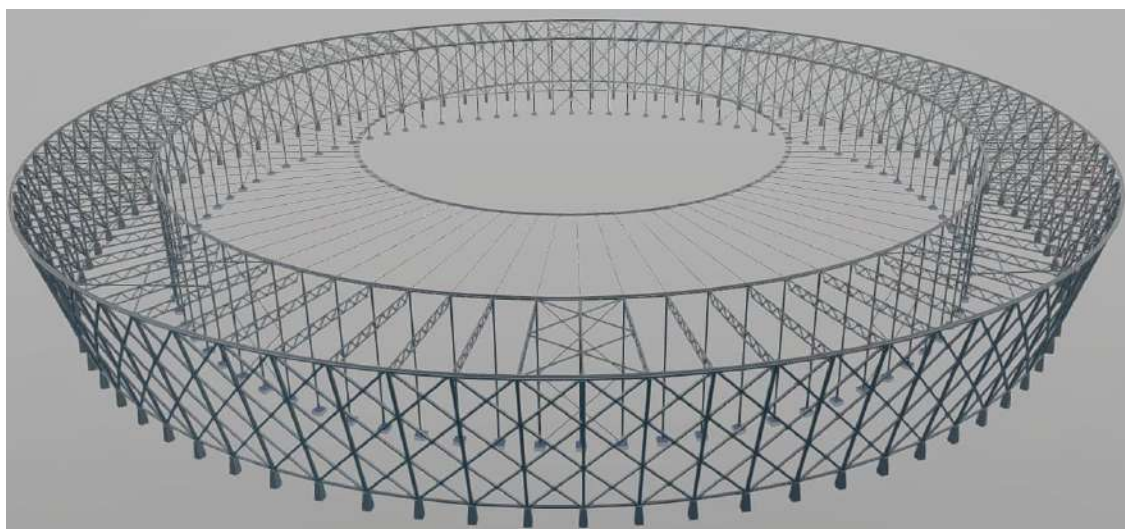
Rys. 3.84. Wizualizacja węzła stężeń zewnętrznych w programie Tekla Structures

3.5.5 Etap III

W etapie trzecim zostaną zamontowane i wstępnie sprężone cięgna dolne wraz z dolnym pierścieniem środkowym.



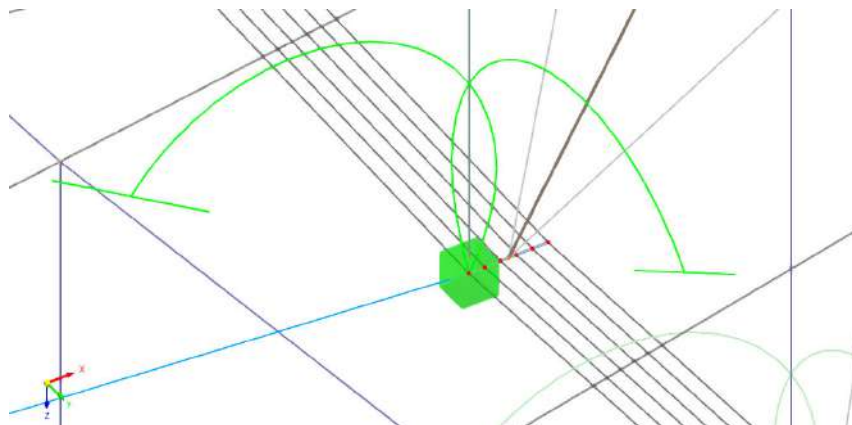
Rys. 3.85. Elementy przypisane dla etapu III w programie Dlubal RFEM 6



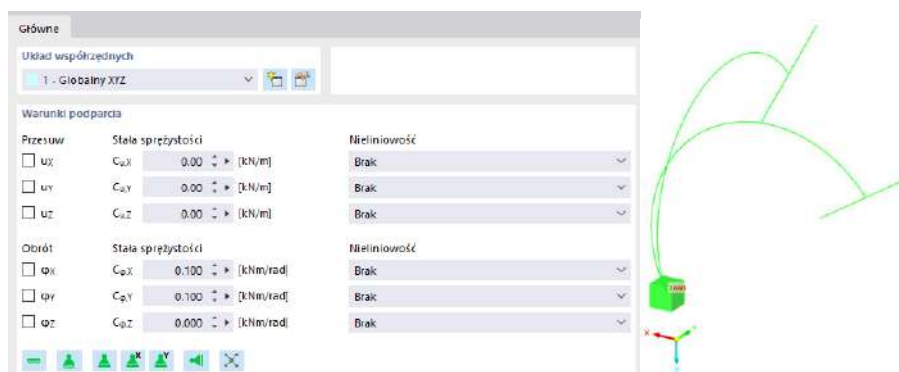
Rys. 3.86. Wizualizacja konstrukcji w programie Tekla Structures po zakończeniu etapu III

W modelu obliczeniowym, aby zapobiec niestabilności przed napięciem cięgien, w miejscu węzła łączącego cięgna dolne z dolnym pierścieniem środkowym zastosowano podpory sprężyste o znikomej sztywności blokujące obrót na globalnym kierunku X oraz Y - Rys. 3.86, Rys. 3.87.

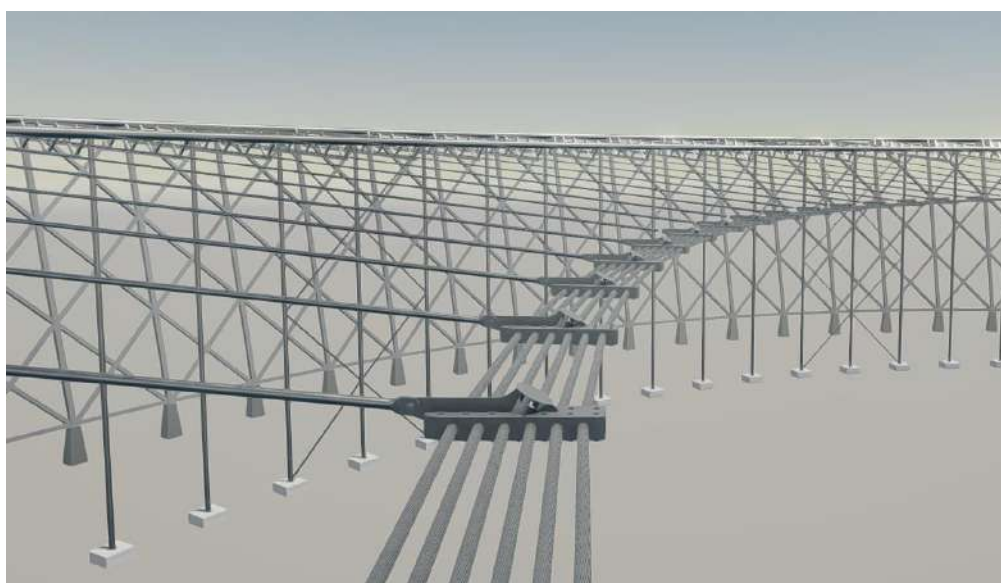
Węzeł zamodelowano jako 6 cięgien połączonych prętem o względnie dużej sztywności, reprezentującym blachę węzłową.



Rys. 3.87. Przedstawienie węzła łączącego cięgna dolne z dolnym pierścieniem środkowym wykonanego w programie Dlubal RFEM 6 – Etap III



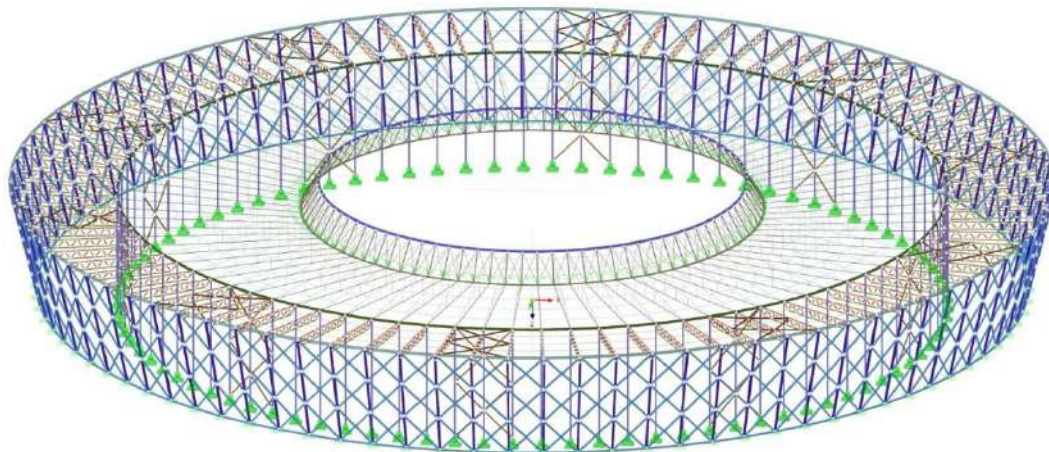
Rys. 3.88. Sposób modelowania podpory w programie w Dlubal RFEM 6 zapewniającej stabilność modelu przed napięciem cięgien– Etap III



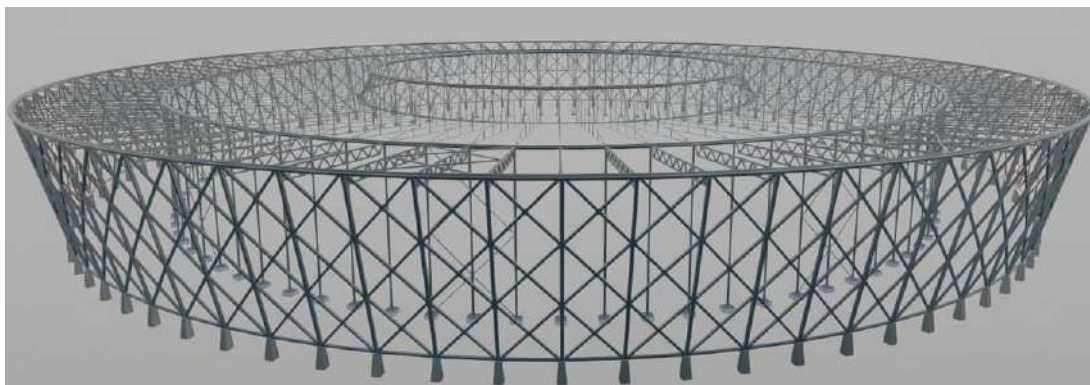
Rys. 3.89. Wizualizacja węzła łączącego cięgna dolne z dolnym pierścieniem środkowym – Etap III

3.5.6 Etap IV

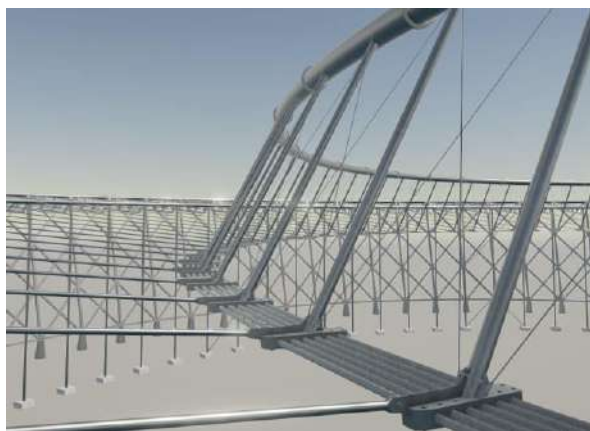
W etapie czwartym zamontowany zostanie górny pierścień środkowy wraz z słupkami i stężeniami, zapewniającymi jednocześnie jego stateczność.



Rys. 3.90. Elementy przypisane dla etapu IV w programie Dlubal RFEM 6



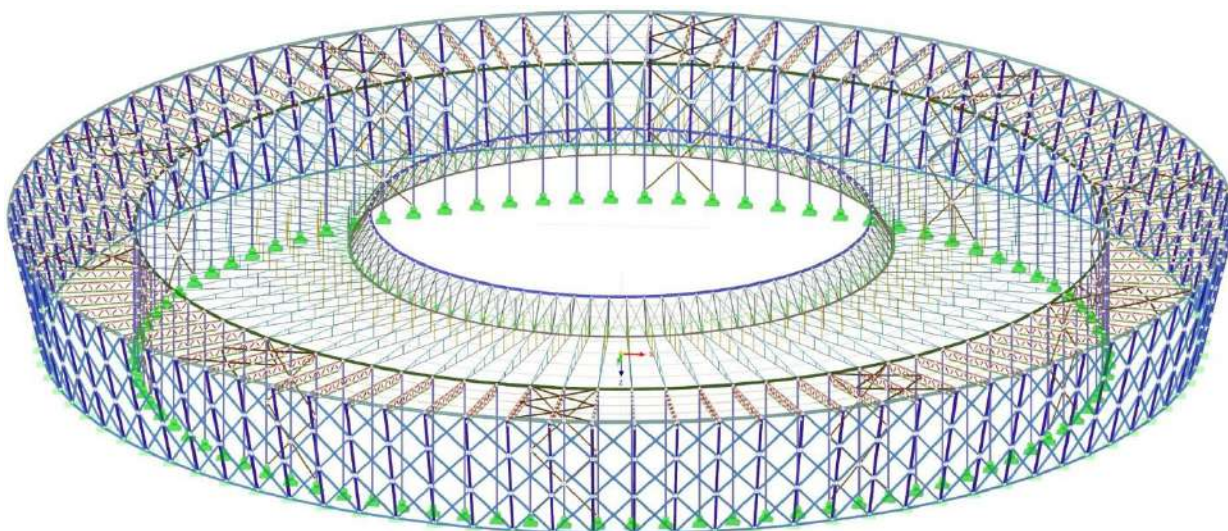
Rys. 3.91. Wizualizacja konstrukcji w programie Tekla Structures po zakończeniu etapu IV



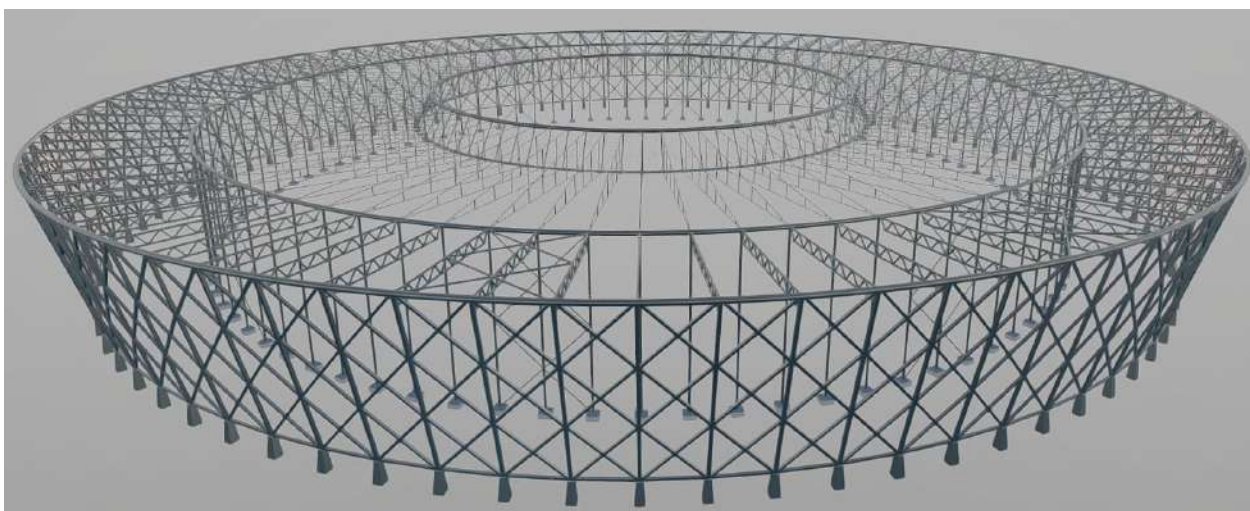
Rys. 3.92. Wizualizacja węzła łączącego cięgna dolne z dolnym oraz górnym pierścieniem środkowym – Etap IV

3.5.7 Etap V

W etapie piątym zostaną zamontowane cięgna górne wraz z słupkami rozporowymi między cięgnami oraz zostanie wykonany naciąg końcowy.



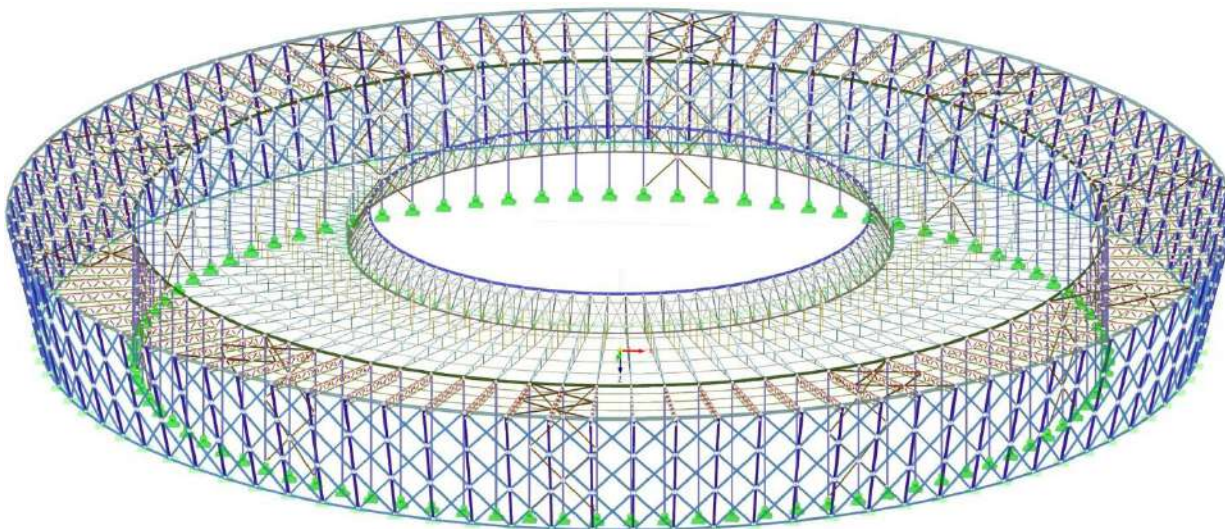
Rys. 3.93. Elementy przypisane dla etapu V w programie Dlubal RFEM 6



Rys. 3.94. Wizualizacja konstrukcji w programie Tekla Structures po zakończeniu etapu V

3.5.8 Etap VI

Ostatni etap montażu konstrukcji stalowej obejmuje pomosty i pozostałe podkonstrukcje oraz łukowe pręty rurowe do których łączona jest membrana.



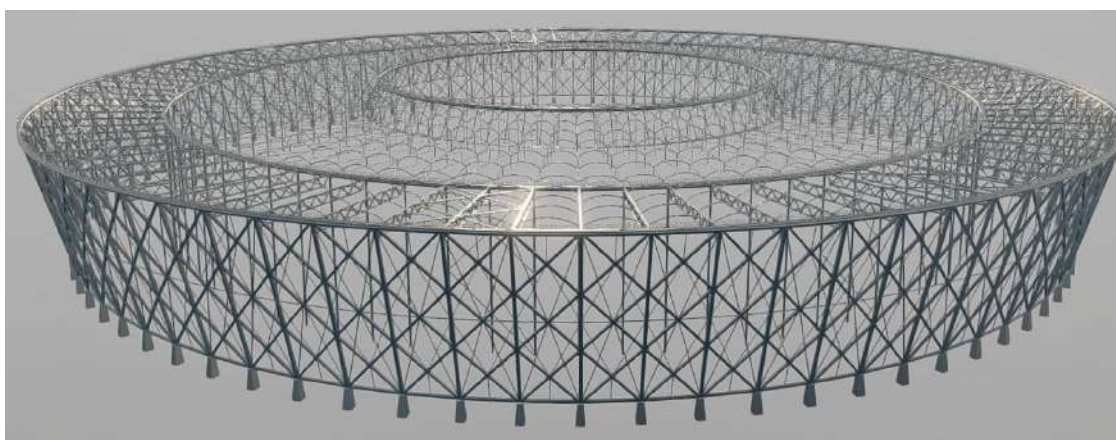
Rys. 3.95. Elementy przypisane dla etapu VI w programie Dlubal RFEM 6



Rys. 3.96. Wizualizacja węzła łączącego rozporowe słupki z cięgnami górnym i dolnym oraz łukowymi profilami, na których oparta będzie membrana – Etap VI



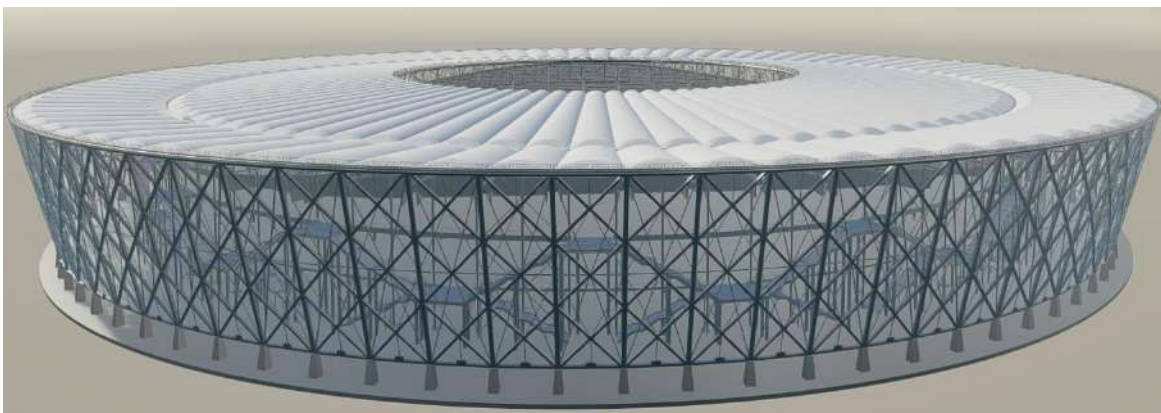
Rys. 3.97. Wizualizacja węzła łączącego łukowe profile z pierścieniem środkowym – Etap VI



Rys. 3.98. Wizualizacja konstrukcji w programie Tekla Structures po zakończeniu etapu VI



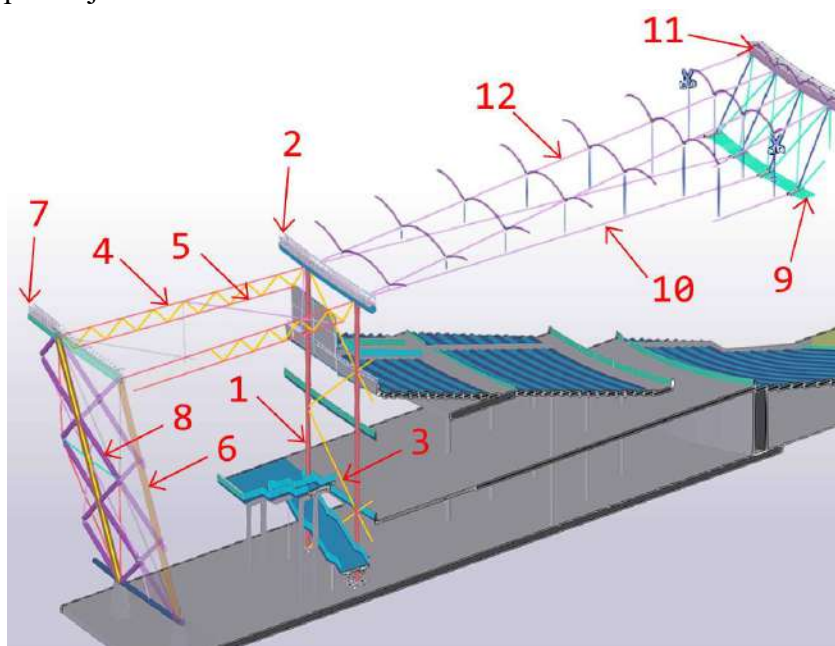
Rys. 3.99. Wizualizacja pomostu technicznego w programie Tekla Structures – Etap VI



Rys. 3.100. Wizualizacja obiektu w programie Tekla Structures po zamontowaniu szklanej fasady oraz membrany na dachu – widok z zewnątrz

3.5.9 Porównanie wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy

Aby przeanalizować zmiany wartości sił wewnętrznych oraz wpływ etapów budowy na charakterystykę pracy konstrukcji, przeprowadzono porównanie dla 12 wybranych typów elementów konstrukcyjnych. Szczegóły porównania oraz zestawienie wybranych elementów przedstawiono poniżej.

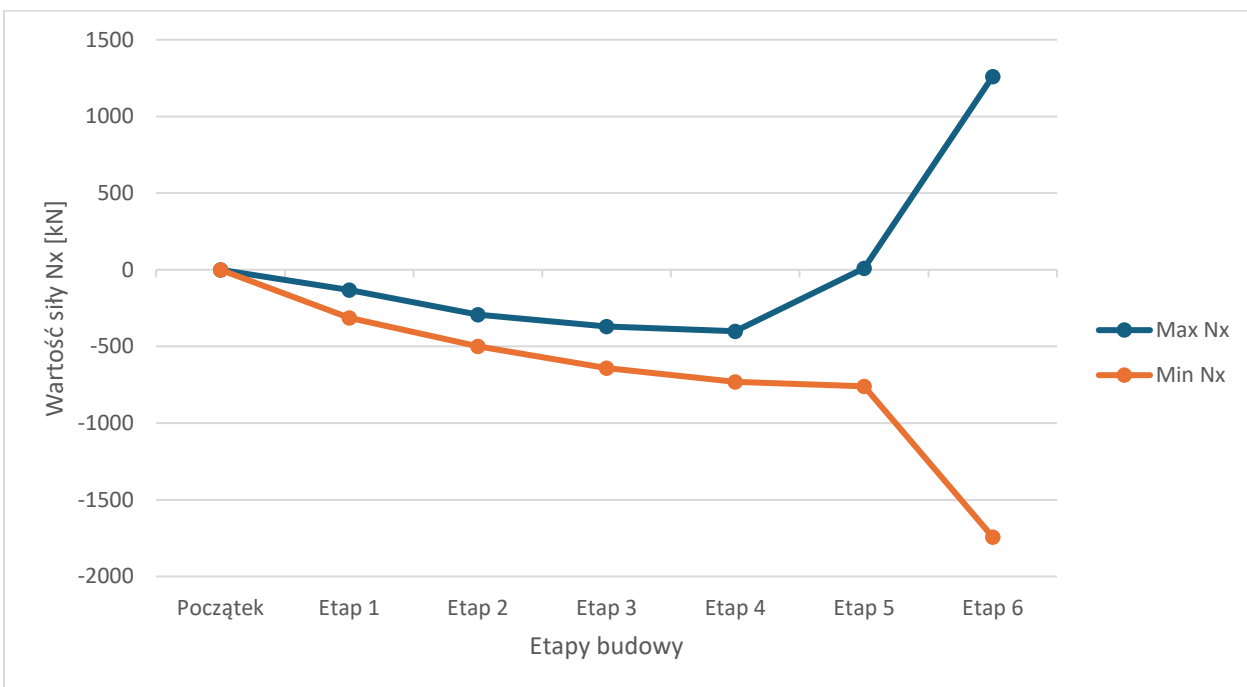


Rys. 3.101. Przekrój przez stadion przedstawiający elementy główne konstrukcji, które stanowią kolejno: 1. Słupy pośrednie 2. Pierścień pośredni 3. Stężenia wewnętrzne 4. Pas górny kratownicy 5. Pas dolny kratownicy 6. Słupy zewnętrzne 7. Pierścień zewnętrzny 8. Stężenia zewnętrzne 9. Dolny pierścień środkowy 10. Ciężna dolne 11. Górny pierścień środkowy 12. Ciężna górne

1) Słupy pośrednie:

Tab. 3.5.3. Zestawienie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy dla słupów pośrednich

	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Etap 5	Etap 6
Max N_x [kN]	-132,53	-293,23	-369,55	-400,58	10,19	1 261,14
Min N_x [kN]	-314,19	-498,60	-640,36	-731,05	-760,76	-1 742,67
Max V_y [kN]	0,02	0,73	1,81	2,59	9,23	14,59
Min V_y [kN]	-0,02	-0,11	-0,07	-0,09	-0,37	-0,96
Max V_z [kN]	0,39	1,20	8,33	13,48	62,84	69,85
Min V_z [kN]	-1,51	-2,62	-8,34	-12,98	-59,76	-83,77
Max M_y [kNm]	0,01	3,73	1,07	1,92	79,47	300,24
Min M_y [kNm]	-15,67	-26,71	-86,99	-140,12	-672,97	-718,11
Max M_z [kNm]	0,14	0,15	1,09	1,50	6,18	12,13
Min M_z [kNm]	-0,14	-0,15	-1,09	-1,50	-6,18	-11,99

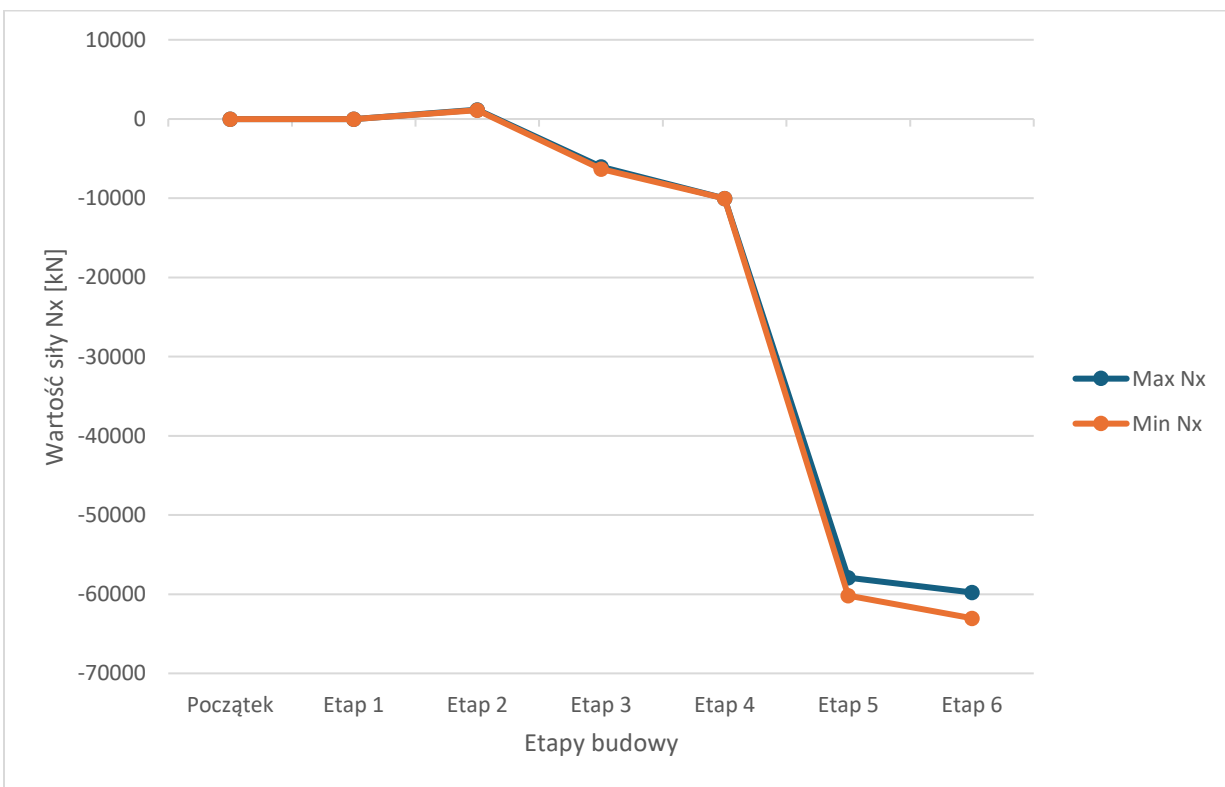


Rys. 3.102. Przykładowy wykres obwiedni sił osiowych dla słupów pośrednich w poszczególnych etapach budowy ilustrujący zmiany w różnych stadiach montażu obiektu

2) Pierścień pośredni:

Tab. 3.5.4. Zestawienie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy dla pierścienia pośredniego

	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Etap 5	Etap 6
Max N_x [kN]	0,63	1 173,62	-6 043,35	-10 033,90	-57 915,40	-59 783,00
Min N_x [kN]	-5,66	1 114,29	-6 308,48	-10 033,90	-60 161,60	-63 037,80
Max V_y [kN]	0,50	6,88	8,86	17,72	122,18	130,58
Min V_y [kN]	-0,50	-6,88	-8,86	-17,72	-122,18	-144,98
Max V_z [kN]	68,80	70,45	79,42	88,02	219,03	376,76
Min V_z [kN]	-68,80	-70,46	-79,42	-88,02	-219,03	-379,65
Max M_y [kNm]	170,78	174,68	202,50	220,42	976,44	1 183,95
Min M_y [kNm]	-24,91	-34,99	-44,90	-73,06	-522,61	-1 031,65
Max M_z [kNm]	7,28	57,34	77,95	129,47	733,96	716,96
Min M_z [kNm]	-2,87	-24,12	-23,08	-62,51	-494,14	-771,34

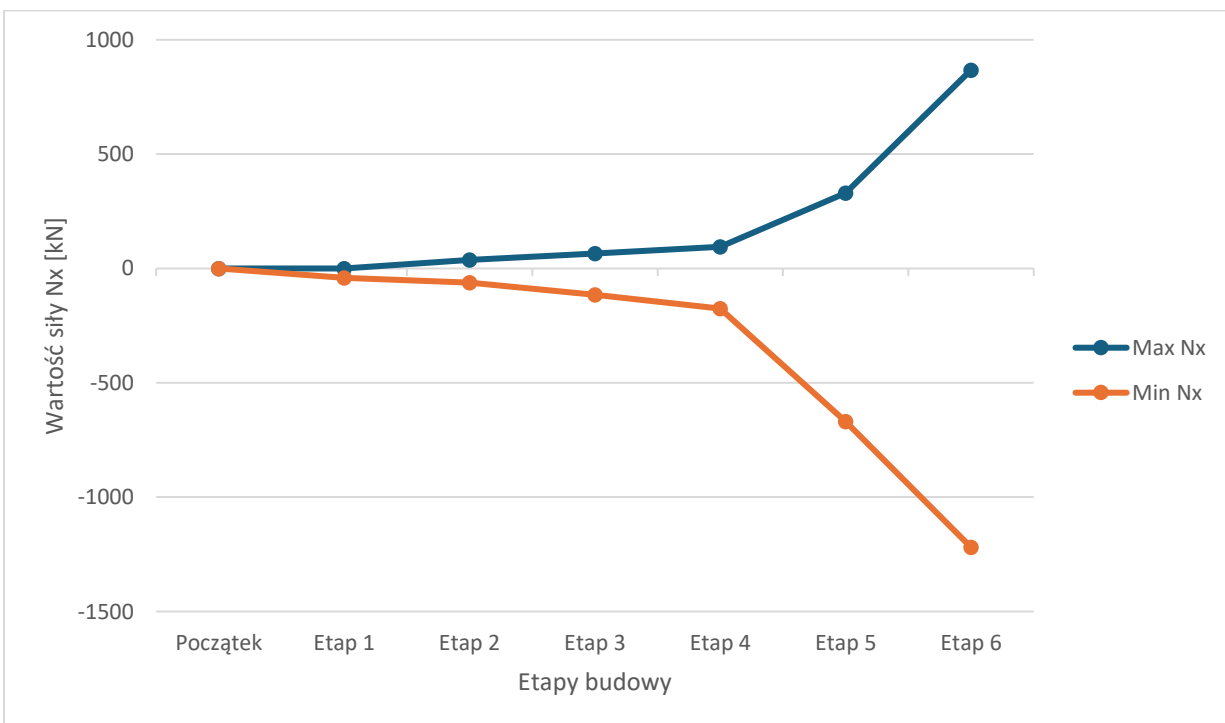


Rys. 3.103. Przykładowy wykres obwiedni sił osiowych dla pierścienia pośredniego w poszczególnych etapach budowy ilustrujący zmiany w różnych stadiach montażu obiektu

3) Stężenia wewnętrzne:

Tab. 3.5.5. Zestawienie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy dla stężeń wewnętrznych

	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Etap 5	Etap 6
Max N_x [kN]	19,08	37,07	66,02	94,32	330,05	867,79
Min N_x [kN]	-41,33	-61,38	-115,30	-174,67	-668,61	-1 219,19
Max V_y [kN]	0,05	0,16	1,15	2,72	47,57	71,05
Min V_y [kN]	-0,05	-0,18	-1,23	-2,80	-48,85	-70,17
Max V_z [kN]	10,41	10,50	10,72	10,99	30,08	58,80
Min V_z [kN]	-10,36	-10,44	-10,67	-10,93	-13,64	-17,01
Max M_y [kNm]	39,73	40,12	41,23	42,48	56,16	73,03
Min M_y [kNm]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
Max M_z [kNm]	0,10	0,09	0,30	0,44	2,51	2,63
Min M_z [kNm]	-0,10	-0,09	-0,30	-0,44	-2,49	-2,62

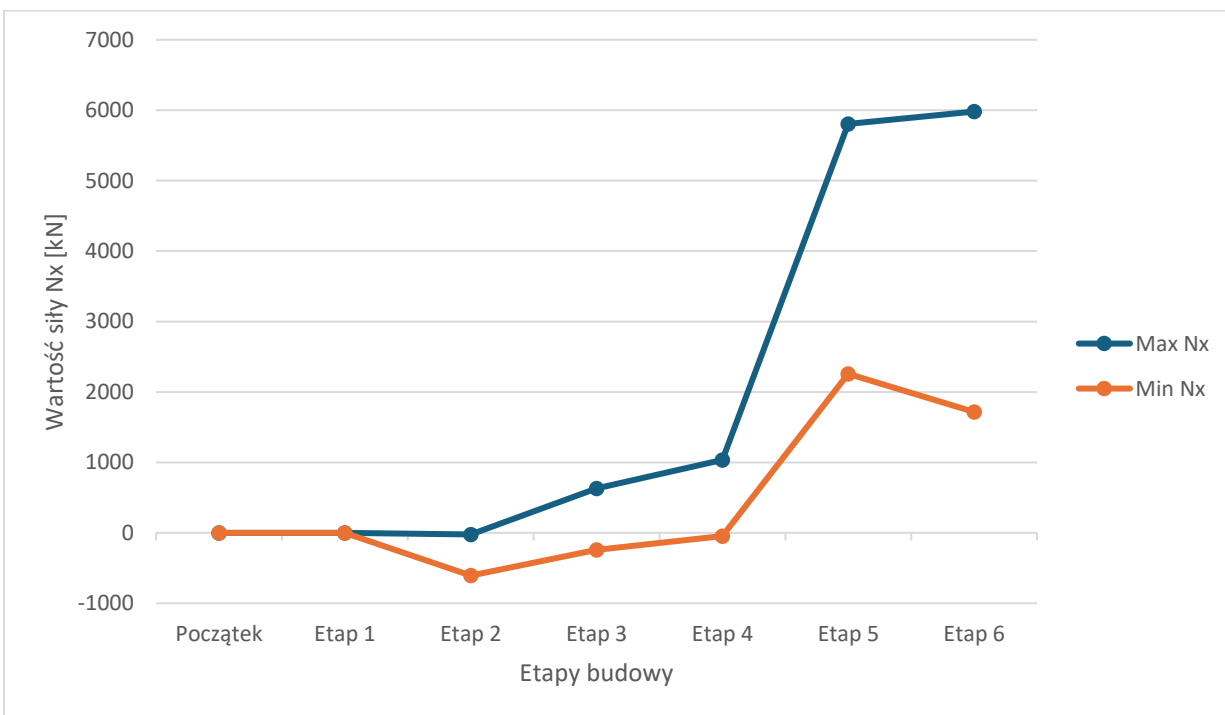


Rys. 3.104. Przykładowy wykres obwiedni sił osiowych dla stężeń wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy ilustrujący zmiany w różnych stadiach montażu obiektu

4) Pas górny kratownic:

Tab. 3.5.6. Zestawienie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy dla pasa górnego kratownic

	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Etap 5	Etap 6
Max N_x [kN]	-	-22,95	630,66	1 034,94	5 805,96	5 980,85
Min N_x [kN]	-	-606,93	-241,92	-44,05	2 257,35	1 715,55
Max V_y [kN]	-	0,11	0,61	1,03	10,80	11,17
Min V_y [kN]	-	-0,10	-0,61	-1,03	-10,80	-11,20
Max V_z [kN]	-	10,15	10,55	10,83	18,34	47,02
Min V_z [kN]	-	-10,10	-10,37	-10,57	-21,14	-47,82
Max M_y [kNm]	-	6,15	4,10	3,02	3,58	10,64
Min M_y [kNm]	-	-4,57	-10,14	-13,28	-49,85	-57,30
Max M_z [kNm]	-	0,49	3,15	4,87	26,71	27,76
Min M_z [kNm]	-	-0,54	-3,15	-4,87	-26,71	-27,71

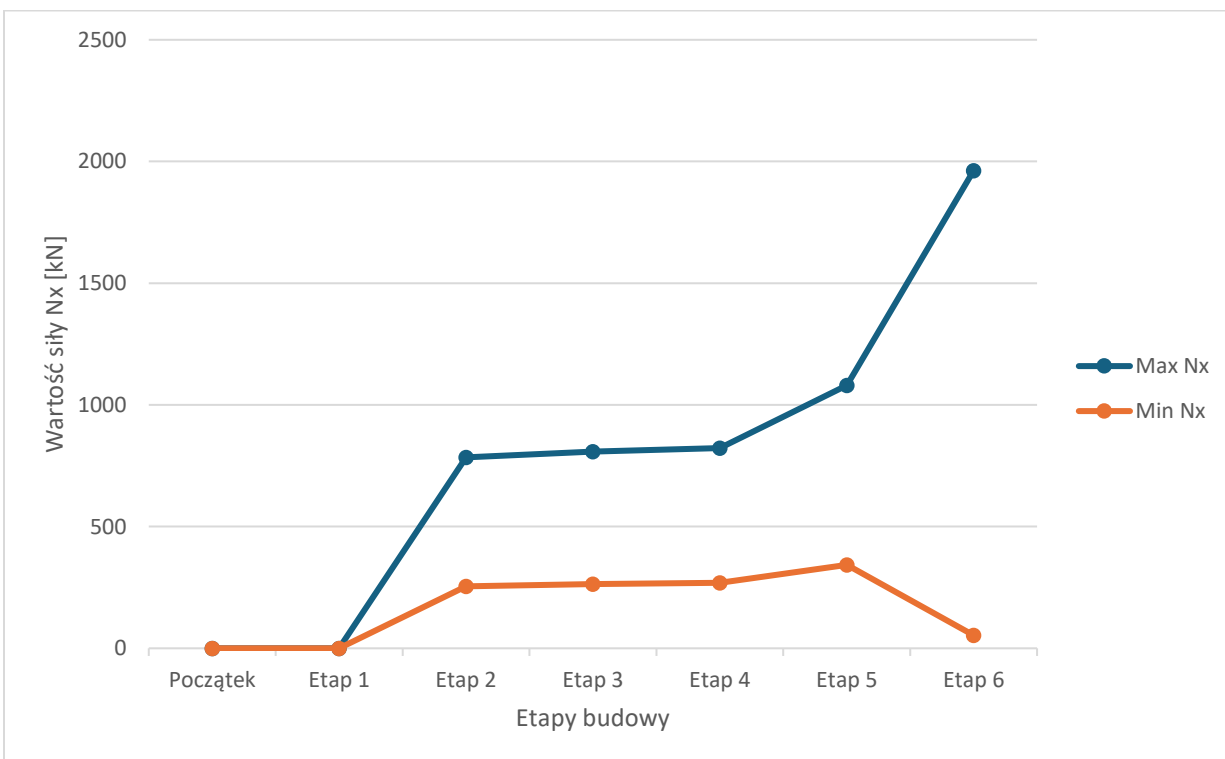


Rys. 3.105. Przykładowy wykres obwiedni sił osiowych dla górnego pasa kratownic w poszczególnych etapach budowy ilustrujący zmiany w różnych stadiach montażu obiektu

5) Pas dolny kratownic:

Tab. 3.5.7. Zestawienie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy dla pasa dolnego kratownic

	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Etap 5	Etap 6
Max N_x [kN]	-	784,92	807,92	822,20	1 080,21	1 962,36
Min N_x [kN]	-	254,97	263,79	269,06	342,80	53,02
Max V_y [kN]	-	0,53	0,61	0,75	3,11	6,54
Min V_y [kN]	-	-0,39	-0,71	-0,89	-3,60	-7,74
Max V_z [kN]	-	8,57	9,45	11,80	46,77	110,81
Min V_z [kN]	-	-8,60	-9,34	-9,98	-17,64	-21,78
Max M_y [kNm]	-	13,63	11,22	9,98	0,65	6,67
Min M_y [kNm]	-	-1,94	-6,64	-9,76	-46,62	-52,65
Max M_z [kNm]	-	0,46	0,76	1,16	5,76	6,62
Min M_z [kNm]	-	-0,40	-0,84	-1,27	-6,15	-7,03

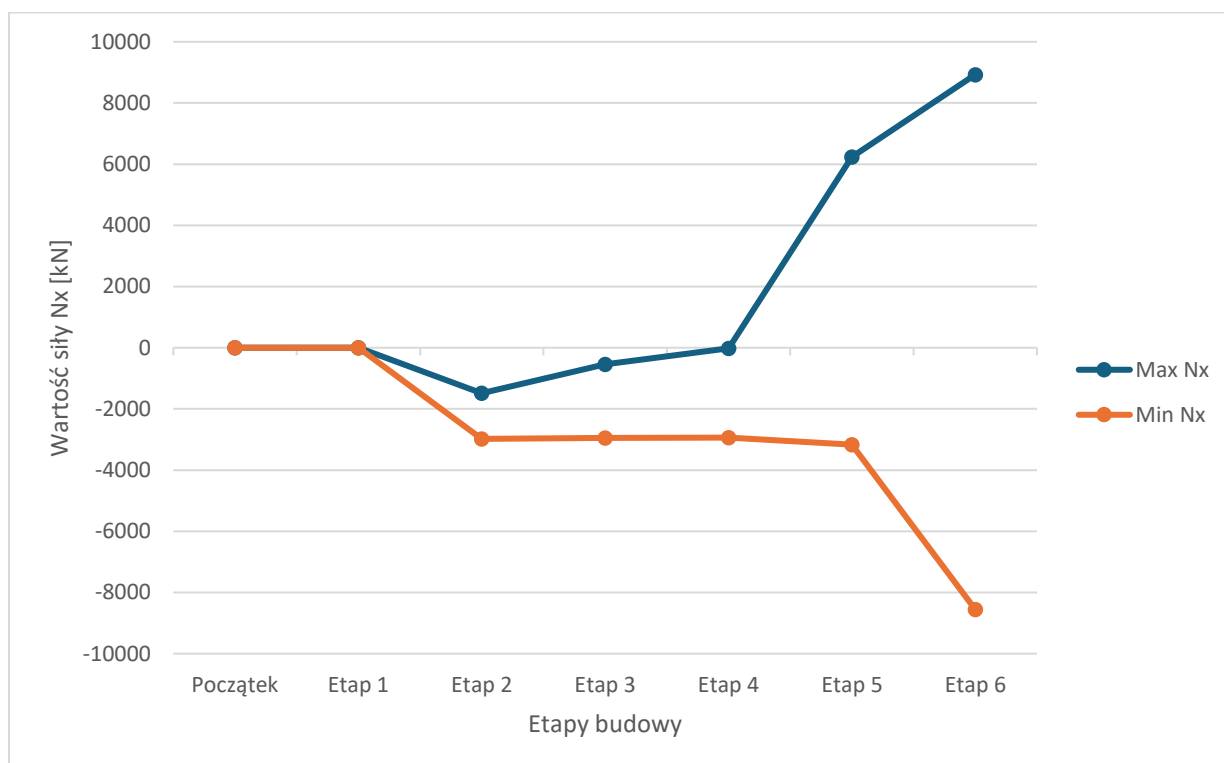


Rys. 3.106. Przykładowy wykres obwiedni sił osiowych dla dolnego pasa kratownic w poszczególnych etapach budowy ilustrujący zmiany w różnych stadiach montażu obiektu

6) Słupy zewnętrzne:

Tab. 3.5.8. Zestawienie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy dla słupów zewnętrznych

	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Etap 5	Etap 6
Max N_x [kN]	-	-1 486,99	-544,65	-21,01	6 234,36	8 927,20
Min N_x [kN]	-	-2 976,98	-2 949,05	-2 938,03	-3 170,67	-8 556,16
Max V_y [kN]	-	0,03	0,04	0,07	0,45	7,99
Min V_y [kN]	-	-0,03	-0,04	-0,07	-0,45	-28,04
Max V_z [kN]	-	61,52	73,10	79,63	161,76	337,05
Min V_z [kN]	-	-51,58	-71,31	-82,13	-241,00	-329,40
Max M_y [kNm]	-	549,66	761,36	904,21	2 889,22	4 245,84
Min M_y [kNm]	-	-42,31	-51,73	-57,09	-123,11	-248,69
Max M_z [kNm]	-	0,40	0,33	0,73	5,01	15,40
Min M_z [kNm]	-	-0,40	-0,33	-0,73	-5,01	-10,85

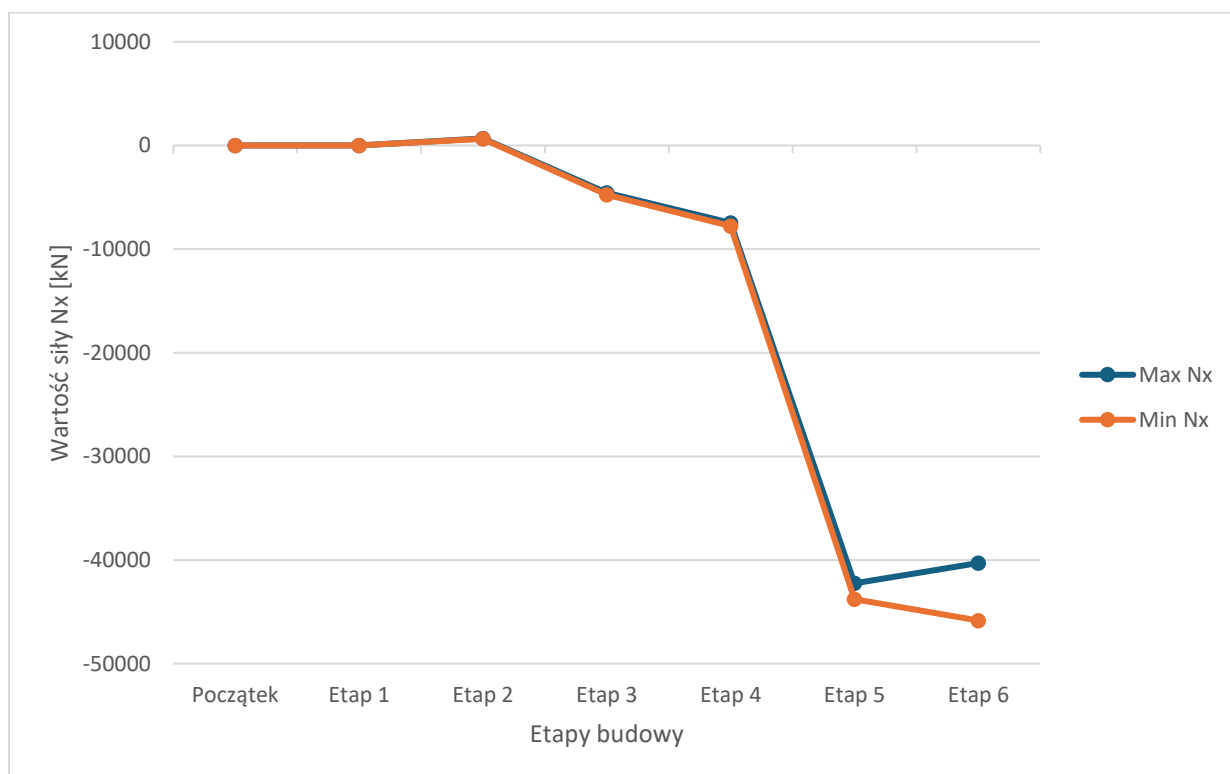


Rys. 3.107. Przykładowy wykres obwiedni sił osiowych dla słupów zewnętrznych w poszczególnych etapach budowy ilustrujący zmiany w różnych stadiach montażu obiektu

7) Pierścień zewnętrzny:

Tab. 3.5.9. Zestawienie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy dla pierścienia zewnętrznego

	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Etap 5	Etap 6
Max N_x [kN]	-	676,11	-4 558,56	-7 459,20	-42 250,50	-40 307,10
Min N_x [kN]	-	639,83	-4 768,54	-7 777,92	-43 770,00	-45 839,10
Max V_y [kN]	-	3,75	15,73	22,41	94,66	123,86
Min V_y [kN]	-	-3,75	-15,73	-22,41	-94,66	-117,98
Max V_z [kN]	-	81,44	85,50	87,99	135,53	177,46
Min V_z [kN]	-	-81,44	-85,50	-88,00	-135,53	-178,72
Max M_y [kNm]	-	177,90	241,65	277,55	755,82	1013,26
Min M_y [kNm]	-	-107,18	-71,98	-54,64	-148,14	61,20
Max M_z [kNm]	-	19,58	101,30	149,11	594,20	705,38
Min M_z [kNm]	-	-32,37	-109,74	-152,11	-609,08	-963,11

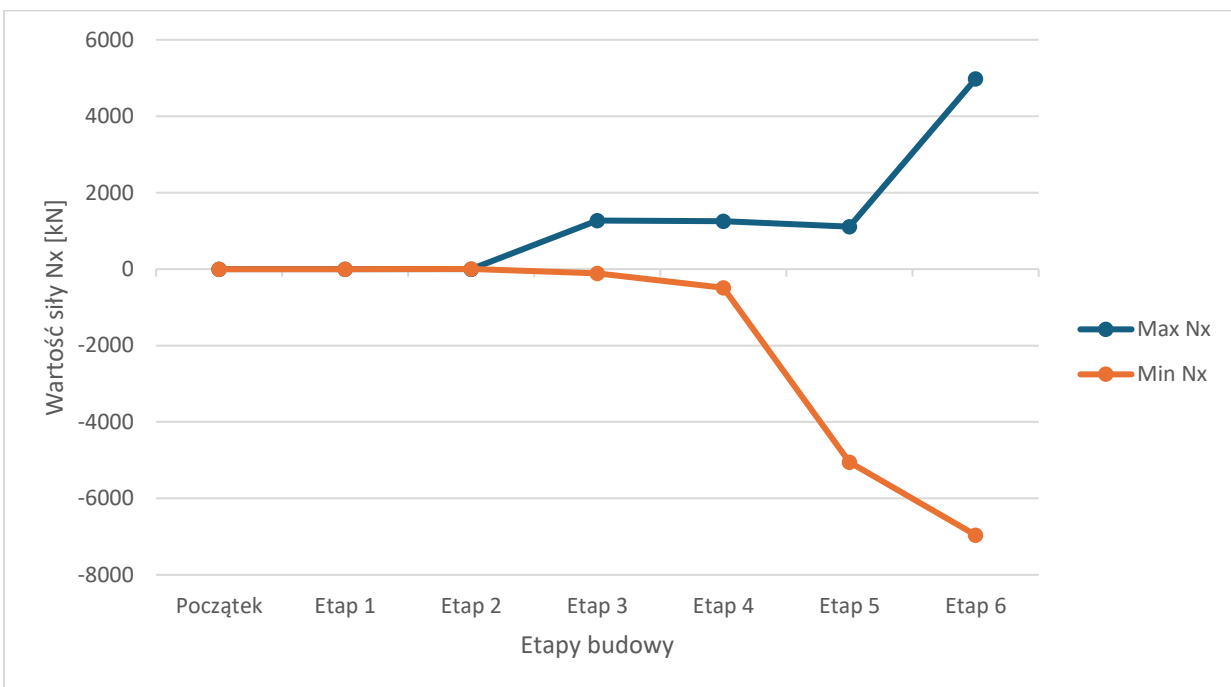


Rys. 3.108. Przykładowy wykres obwiedni sił osiowych dla pierścienia zewnętrznego w poszczególnych etapach budowy ilustrujący zmiany w różnych stadiach montażu obiektu

8) Stężenia zewnętrzne:

Tab. 3.5.10. Zestawienie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy dla stężeń zewnętrznych

	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Etap 5	Etap 6
Max N_x [kN]	-	1 302,26	1 267,54	1 251,75	1 109,89	4 975,70
Min N_x [kN]	-	3,71	-110,93	-489,14	-5 049,22	-6 959,12
Max V_y [kN]	-	26,43	26,68	27,49	55,33	53,38
Min V_y [kN]	-	-39,84	-40,31	-40,64	-44,72	-63,49
Max V_z [kN]	-	54,53	54,60	54,60	54,58	111,75
Min V_z [kN]	-	-54,53	-54,60	-54,60	-54,58	-115,14
Max M_y [kNm]	-	175,54	176,01	175,99	272,68	736,33
Min M_y [kNm]	-	-111,51	-130,14	-141,00	-272,68	-769,18
Max M_z [kNm]	-	122,63	126,88	129,98	166,87	310,40
Min M_z [kNm]	-	-61,46	-62,30	-66,08	-228,99	-245,09

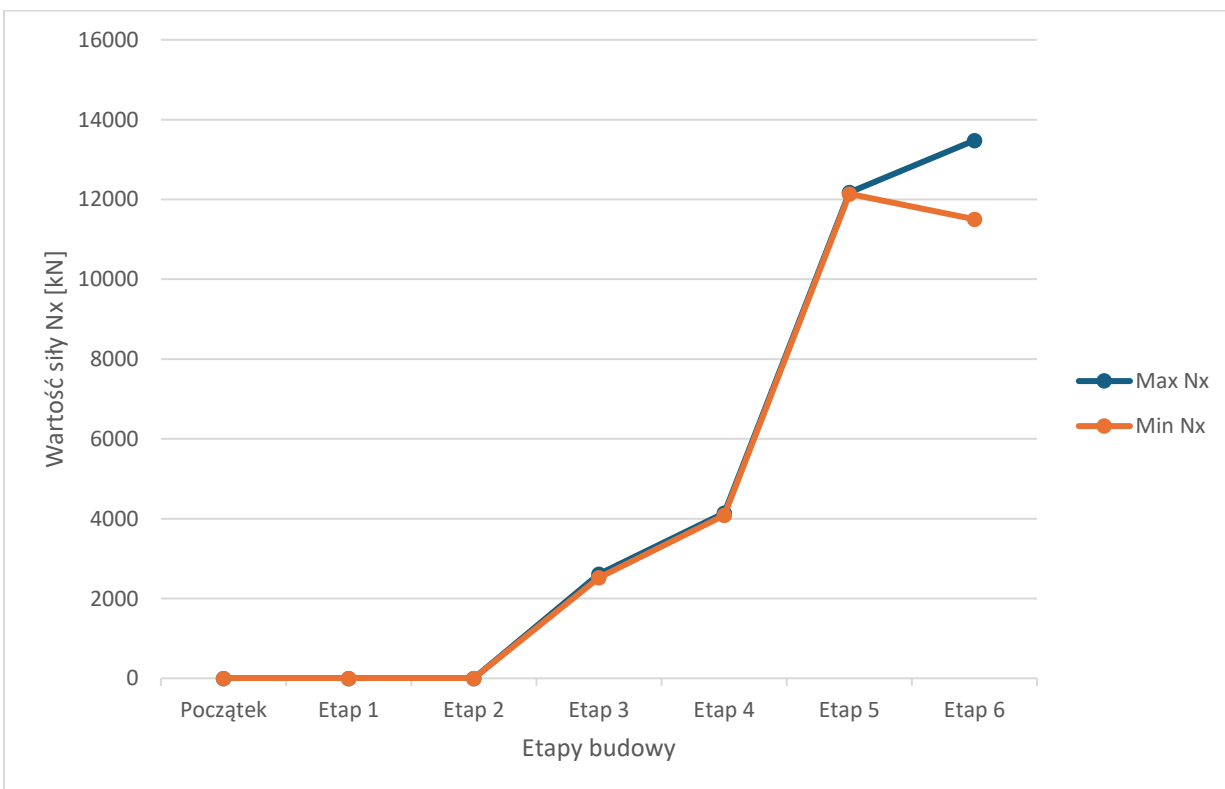


Rys. 3.109. Przykładowy wykres obwiedni sił osiowych dla stężeń zewnętrznych w poszczególnych etapach budowy ilustrujący zmiany w różnych stadiach montażu obiektu

9) Pierścień środkowy - dolny:

Tab. 3.5.11. Zestawienie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy dla pojedynczych cięgien tworzących dolny pierścień środkowy

	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Etap 5	Etap 6
Max N_x [kN]	-	-	2 610,00	4 143,65	12 177,70	13 479,00
Min N_x [kN]	-	-	2 521,36	4 081,86	12 139,80	11 504,80
Max V_y [kN]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Min V_y [kN]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Max V_z [kN]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Min V_z [kN]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Max M_y [kNm]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Min M_y [kNm]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Max M_z [kNm]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Min M_z [kNm]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00

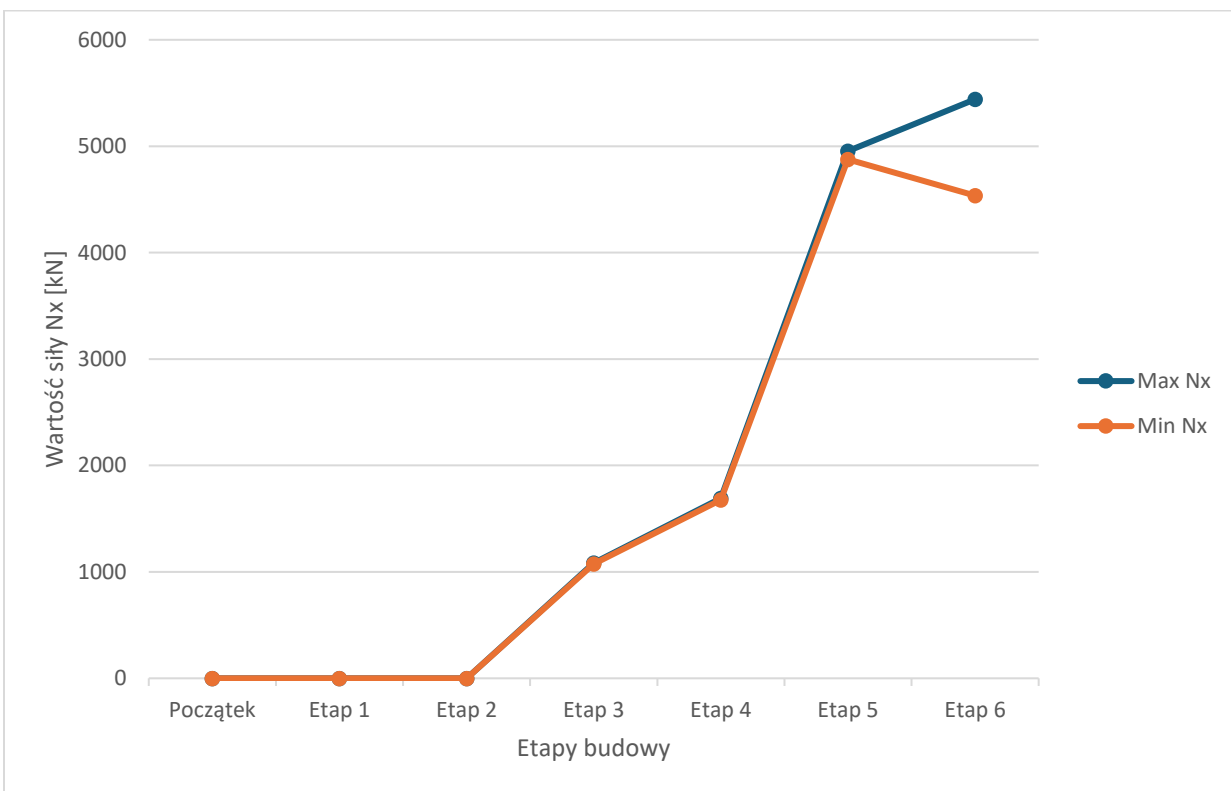


Rys. 3.110. Przykładowy wykres obwiedni sił osiowych dla środkowego pierścienia dolnego w poszczególnych etapach budowy ilustrujący zmiany w różnych stadiach montażu obiektu

10) Ciężna dolne:

Tab. 3.5.12. Zestawienie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy dla cięgien łączących dolny pierścień środkowy z pośrednim

	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Etap 5	Etap 6
Max N_x [kN]	-	-	1 085,25	1 692,42	4 952,87	5 440,84
Min N_x [kN]	-	-	1 074,62	1 675,56	4 876,54	4 537,26
Max V_y [kN]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Min V_y [kN]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Max V_z [kN]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Min V_z [kN]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Max M_y [kNm]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Min M_y [kNm]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Max M_z [kNm]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Min M_z [kNm]	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00

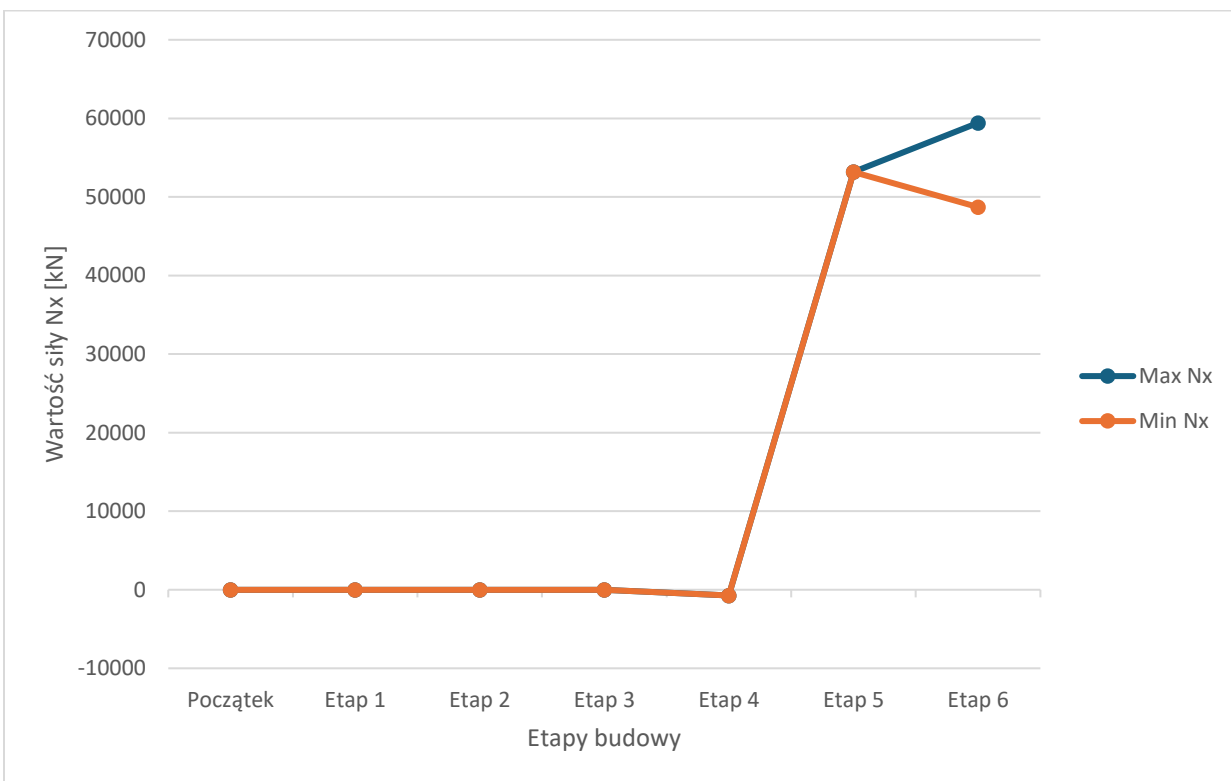


Rys. 3.111. Przykładowy wykres obwiedni sił osiowych dla cięgien dolnych w poszczególnych etapach budowy ilustrujący zmiany w różnych stadiach montażu obiektu

11) Pierścień środkowy - górny:

Tab. 3.5.13. Zestawienie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy dla górnego pierścienia środkowego

	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Etap 5	Etap 6
Max N_x [kN]	-	-	-	-725,49	53 176,90	59 429,60
Min N_x [kN]	-	-	-	-727,78	53 166,50	48 685,00
Max V_y [kN]	-	-	-	0,34	51,34	369,25
Min V_y [kN]	-	-	-	-0,34	-51,22	-372,29
Max V_z [kN]	-	-	-	34,99	1 164,49	1 601,25
Min V_z [kN]	-	-	-	-34,99	-525,91	-702,62
Max M_y [kNm]	-	-	-	50,20	51,93	130,05
Min M_y [kNm]	-	-	-	-1,75	-8,84	-36,43
Max M_z [kNm]	-	-	-	2,88	216,39	402,53
Min M_z [kNm]	-	-	-	-1,90	-54,83	-632,15

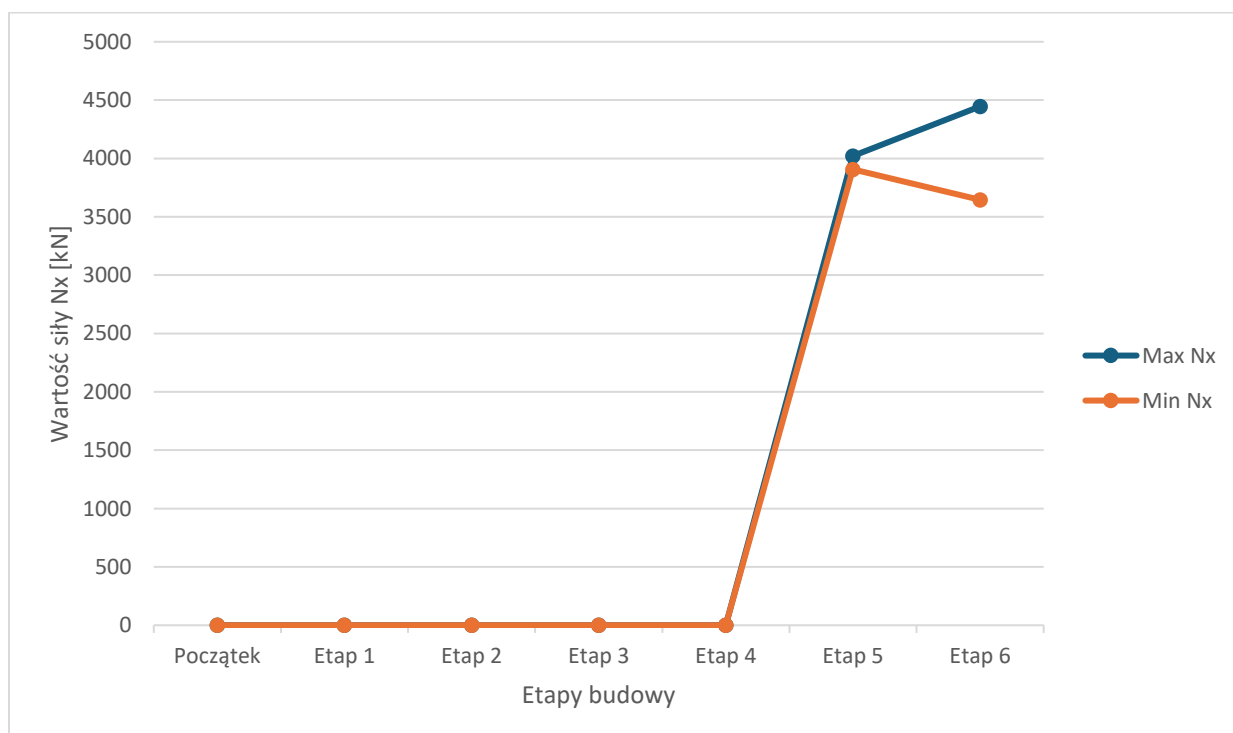


Rys. 3.112. Przykładowy wykres obwiedni sił osiowych dla środkowego pierścienia górnego w poszczególnych etapach budowy ilustrujący zmiany w różnych stadiach montażu obiektu

12) Ciężna górne:

Tab. 3.5.14. Zestawienie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w poszczególnych etapach budowy dla cięgien łączących górny pierścień środkowy z pośrednim

	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 4	Etap 5	Etap 6
Max N_x [kN]	-	-	-	-	4 022,13	4 446,17
Min N_x [kN]	-	-	-	-	3 907,04	3 645,91
Max V_y [kN]	-	-	-	-	0,00	0,00
Min V_y [kN]	-	-	-	-	0,00	0,00
Max V_z [kN]	-	-	-	-	0,00	0,00
Min V_z [kN]	-	-	-	-	0,00	0,00
Max M_y [kNm]	-	-	-	-	0,00	0,00
Min M_y [kNm]	-	-	-	-	0,00	0,00
Max M_z [kNm]	-	-	-	-	0,00	0,00
Min M_z [kNm]	-	-	-	-	0,00	0,00



Rys. 3.113. Przykładowy wykres obwiedni sił osiowych dla cięgien górnych w poszczególnych etapach budowy ilustrujący zmiany w różnych stadiach montażu obiektu

3.5.10 Wnioski i spostrzeżenia

- 1) W analizie nieliniowej widoczny jest wpływ deformacji na siły wewnętrzne. Niewielkie różnice wartości sił w poszczególnych etapach pomimo braku zmian wartości obciążeń poszczególnych elementów mogą wynikać właśnie z analizy nieliniowej – różnych deformacji konstrukcji w poszczególnych etapach.

Przykładowo, w przypadku stężeń wewnętrznych występowanie zginania w kierunku, w którym nie działa obciążenie (M_z), może być związane z deformacjami wywołanymi naprężaniem cięgien. Powoduje ono przechył słupów, co z kolei prowadzi do obrotu stężeń i generowania dwukierunkowego momentu zginającego od ciężaru własnego - Tab. 3.5.

- 2) Warto zwrócić uwagę na sytuacje, w których element projektowany na rozciąganie w określonym etapie może zmienić charakter pracy i być poddany wyłącznie ścisłaniu (np. pas górny kratownic w etapie II) - Rys. 3.105.

Ponadto, w trakcie montażu może występować zginanie spowodowane działaniem wiatru, które nie pojawia się w późniejszych fazach montażu i eksploatacji konstrukcji (np. stężenia wewnętrzne w etapach I-V) - Tab. 3.5.

- 3) W przypadku cięgien można zaobserwować zmiany charakterystyki pracy konstrukcji między etapami V i VI. Wyraźnie widoczne są efekty oddziaływań ssania wiatru oraz obciążenia śniegiem.

W przypadku cięgien dolnych – obciążenie śniegiem powoduje ich dodatkowe naprężenie, jednocześnie luzując cięgna górne, natomiast ssanie wiatru działa odwrotnie, napinając cięgna górne i zmniejszając napięcie dolnych -

Potwierdzają to zauważalne “rozgałęzienia” na wykresach sił osiowych występujące między etapami V i VI w przypadku przedstawionych wykresów dla cięgien górnych, dolnych oraz pierścieni - Rys. 3.111 i Rys. 3.113.

Na uwagę zasługuje również fakt, że siły w pierścieniach: środkowym, pośrednim i zewnętrznym w dużej mierze zależą od sił w cięgnach. Świadczą o tym znaczne zmiany sił wewnętrznych w pierścieniach (rzędu nawet 7000 kN), które występują podczas naprężania cięgien - Rys. 3.103, Rys. 3.108, Rys. 3.110, Rys. 3.112.

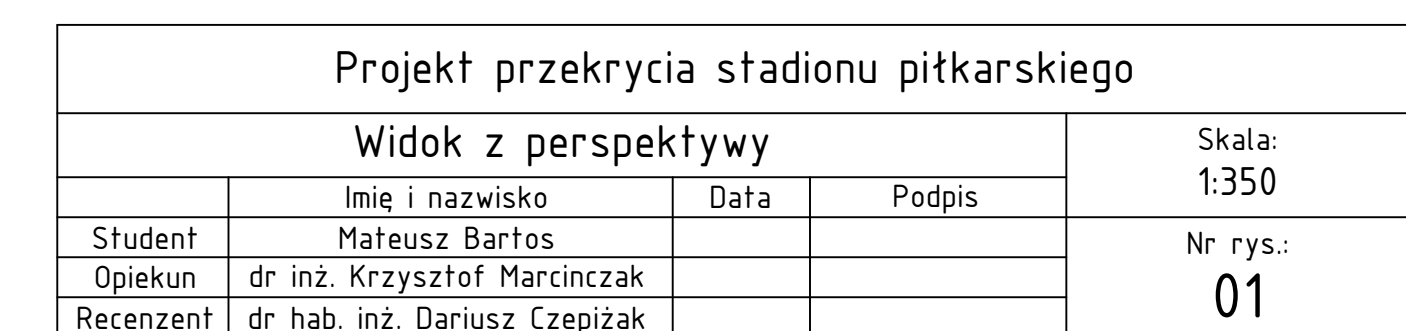
Efekt ten widoczny jest również na wykresie sił osiowych dla słupów, gdzie pojawiają się siły rozciągające - Rys. 3.102, Rys. 3.107.

3.6 Spis dokumentacji rysunkowej

- Rys. nr 1 - Perspektywa
- Rys. nr 2 - Przekrój poprzeczny
- Rys. nr 3 – Rzut dachu
- Rys. nr 4 - Etapy montażu konstrukcji stalowej
- Rys. nr 5 – Rysunek zestawczo-montażowy
- Rys. nr 6 - Rysunek warsztatowy słupa S104
- Rys. nr 7 - Rysunek warsztatowy konsoli X3

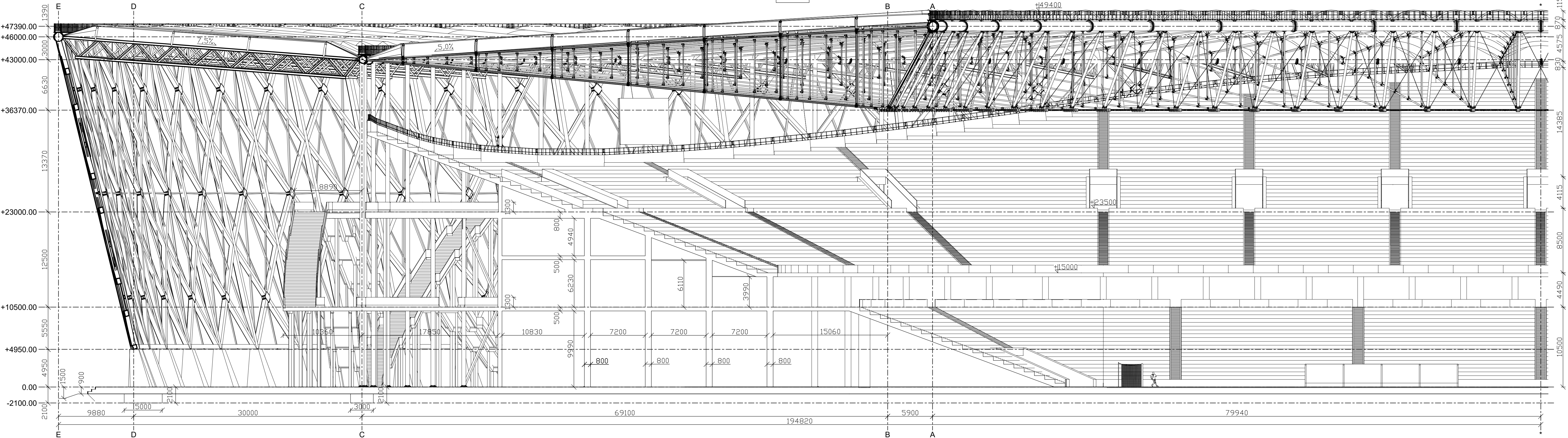
4 Bibliografia

- [1] *Case study: Munich Allianz Arena Stadium 2017*, A. Gonçalves
- [2] PN-EN 1990:2004 *Podstawy projektowania konstrukcji*.
- [3] PN-EN 1991-1-1:2004 *Oddziaływania na konstrukcje - Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia*.
- [4] PN-EN 1991-1-3:2005 *Oddziaływania ogólne - Obciążenie śniegiem*.
- [5] PN-EN 1991-1-4:2008 *Oddziaływania ogólne - Oddziaływania wiatru*.
- [6]. PN-EN 1993-1-1:2006 *Projektowanie konstrukcji stalowych - Reguły ogólne i reguły dla budynków*.
- [7] PN-EN 1991-1-5:2005 *Oddziaływania ogólne – Oddziaływania termiczne*.
- [8] PN-EN 1993-1-8:2006 *Projektowanie węzłów*.
- [9] *Stalowe konstrukcje przekryć obiektów budowlanych dużych rozpiętości*. Kobiela S., Nowak M., Hutnik E.
- [10] *Tensinet.: European design guide for tensile surface structures 2004*, B. Forster. M. Mollaert
- [11] <https://angielskieligi.wordpress.com/>
- [12] <https://www.archdaily.com/>
- [13] <https://www.archilovers.com/>
- [14] <https://www.architectureanddesign.com.au/>
- [15] <https://www.ceas.it/>
- [16] <https://www.dabonline.de/>
- [17] <https://www.freyssinet.com/>
- [18] <https://footballtripper.com/>
- [19] <https://kranmar.ru/>
- [20] <https://www.materiałybudowlane.info.pl/>
- [21] <https://oko-planet.su/>
- [22] <https://www.plastech.pl/>
- [23] <https://stadiony.net/>
- [24] <https://stadiumdb.com/>
- [25] <https://tropki.ru/rossiya/volgogradskaya-oblast/volgograd/stadion-volgograd-arena>
- [26] <https://v1.ru/>
- [27] <https://pl.wikipedia.org/>



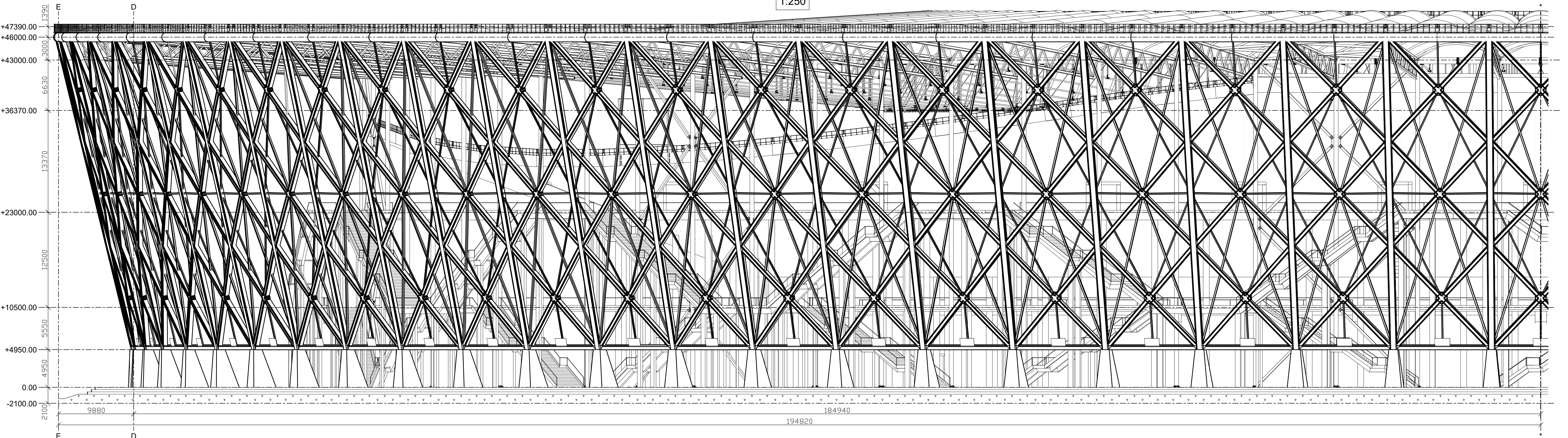
Przekrój poprzeczny

1:250

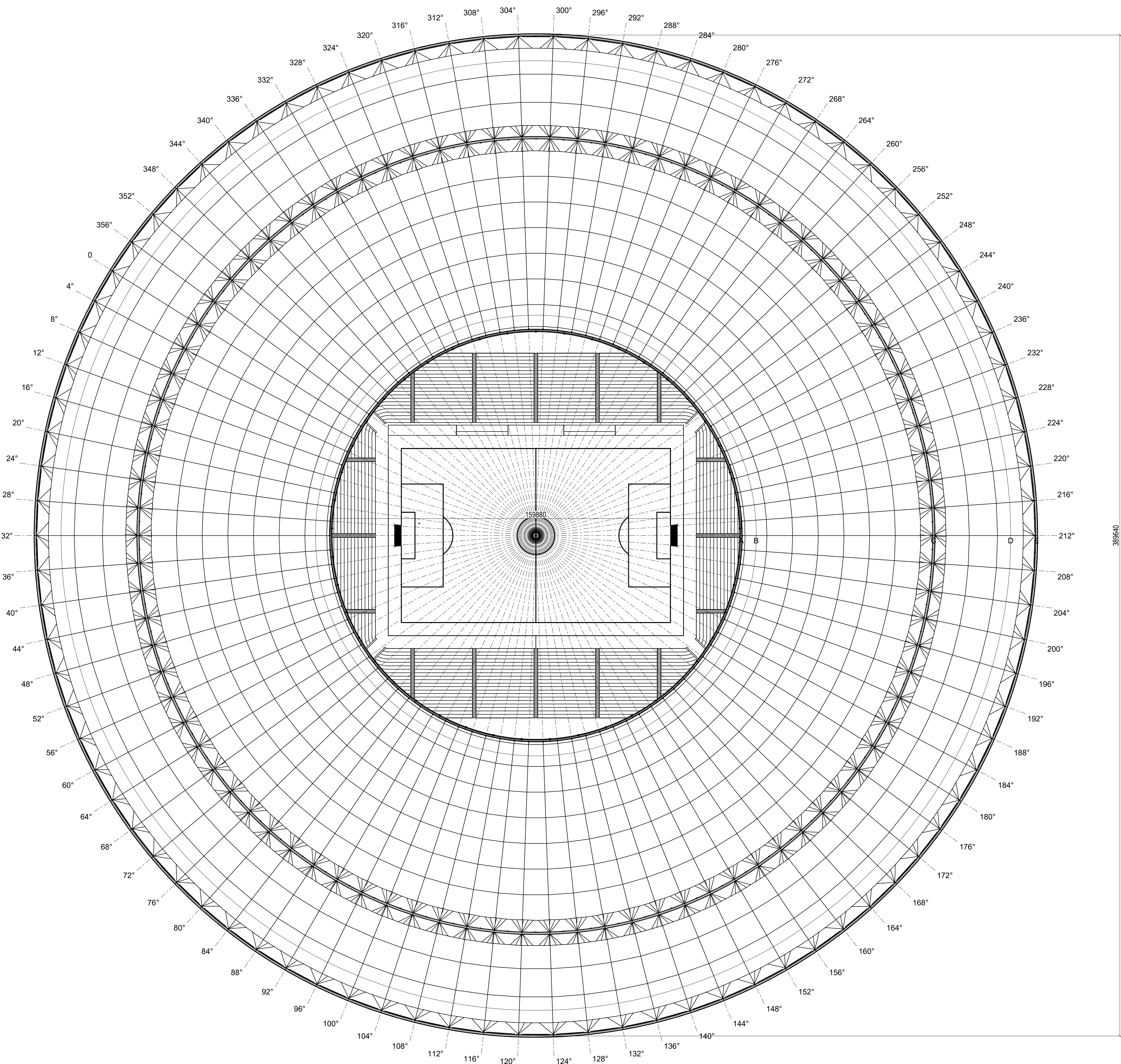


Widok elewacji

1:250



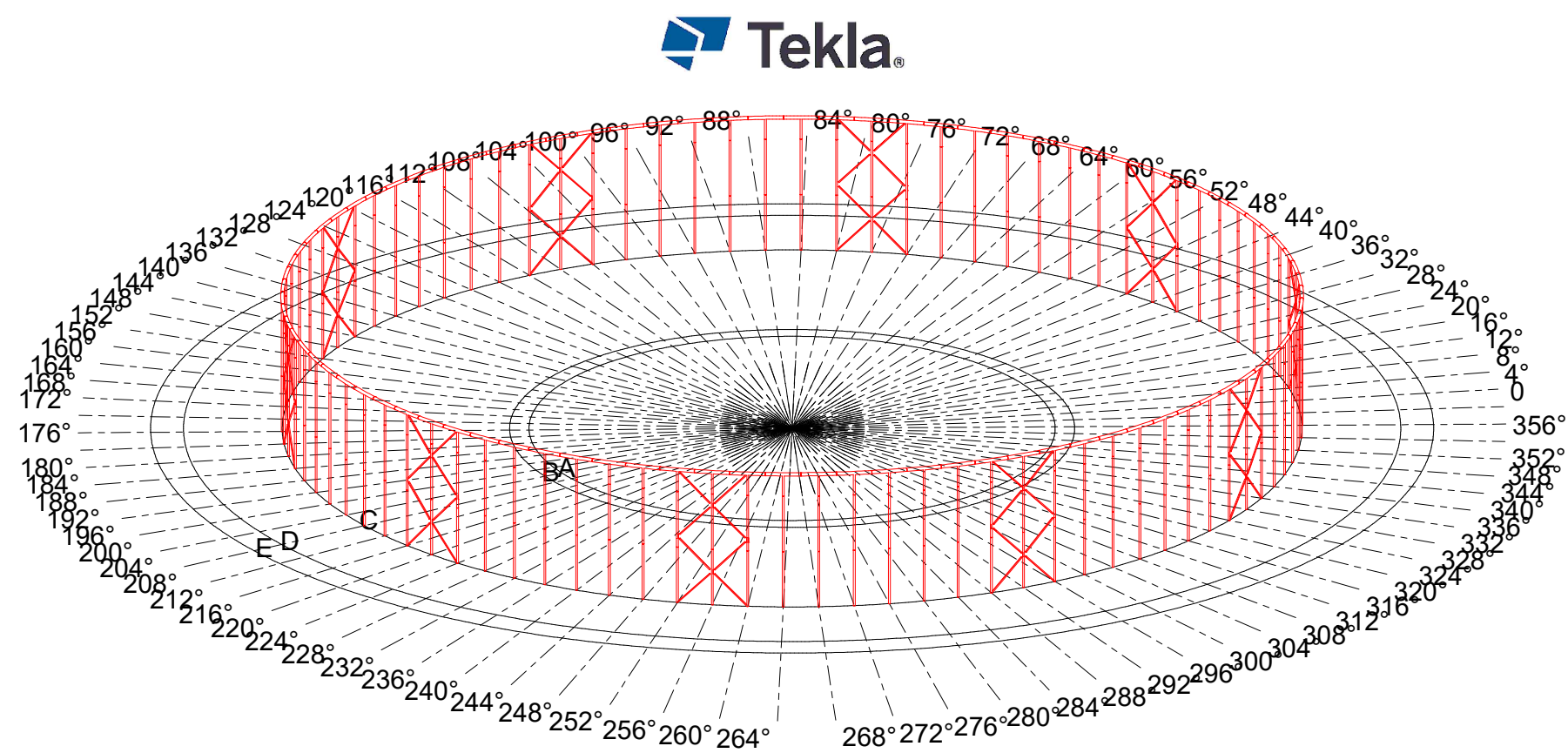
Projekt przekrycia stadionu piłkarskiego				
Przekrój poprzeczny i widok elewacji				Skala: 1:250
Student	Imię i nazwisko Mateusz Bartos	Data	Podpis	Nr rys.: 02
Opiekun	dr inż. Krzysztof Marcinczak			
Recenzent	dr hab. inż. Dariusz Czepizak			



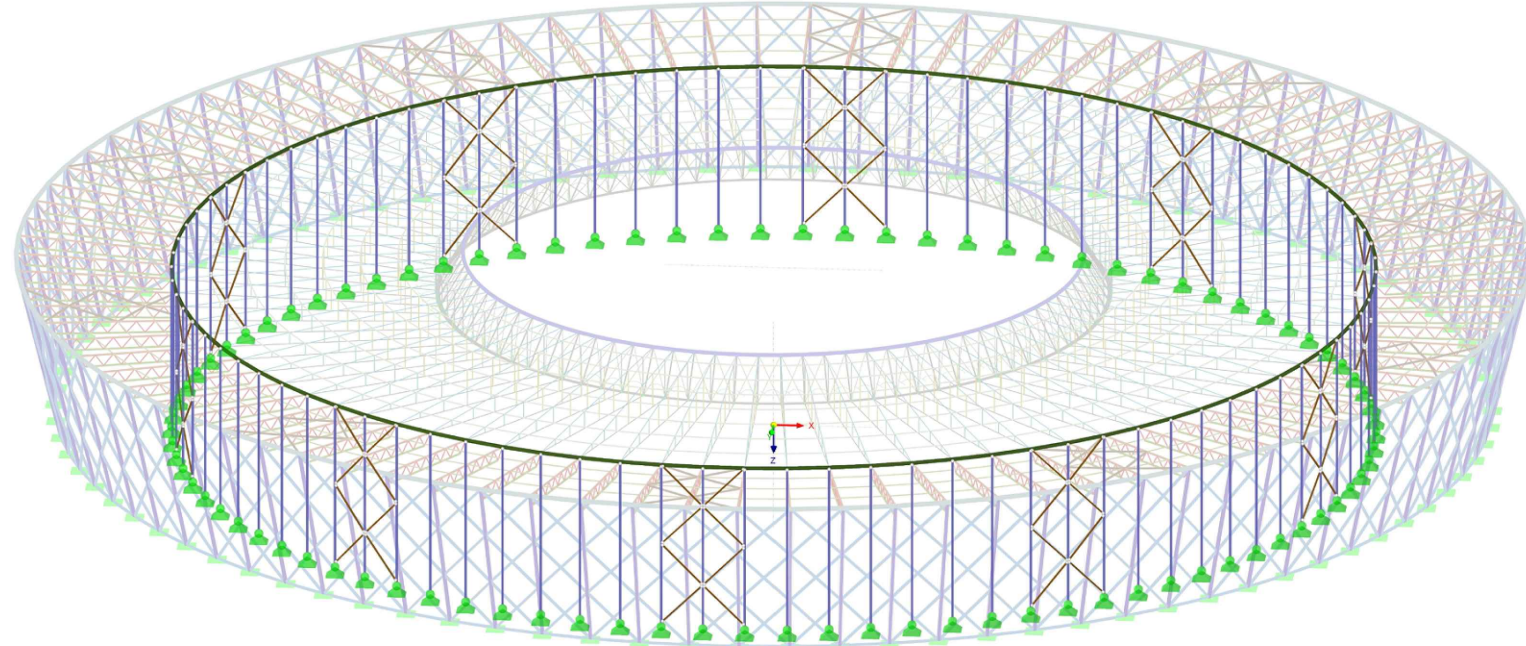
389640

Projekt przekrycia stadionu piłkarskiego				
Rzut dachu				Skala:
	Imię i nazwisko	Data	Podpis	1:750
Student	Mateusz Bartos			Nr rys.: 03
Opiekun	dr inż. Krzysztof Marcinczak			
Recenzent	dr hab. inż. Dariusz Czepizak			

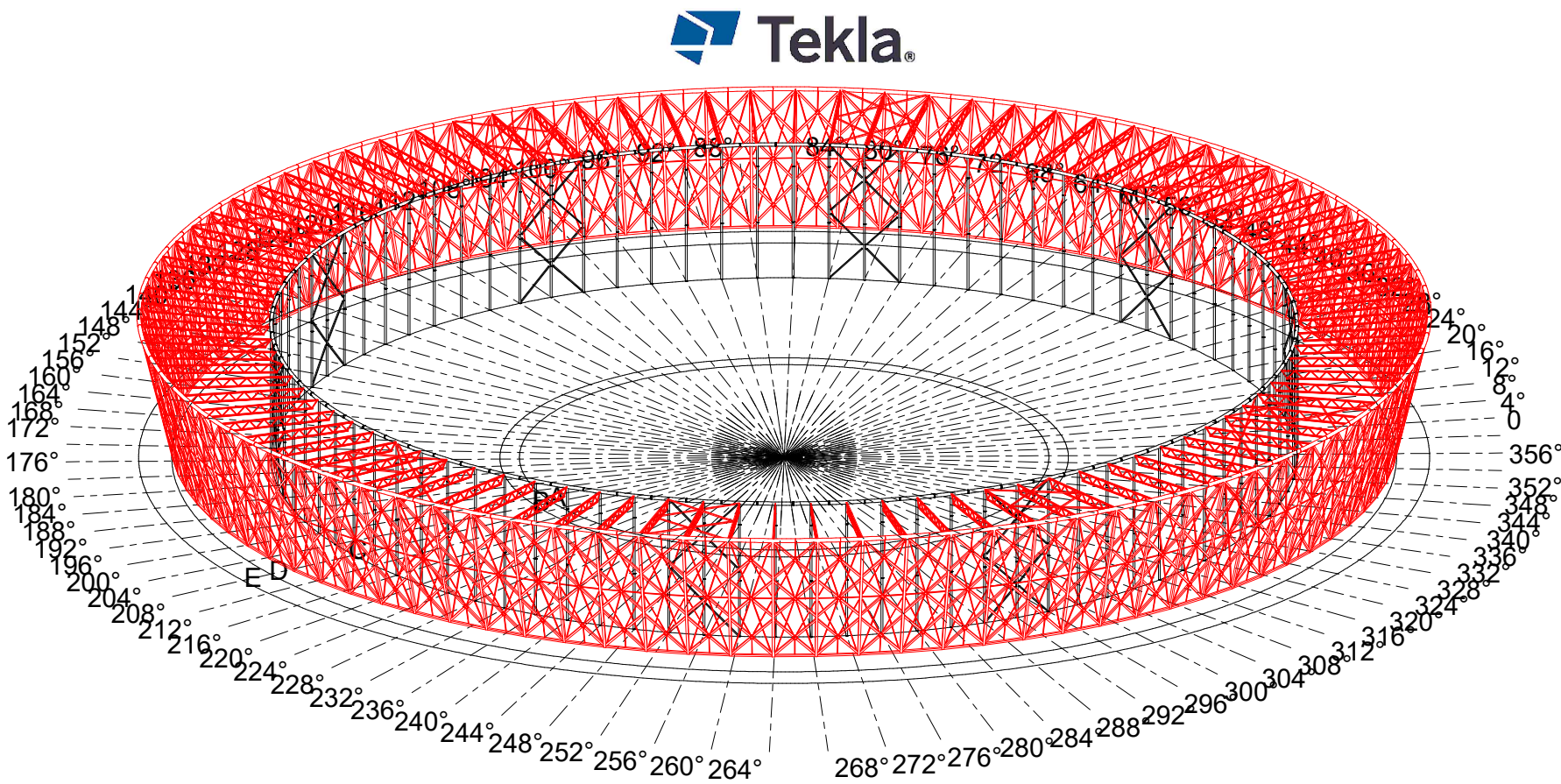
Etap I



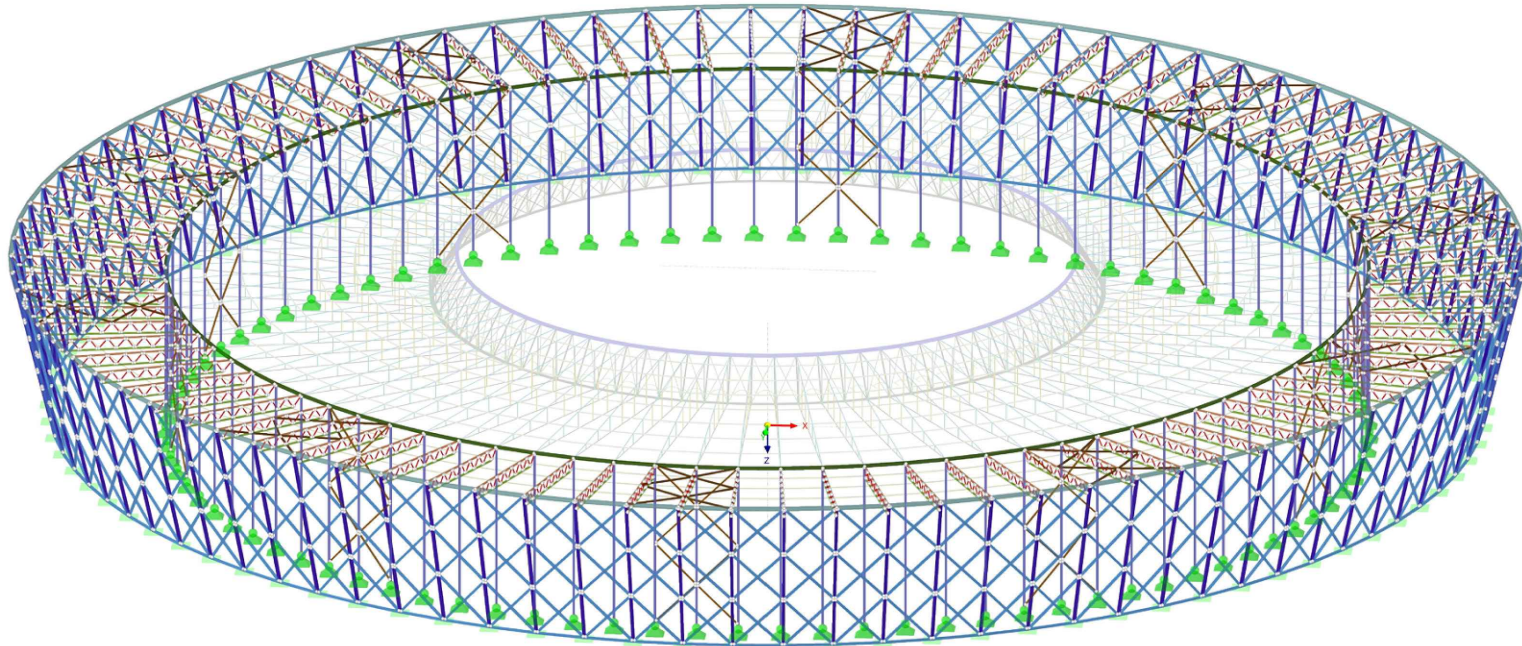
 **RFEM 6**



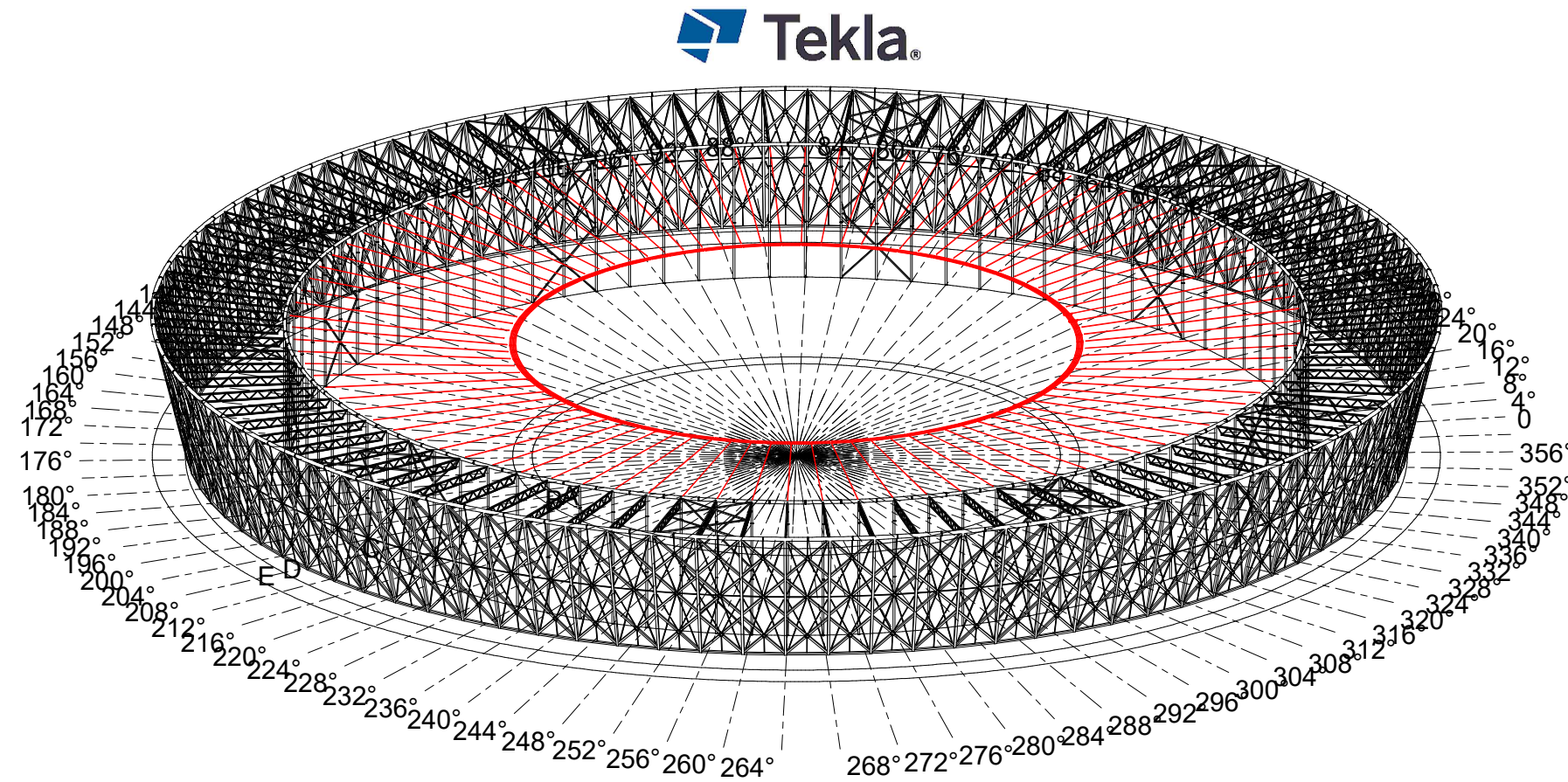
Etap II



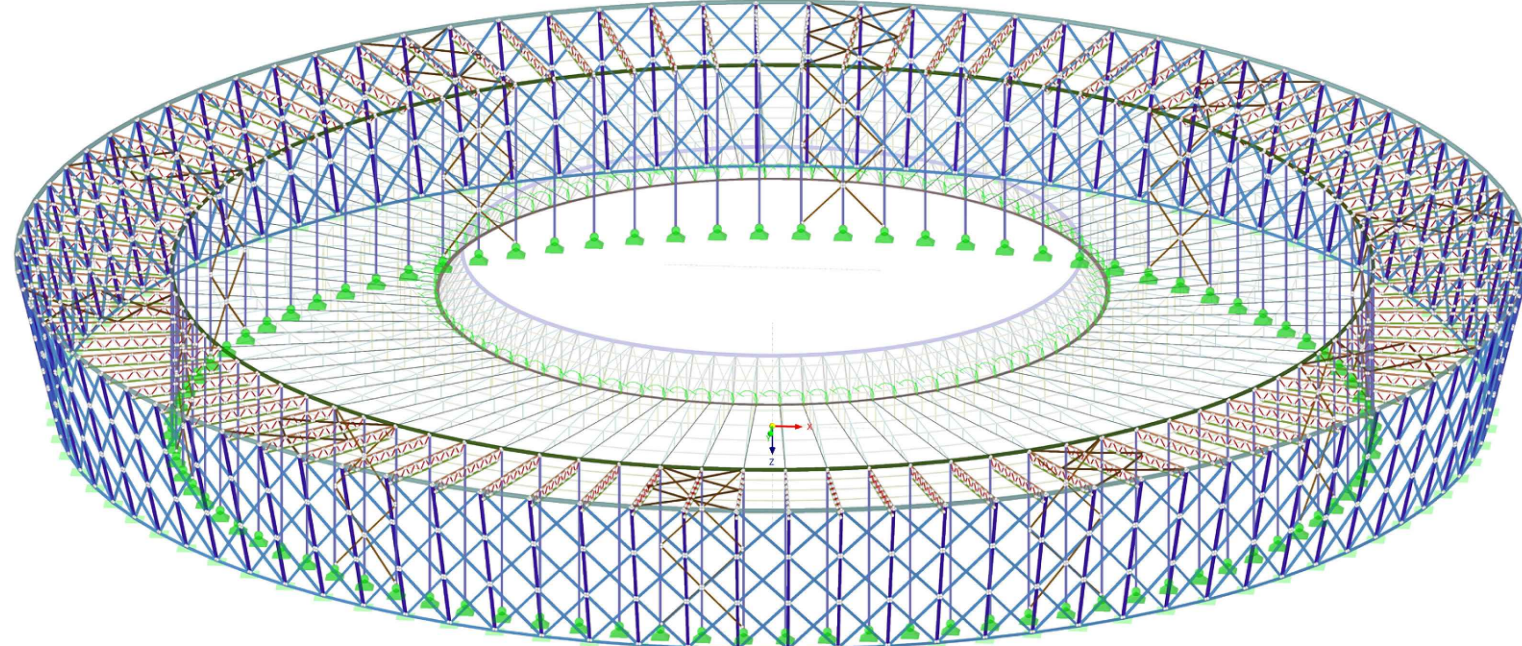
 **RFEM 6**



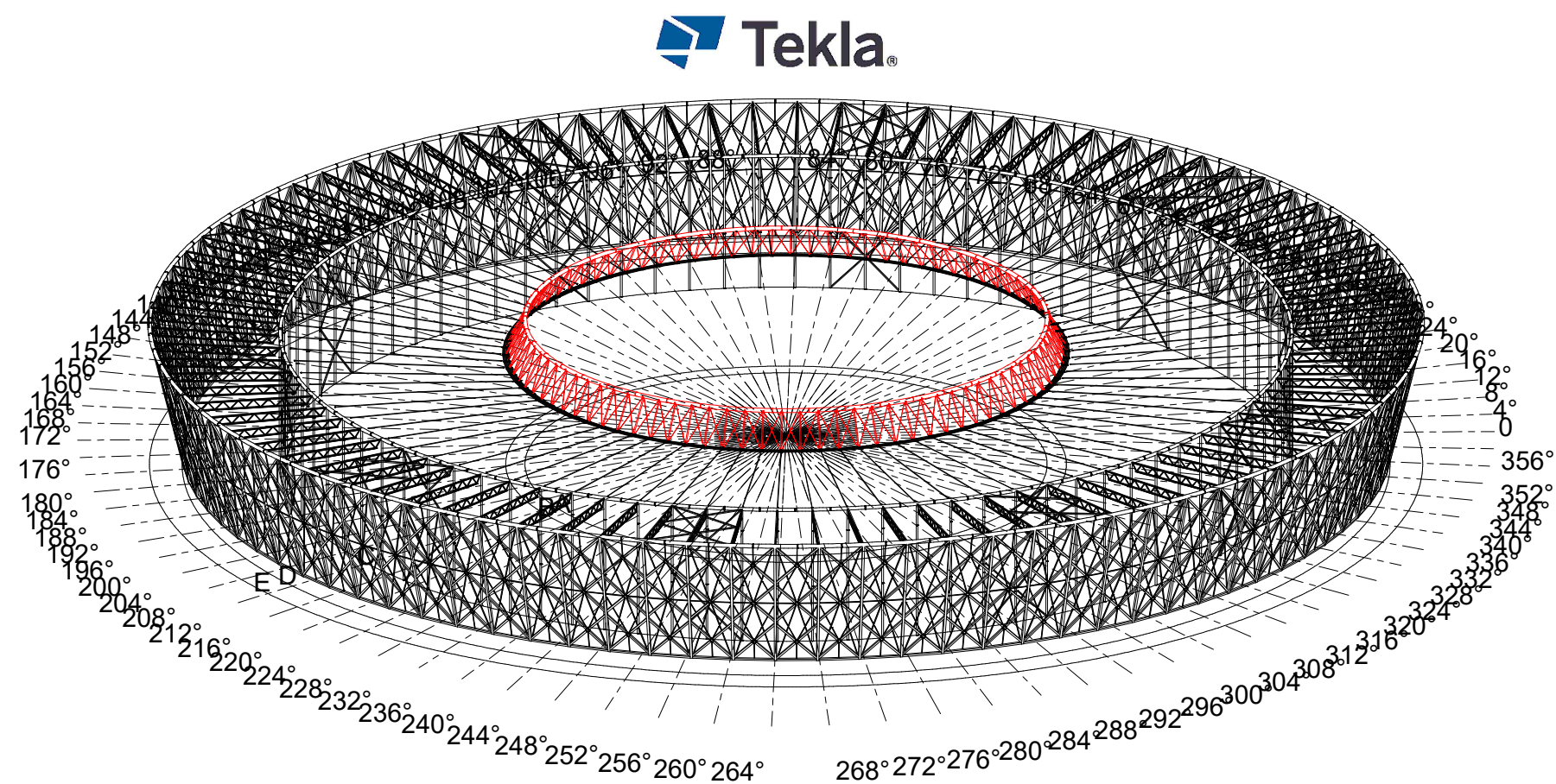
Etap III



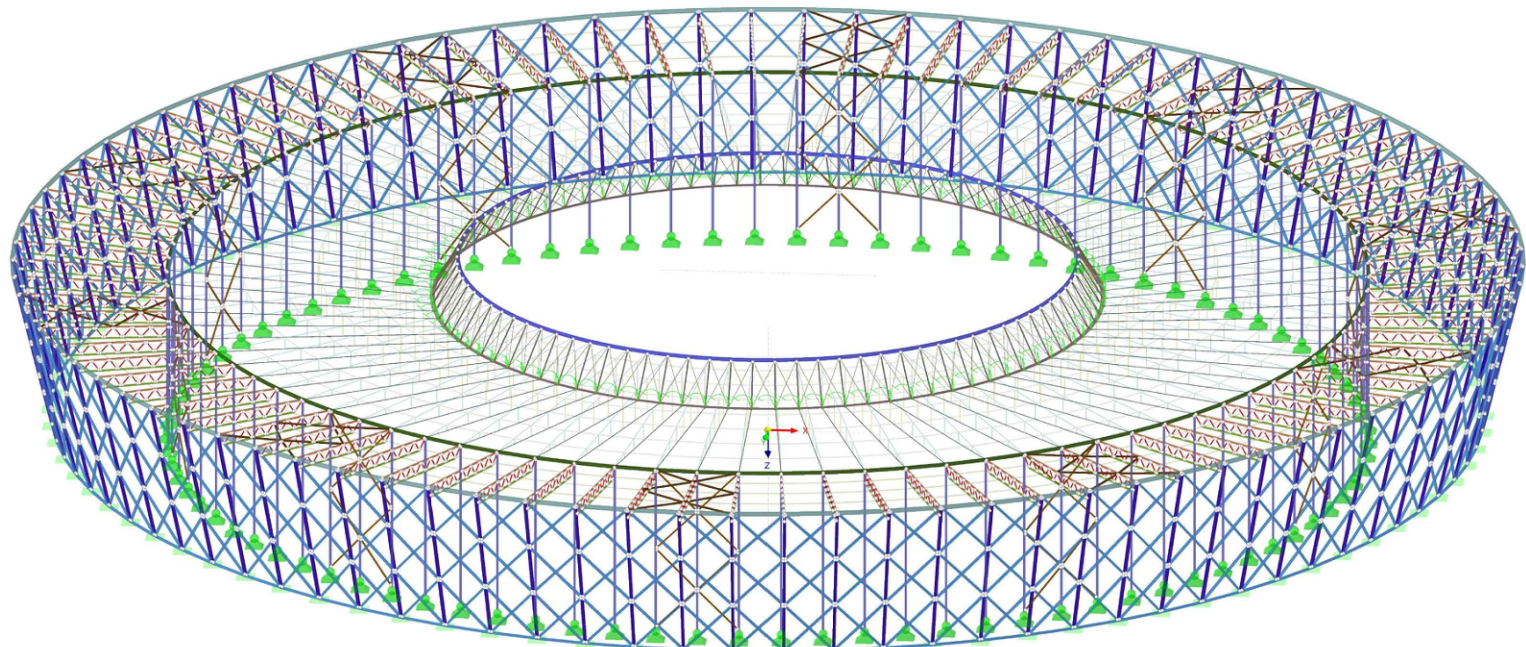
 **RFEM 6**



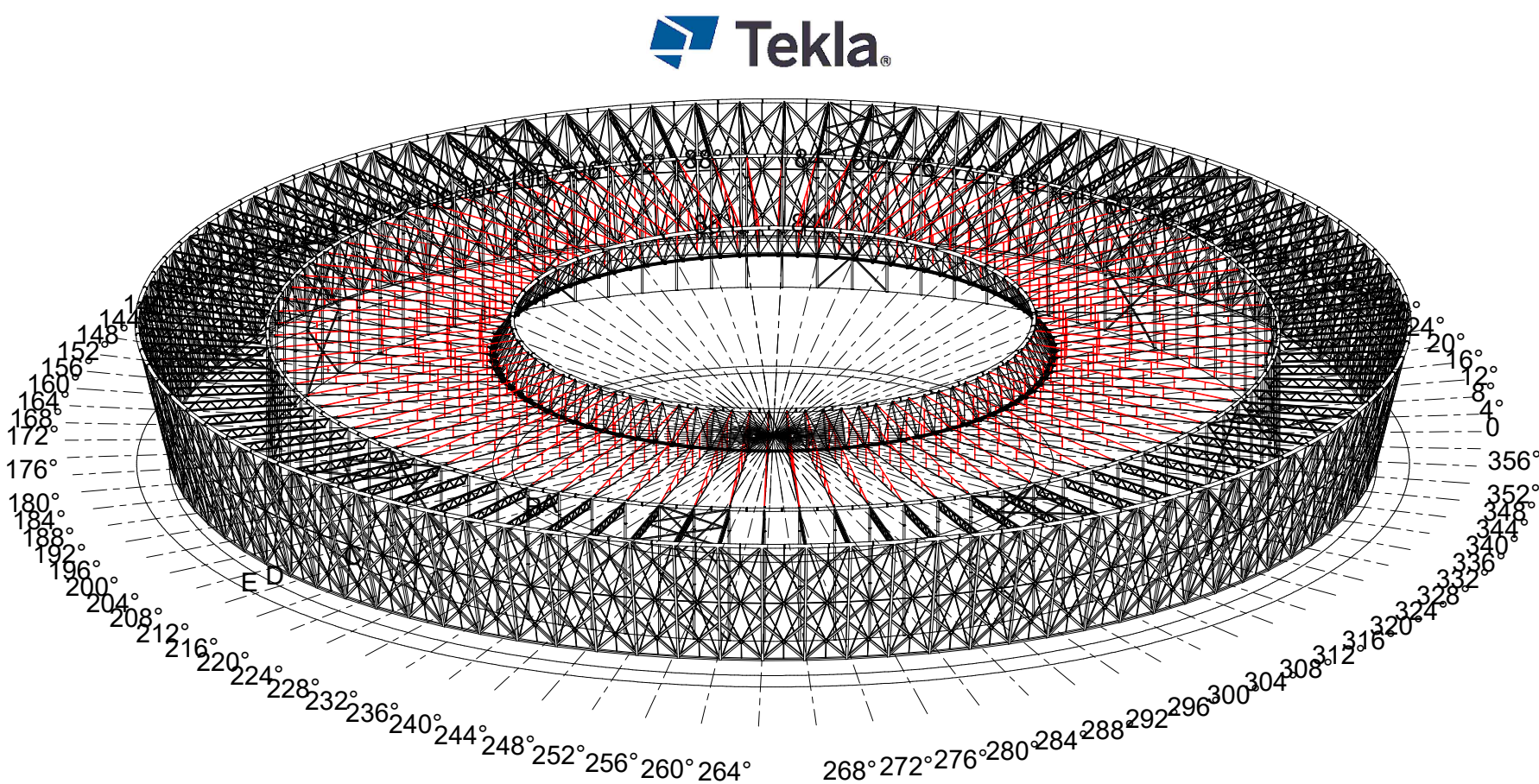
Etap IV



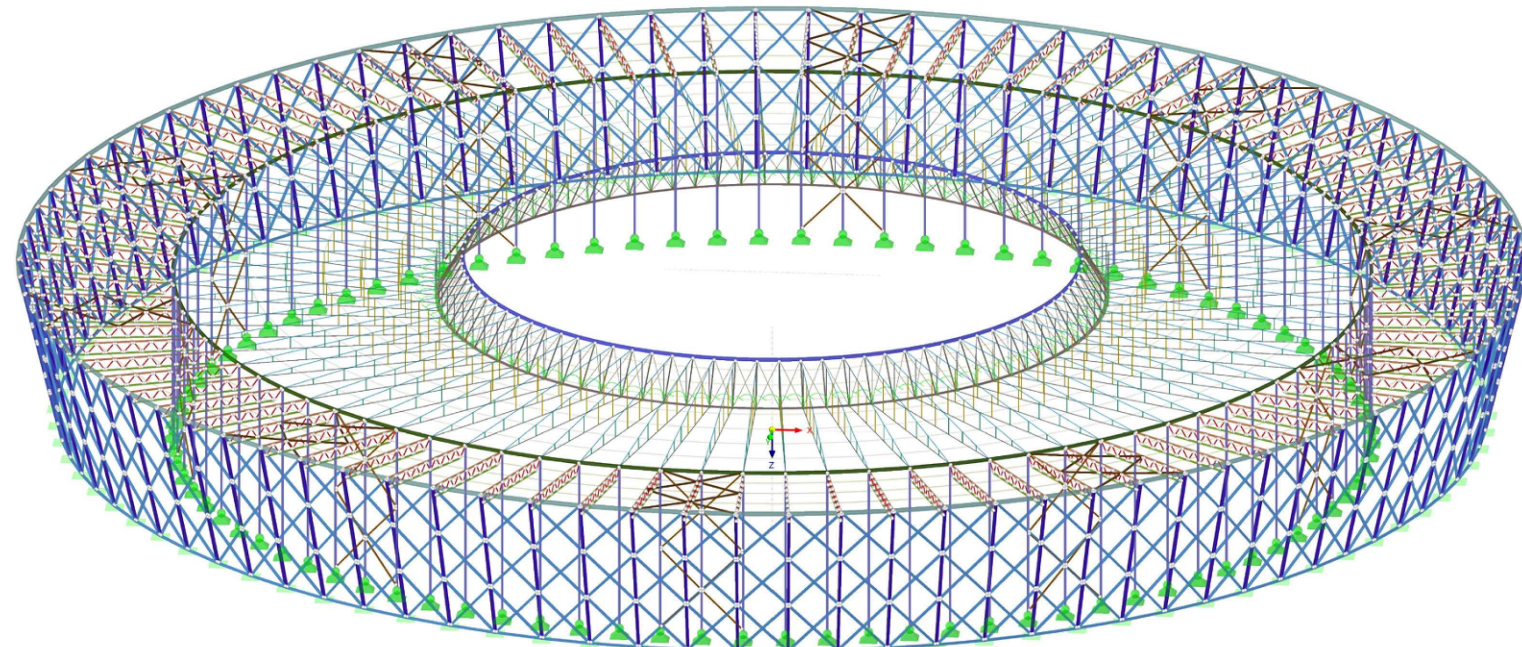
 **RFEM 6**



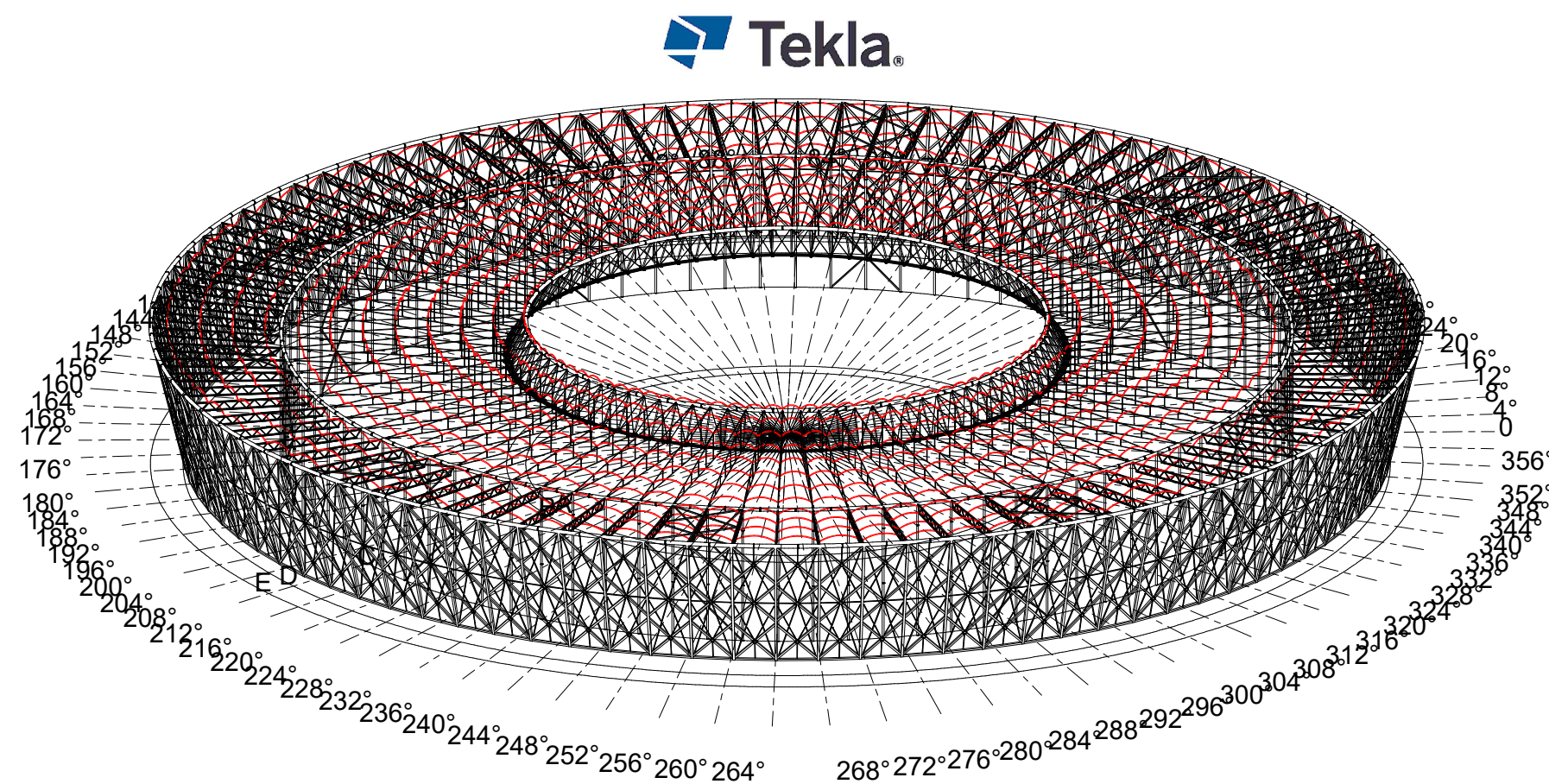
Etap V



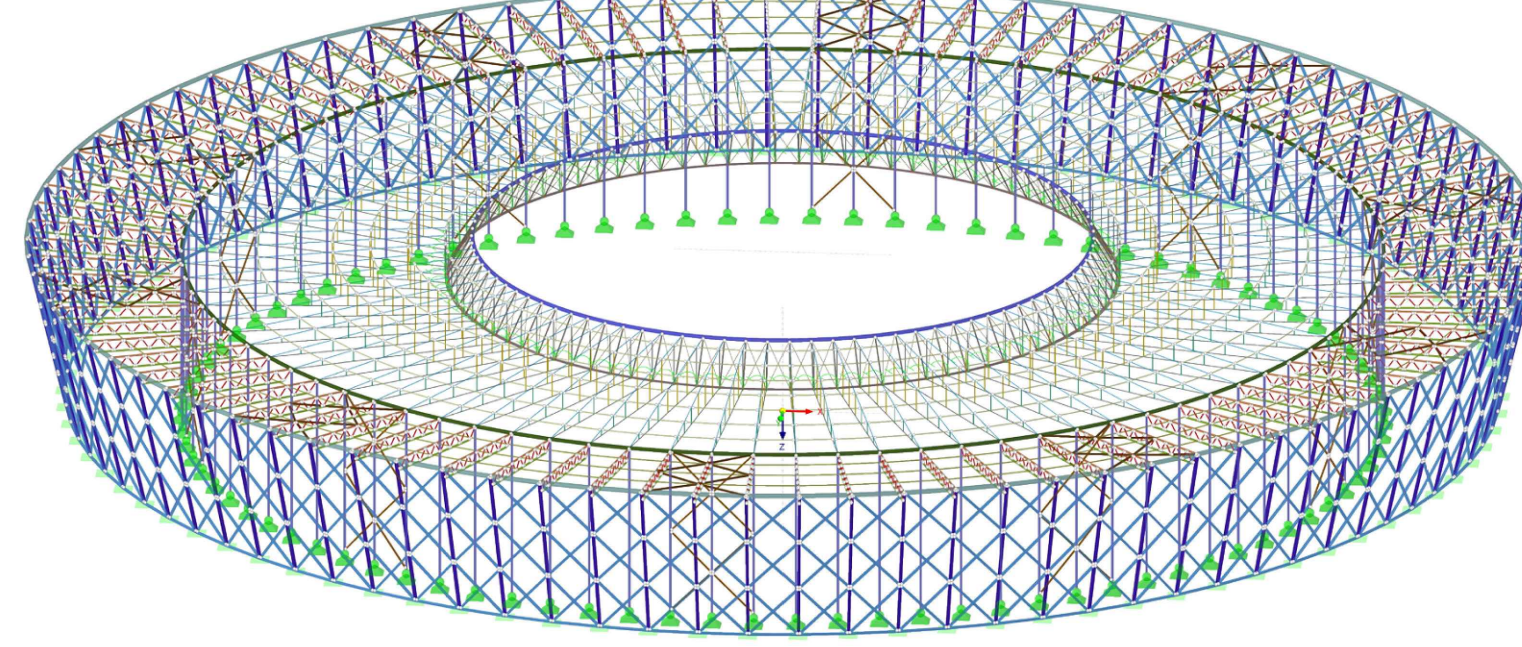
 **RFEM 6**



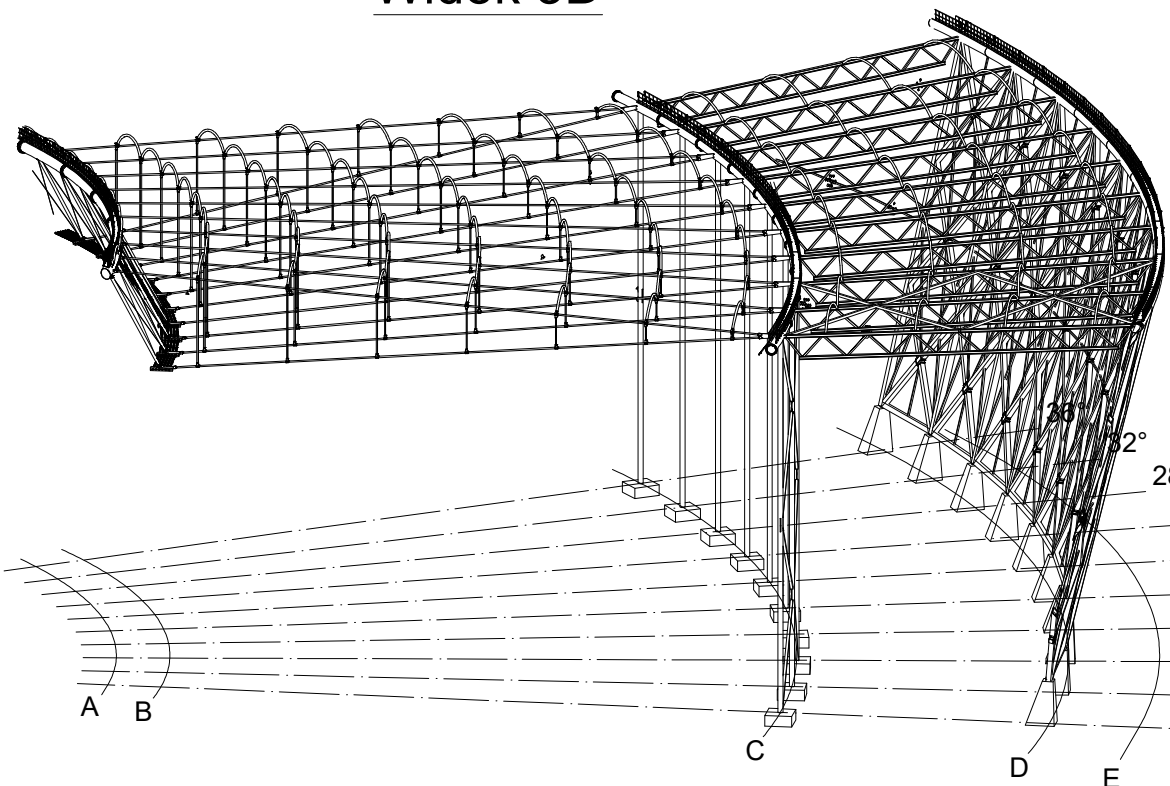
Etap VI



 **RFEM 6**

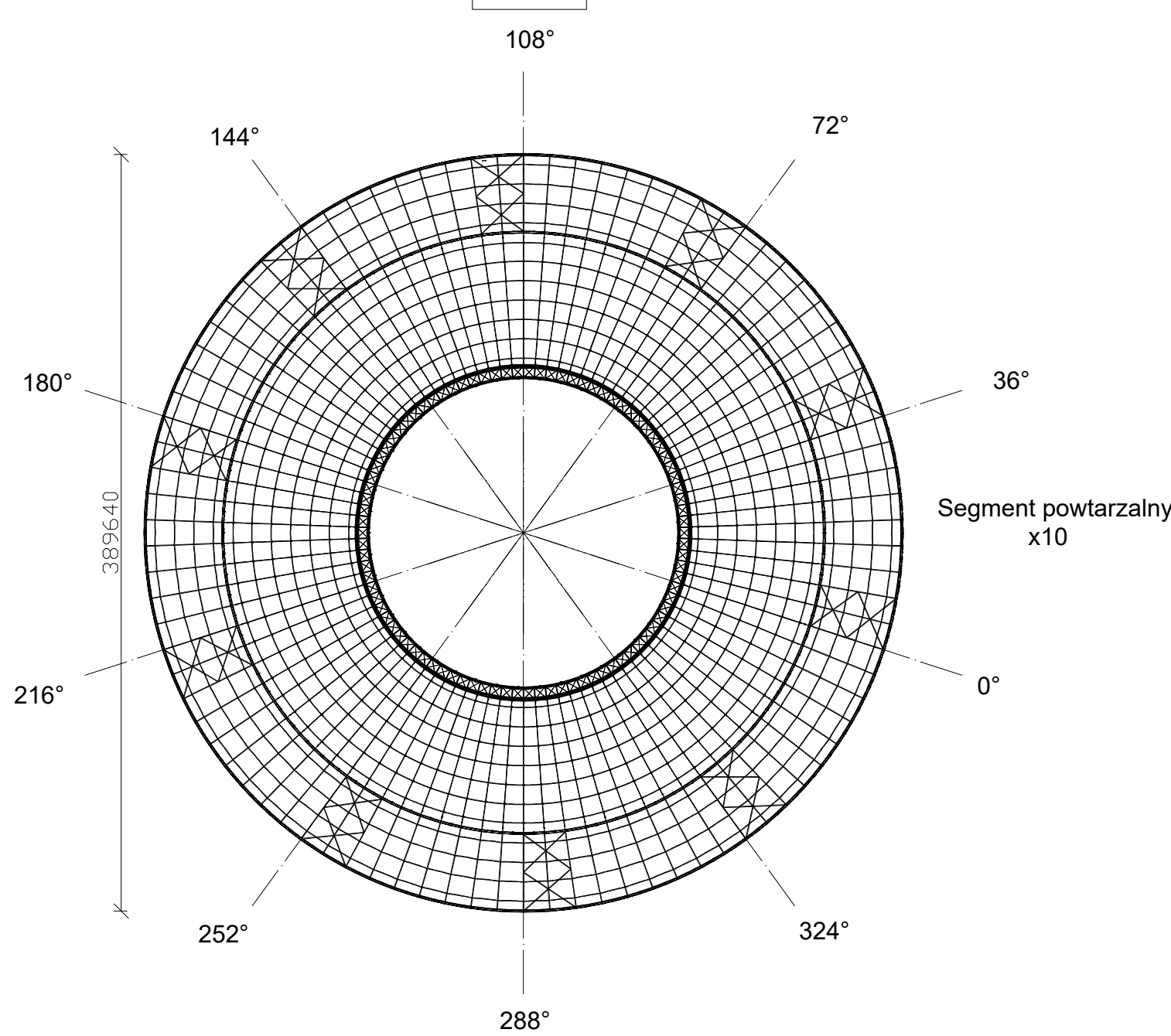


Widok 3D

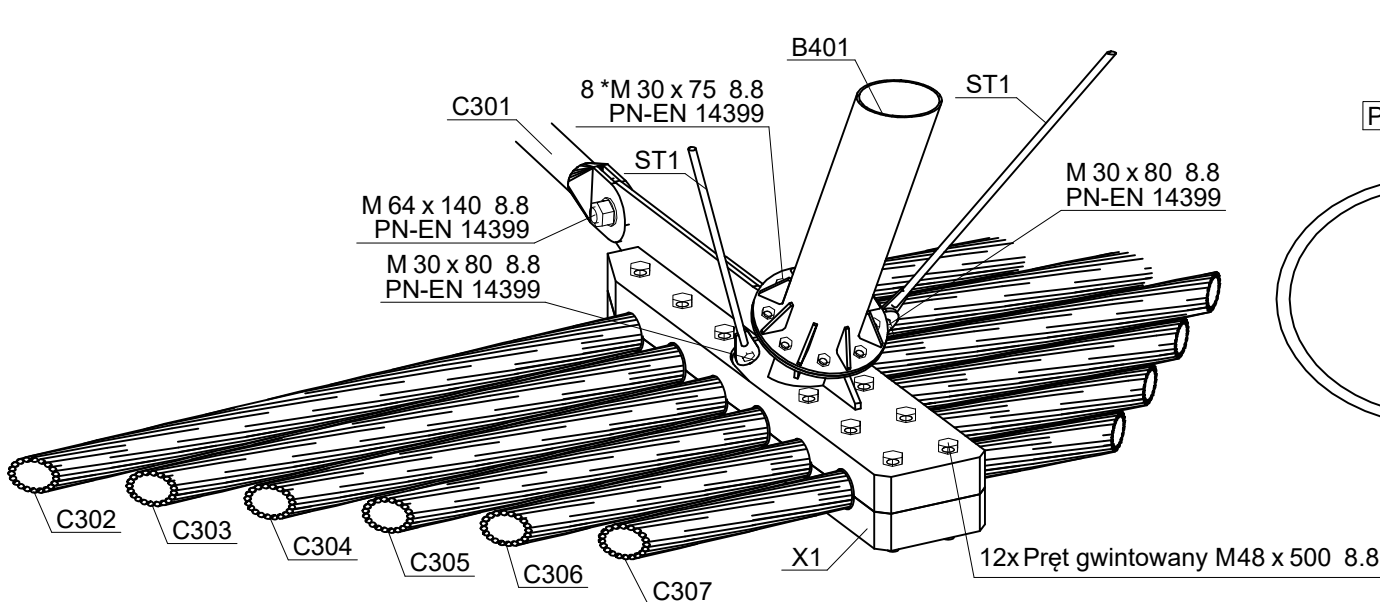


Rysunek poglądowy

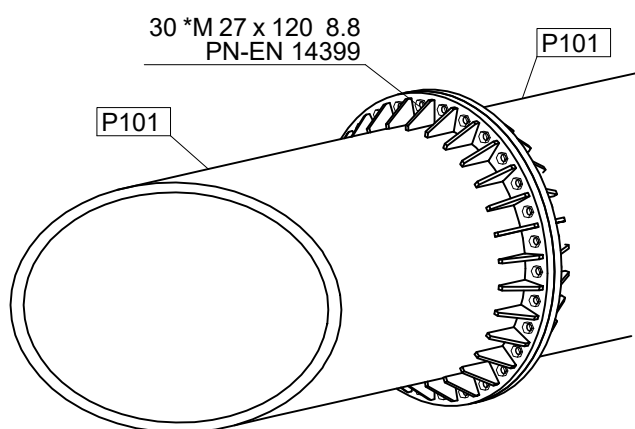
1:3000



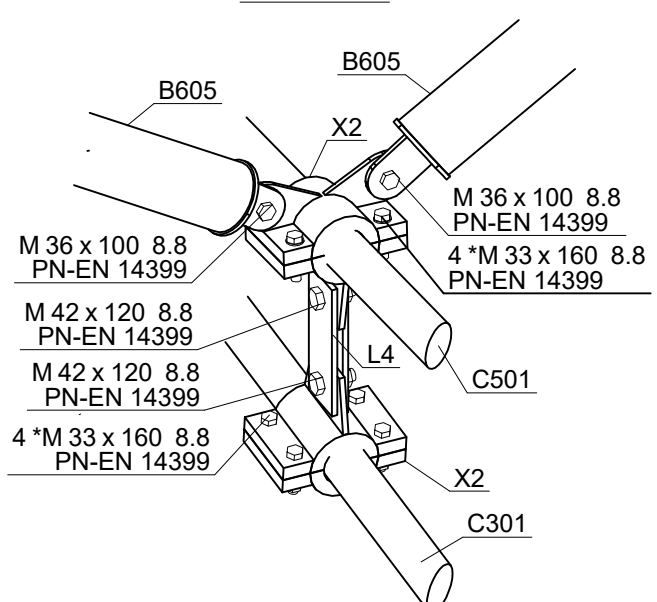
Det. A



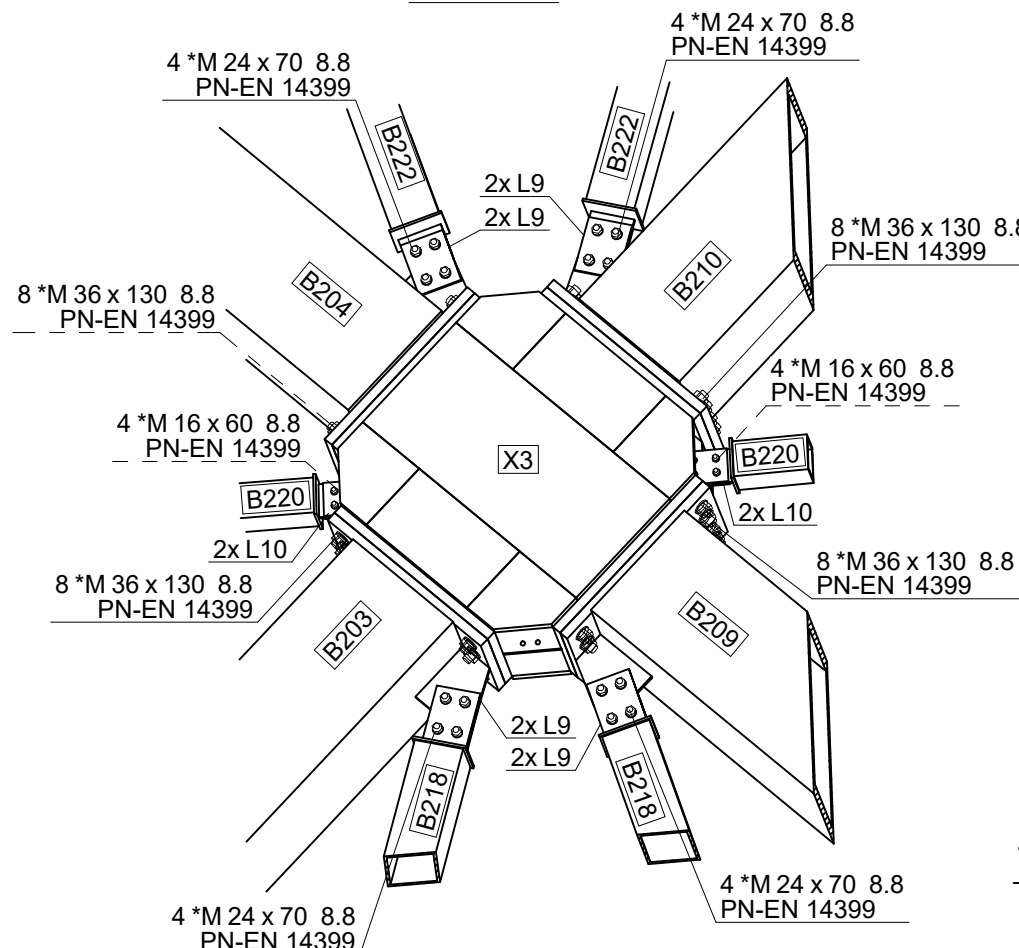
Det. B



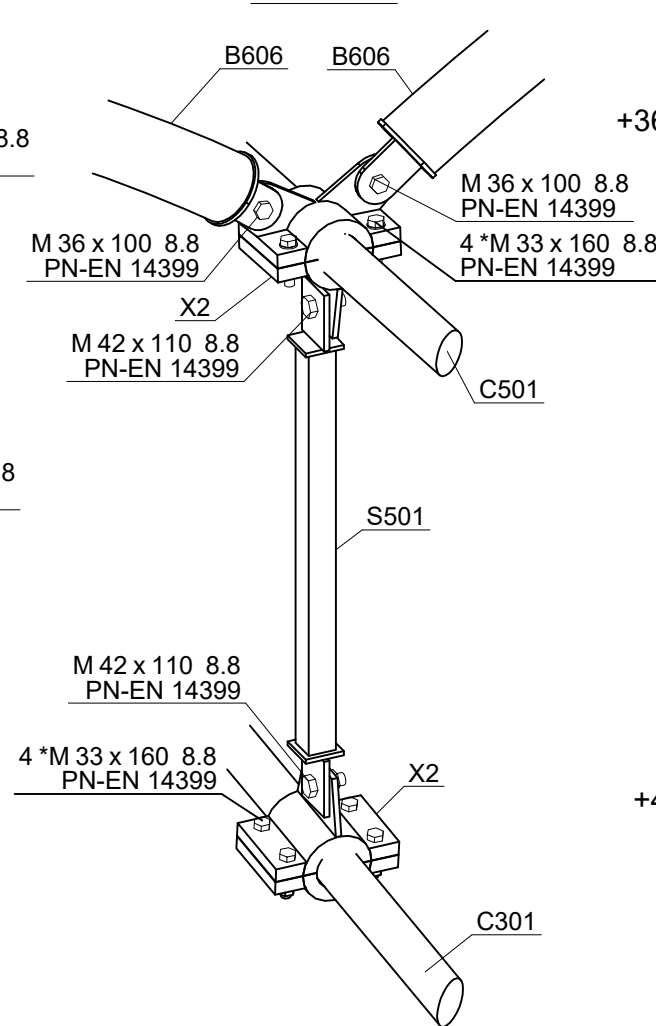
Det. C



Det. D

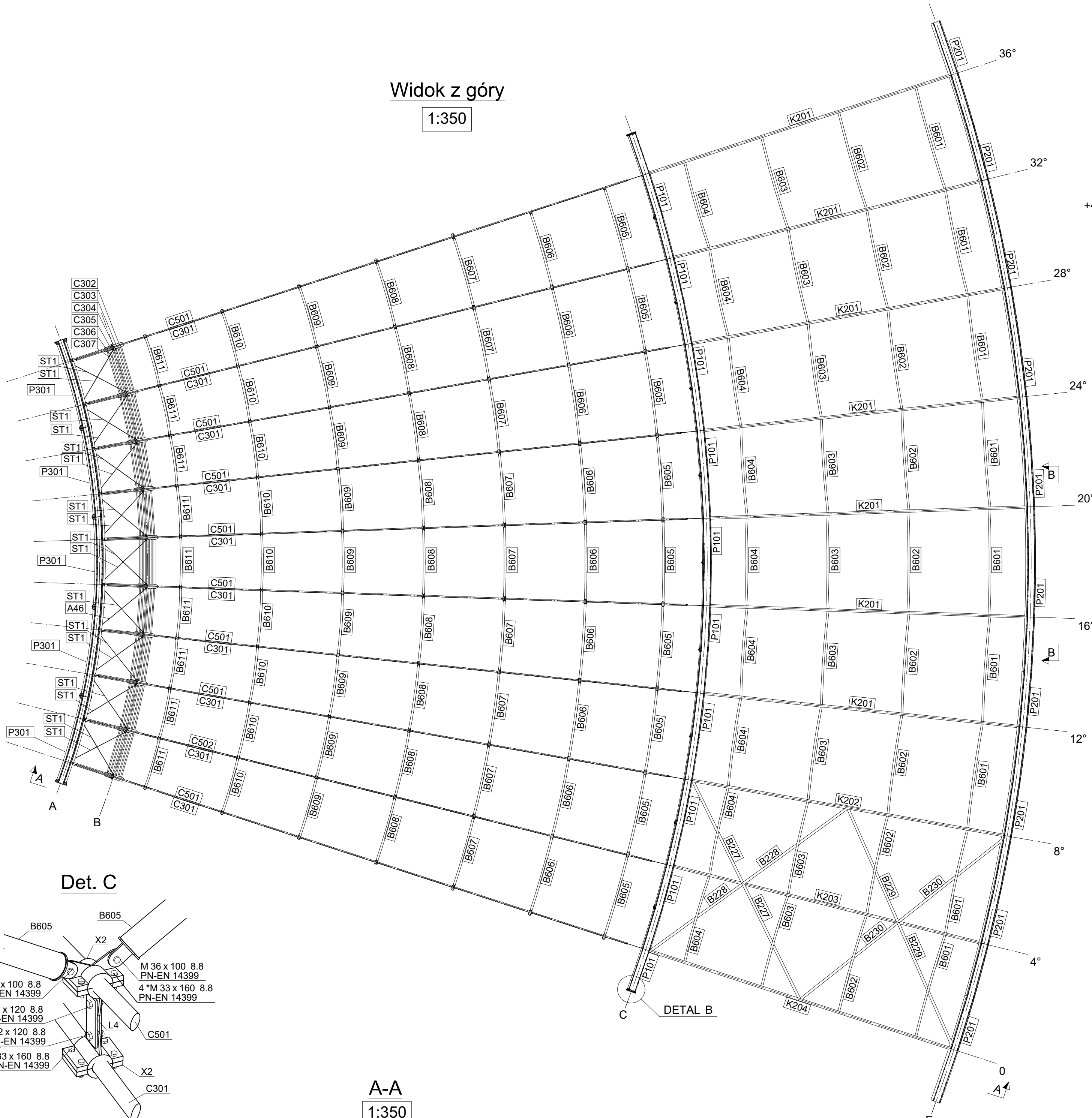


Det. E



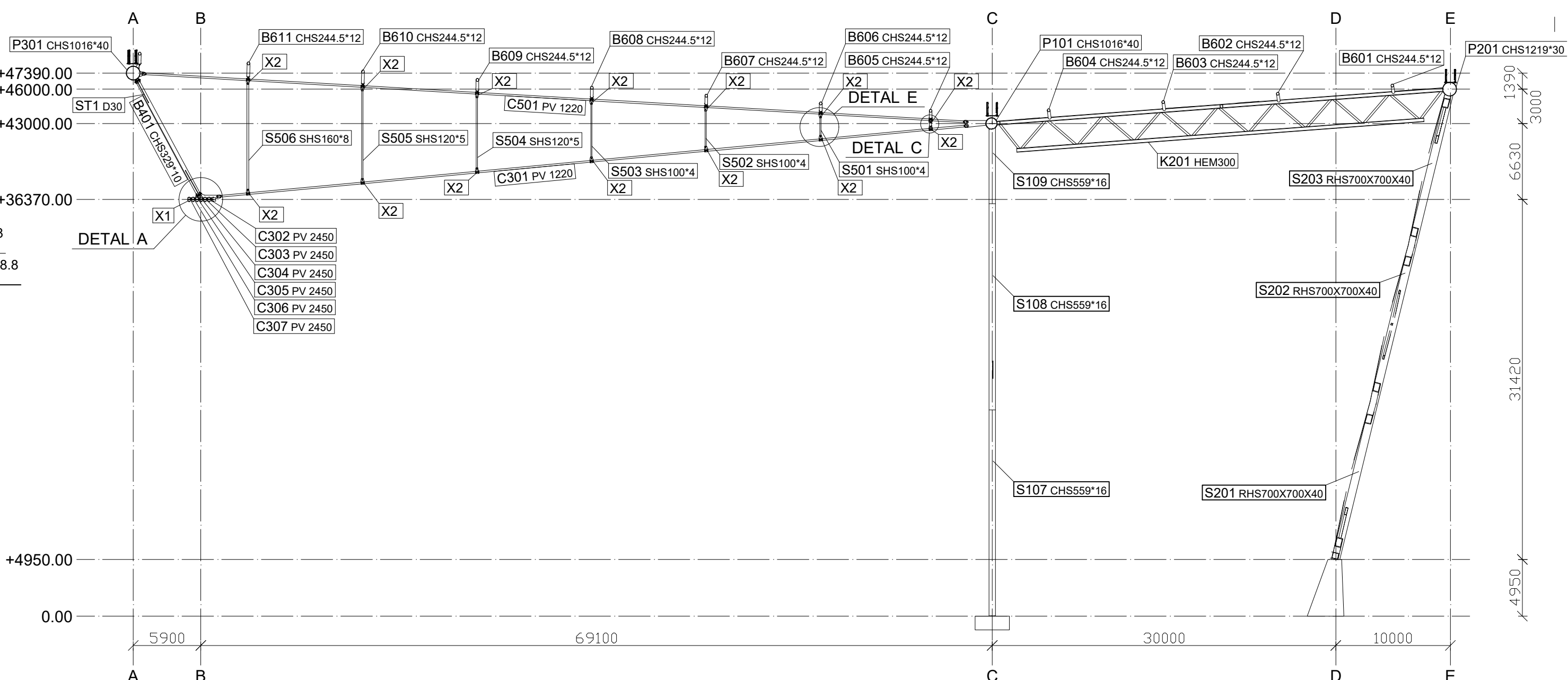
Widok z góry

1:350



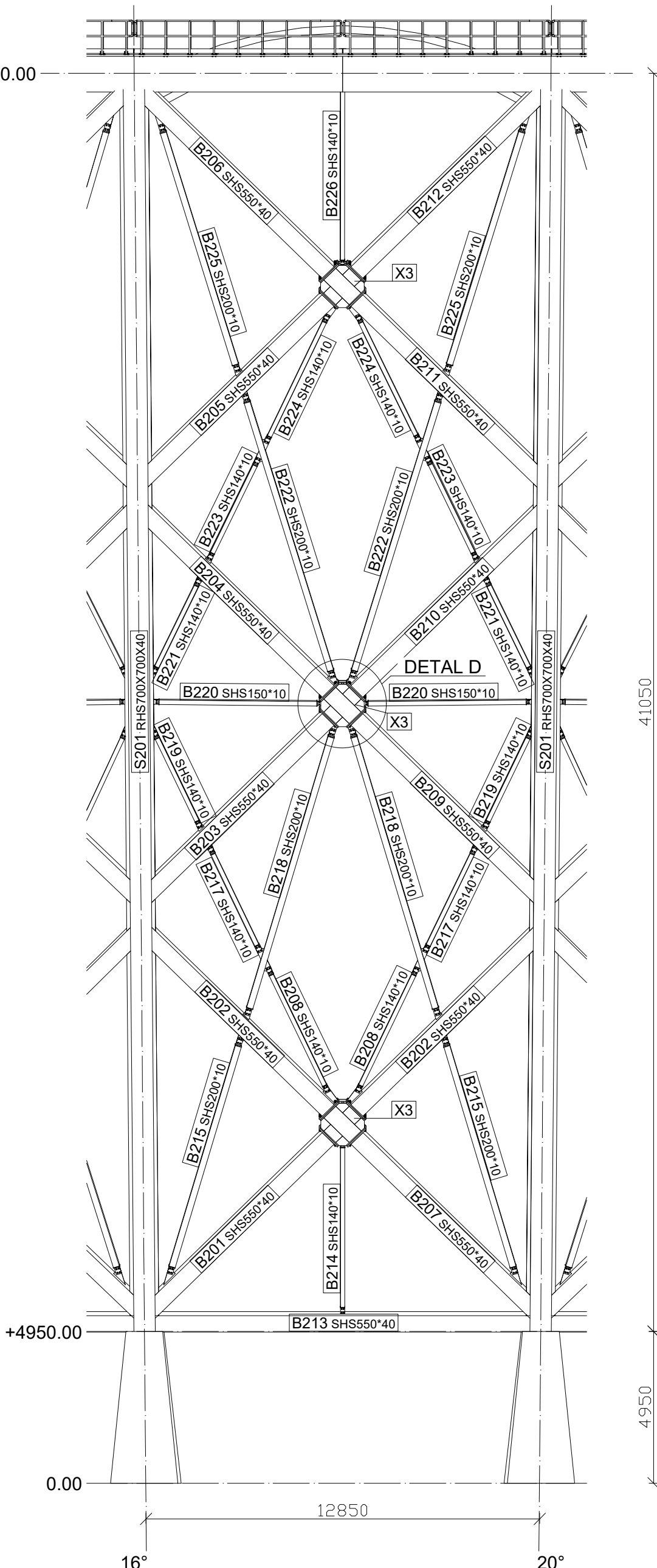
A-A

1:350



B-B

1:150



- Uwagi:
- 1 - Klasa wykonania konstrukcji EXC 3
 - 2 - Do potąceń sprężonych należy wykonać protokół sprężania
 - 3 - Wykonawca jest zobowiązany do zgłoszenia wszelkich ewentualnych rozbieżności w niniejszej dokumentacji przed przystąpieniem do prac budowlanych.
 - 4 - Należy zastosować przekładki do regulacji odchytek wykonawczych

Projekt przekrycia stadionu piłkarskiego

Rysunek zestawczo-montażowy

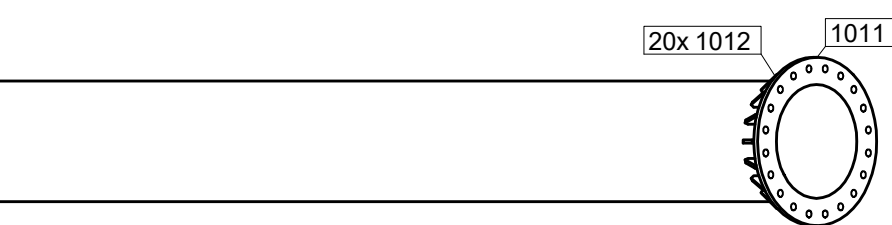
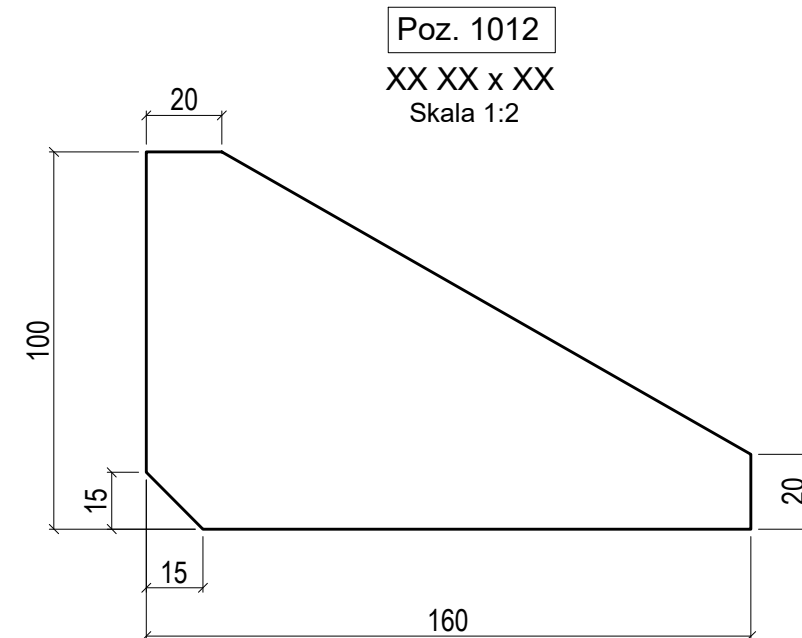
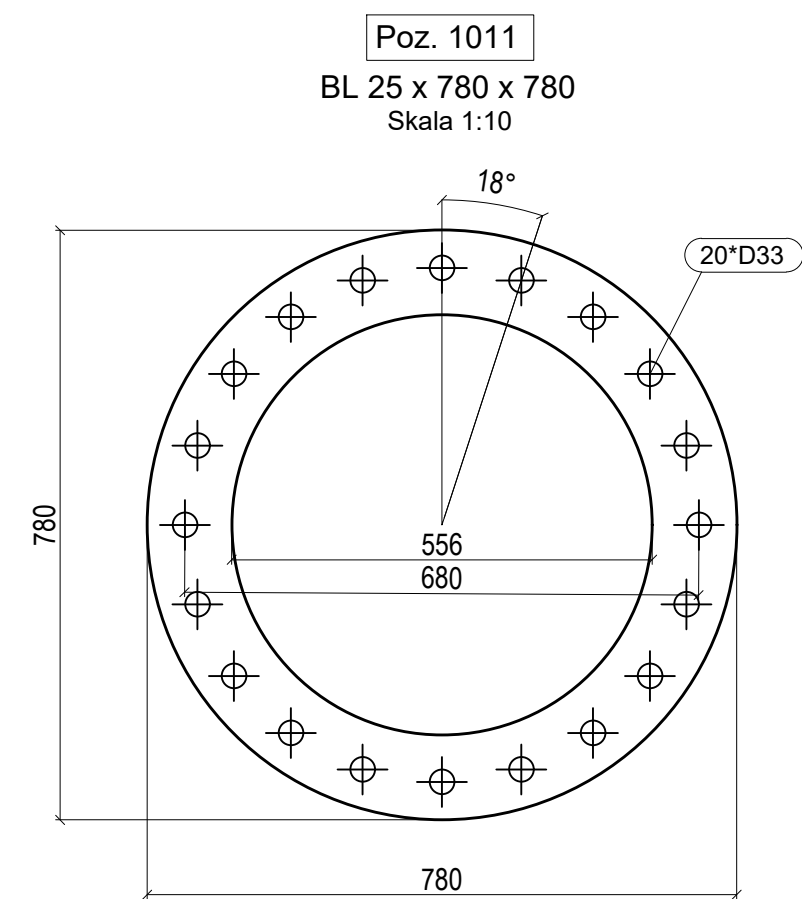
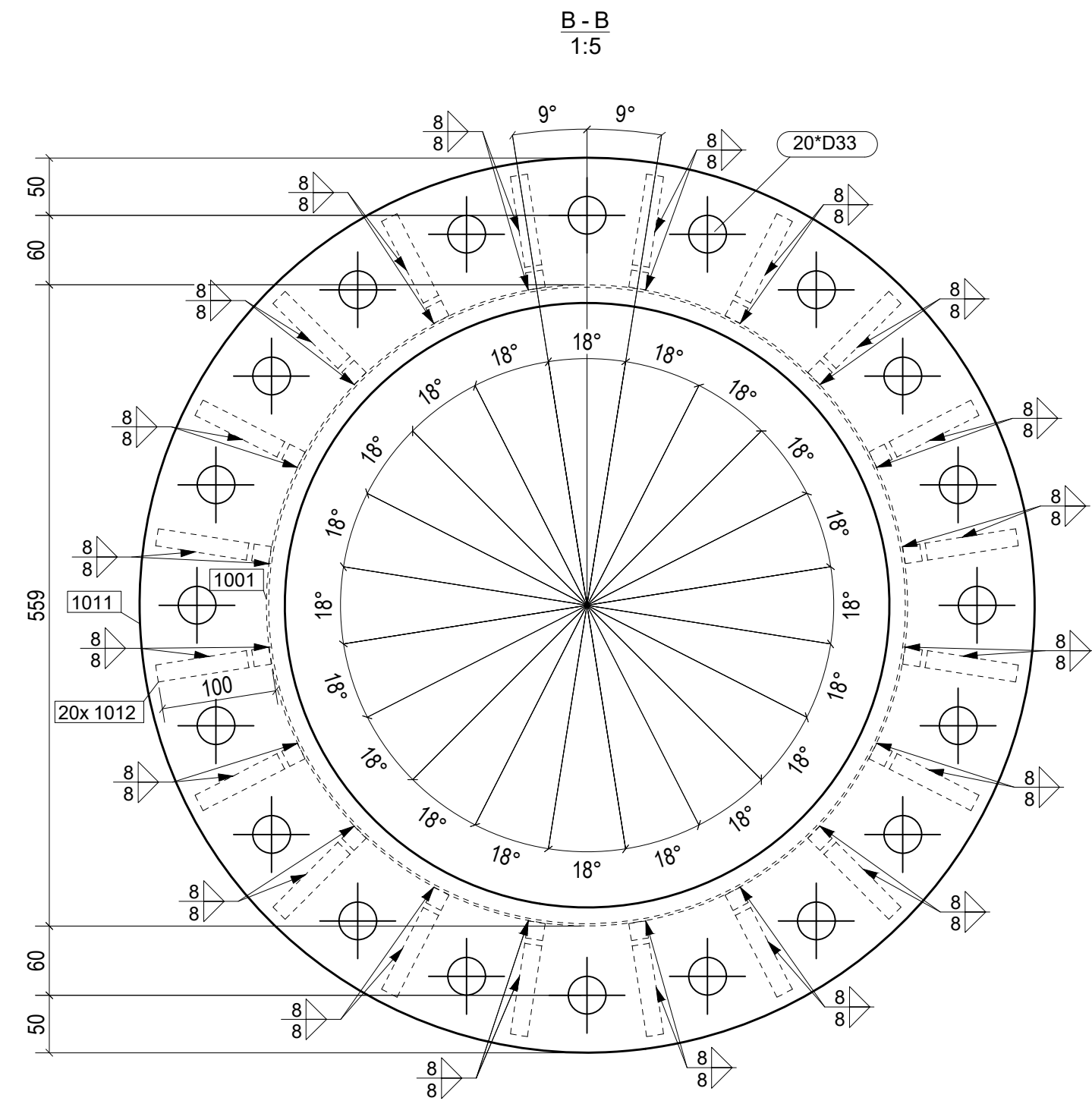
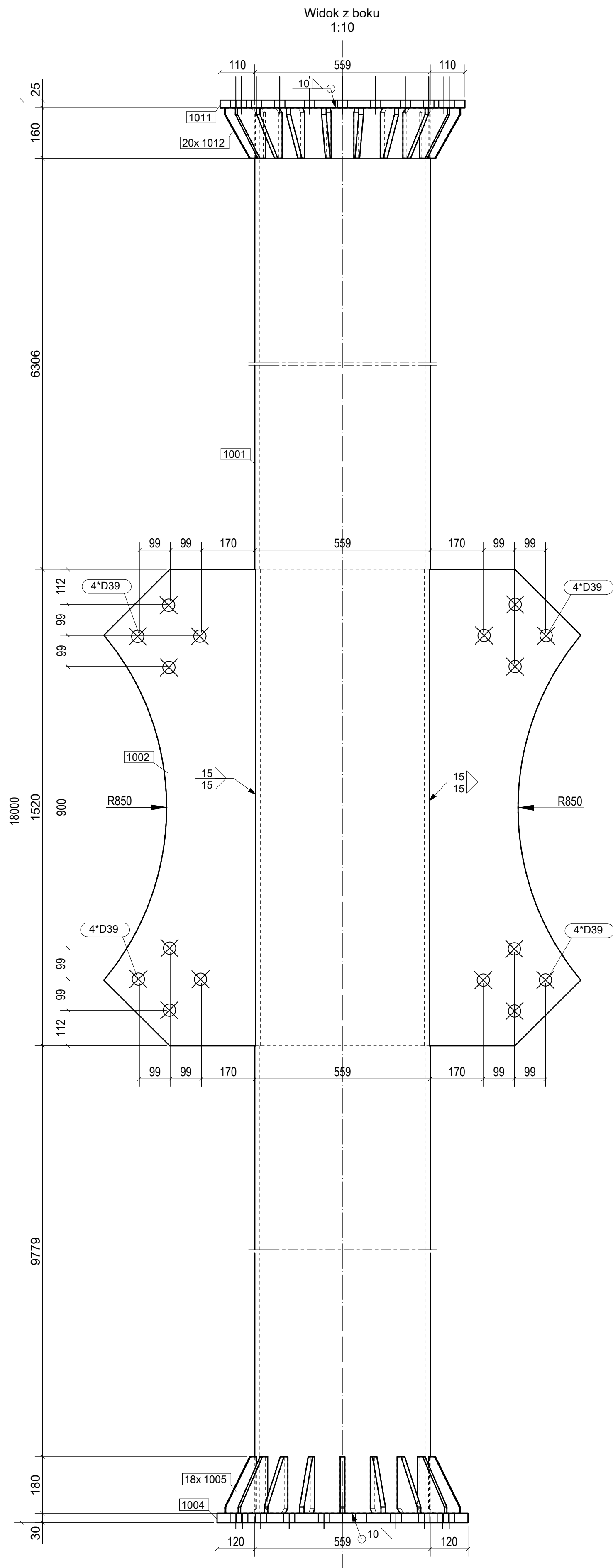
Studen	Imię i nazwisko	Data	Podpis
Opiekun	dr inż. Krzysztof Marcinczak		
Recenzent	dr hab. inż. Dariusz Czepiżak		

Skala:

1:350

Nr rys.:

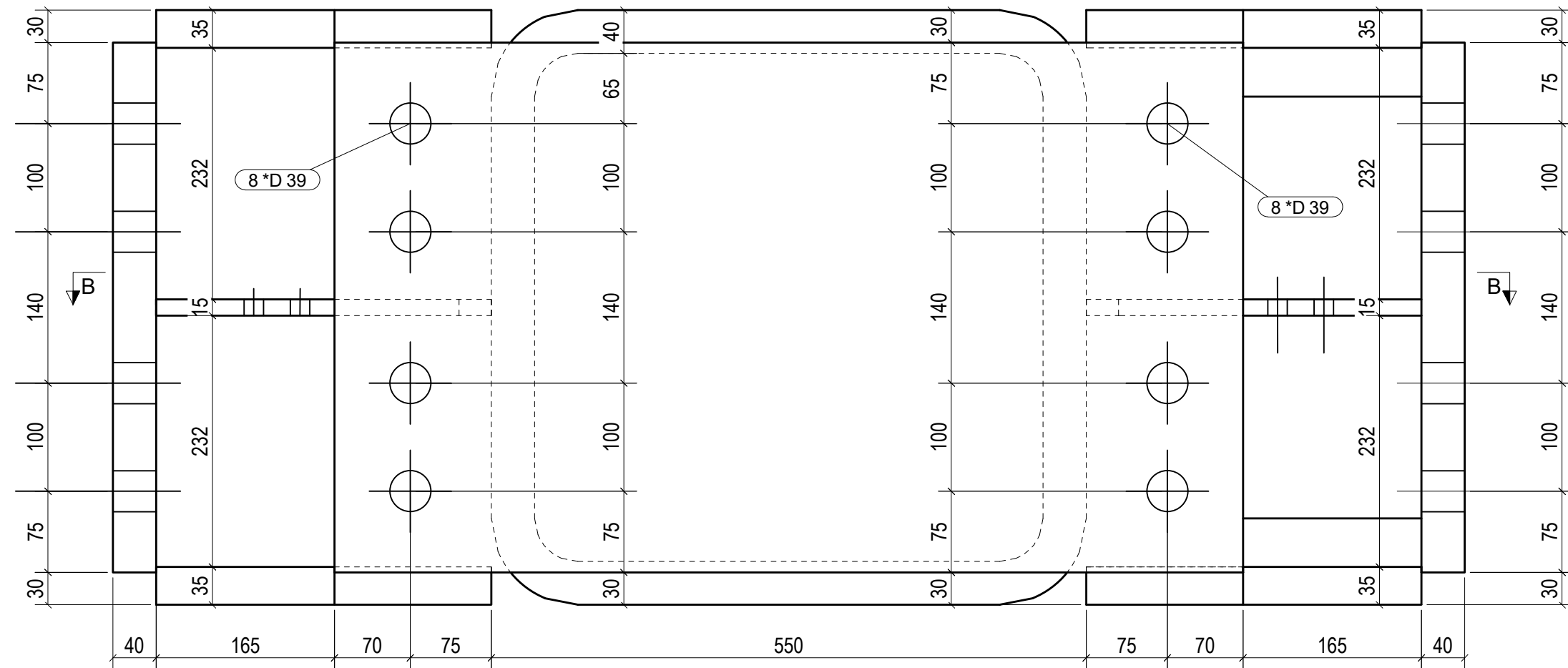
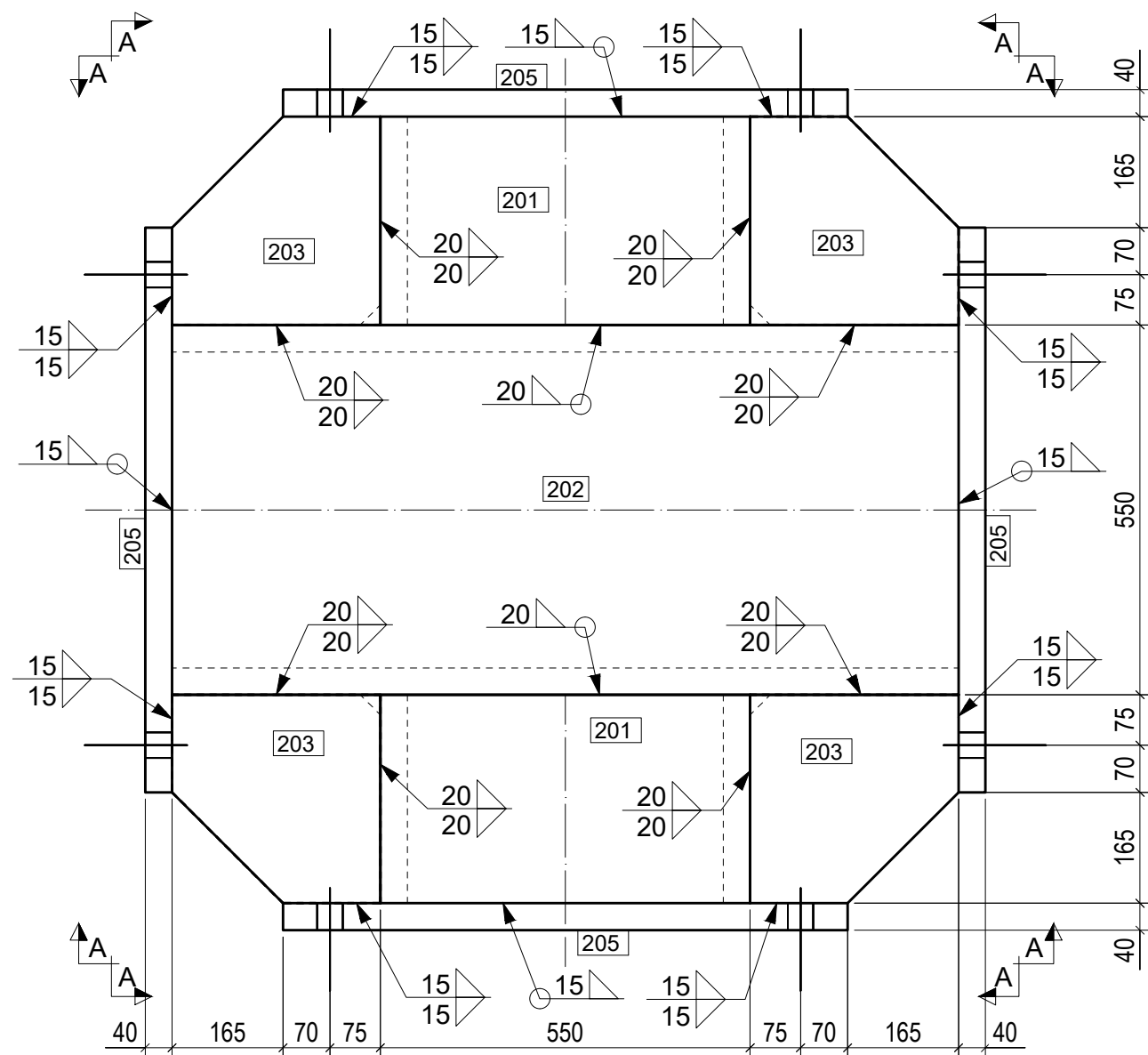
05



Projekt przekroczenia stadionu piłkarskiego				
Element wysyłkowy S104				Skala: 1:10
	Imię i nazwisko	Data	Podpis	Nr rys.: 06
Student	Mateusz Bartos			
Opiekun	dr inż. Krzysztof Marcinczak			
Recenzent	dr hab. inż. Dariusz Czepiżak			

Uwagi:

- 1 - Klasa wykonania konstrukcji - EXC 3 zgodnie z PN-EN 1090-2:2008
- 2 - Określony poziom niezgodności spawalniczych - C zgodnie z PN-EN 25817
- 3 - Dokładność wykonania konstrukcji stalowej - zgodnie z PN-EN 1090
- 4 - Konstrukcję należy zabezpieczyć jak dla klasy C4 zgodnie z PN-EN 12944
- 5 - Nieopisane spoiny czotowe należy wykonać na pełen przetop
- 6 - Nieopisane spoiny pachwinowe należy wykonać o grubości 0,7t, gdzie t oznacza grubość cieńszego z łączonych elementów



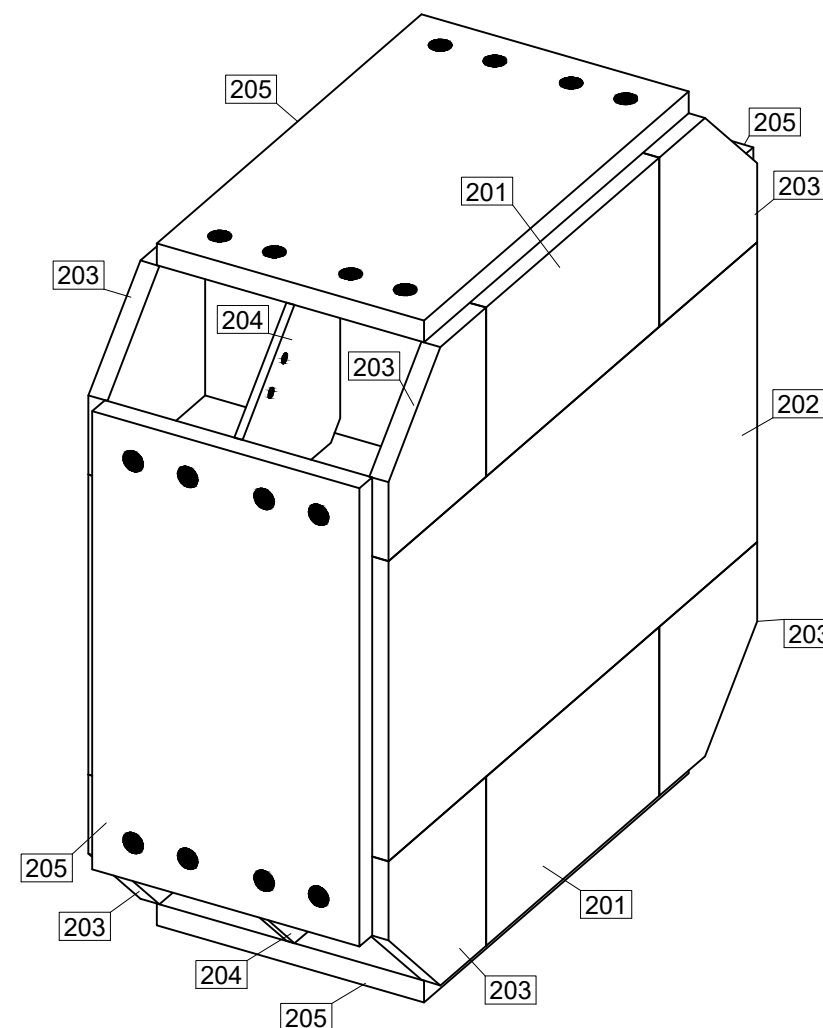
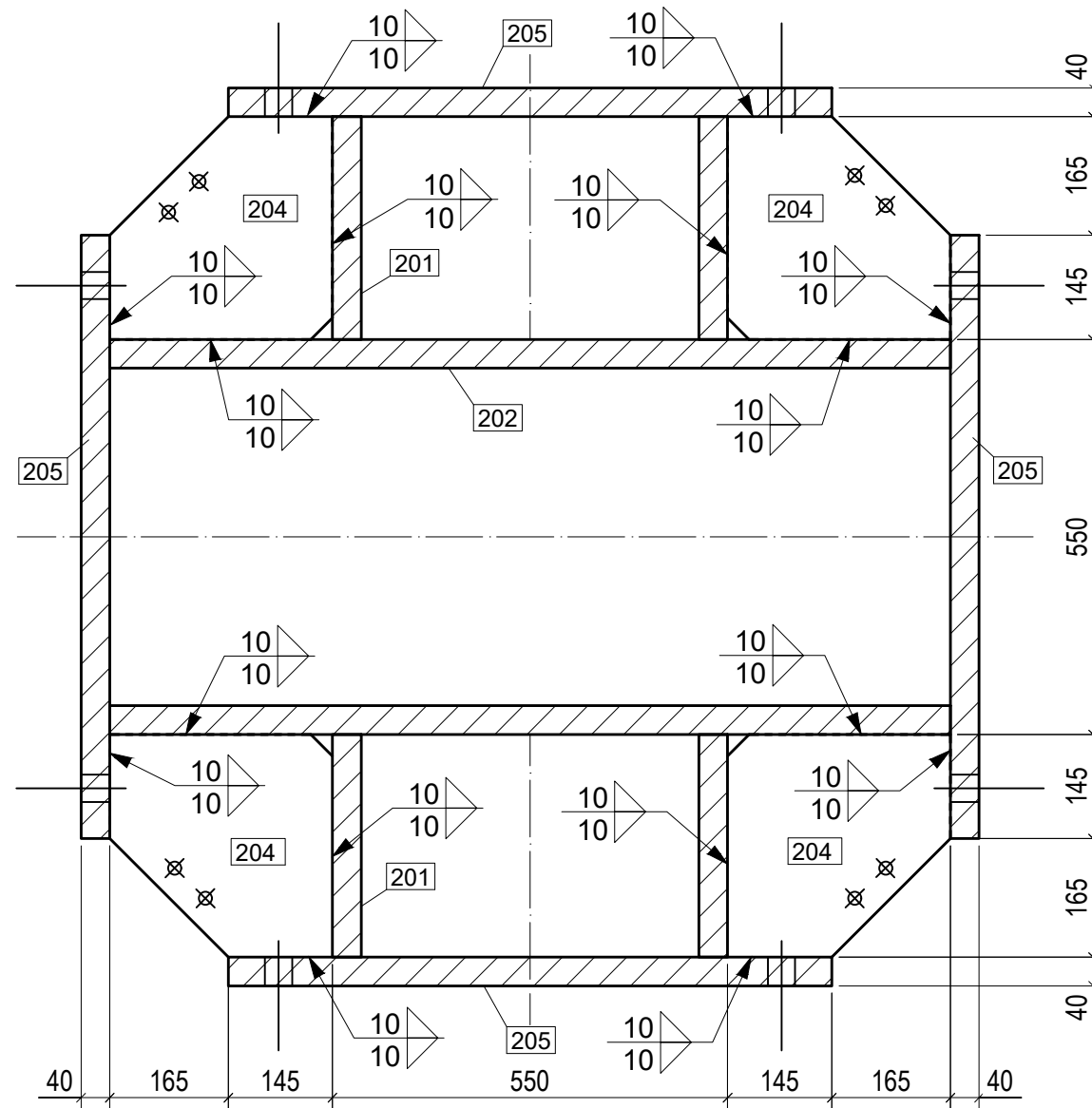
A right-angled trapezoid is shown. The top horizontal side is labeled 145. The bottom horizontal side is labeled 310. The left vertical side is labeled 310. The right vertical side is labeled 145. The top-left and bottom-left corners are right angles. The right side is a slanted line connecting the top-right and bottom-right corners.

Technical drawing of a rectangular plate with the following specifications:

- Overall width: 840
- Overall height: 490
- Inner width (between hole centers): 700
- Number of holes: 8 (labeled as 8 * D 39)
- Hole diameter: D 39
- Hole layout: 4 holes in each of two vertical columns. The vertical spacing between hole centers is 100, 140, and 100.

Technical drawing of a mechanical part with the following dimensions and features:

- Overall width: 310
- Overall height: 145
- Top-left horizontal segment: 145
- Top-right horizontal segment: 37
- Top-right vertical segment: 42
- Bottom-left horizontal segment: 30
- Bottom-left vertical segment: 30
- Right vertical segment: 145
- Right vertical segment (lower): 37
- Right vertical segment (lower): 42
- Internal hole specification: 2 * D 18
- Two holes are indicated by circles with an 'X' inside.



- 1 - Klasa wykonania konstrukcji - EXC 3 zgodnie z PN-EN 1090-2:2008
- 2 - Określony poziom niezgodności spawalniczych - C zgodnie z PN-EN 25817
- 3 - Dokładność wykonania konstrukcji stalowej - zgodnie z PN-EN 1090
- 4 - Konstrukcję należy zabezpieczyć jak dla klasy C4 zgodnie z PN-EN 12944
- 5 - Nieopisane spoiny czotowe należy wykonać na pełen przetop
- 6 - Nieopisane spoiny pachwinowe należy wykonać o grubości 0,7t, gdzie t oznacza grubość cieńszego z łączonych elementów

WYKAZ ELEMENTÓW ZESPOŁU			Długość (mm): 1250		
Zespół: X3			Ilość: 270		
Element	Profil	Materiał	Ilość	Długość (mm)	Ciepła (kg)
201	SHS550*40	S355J2	2	310	397.1
202	SHS550*40	S355J2	1	1170	749.5
203	BL35*310	S355J2	8	310	181.3
204	BL15*310	S355J2	4	310	38.6
205	BL40*490	S355J2	4	840	517.0
			Ogółem na zespół		1883.5

07

	Imię i nazwisko	Data	Podpis
Student	Mateusz Bartos		
Opiekun	dr inż. Krzysztof Marcinczak		
Recenzent	dr hab. inż. Dariusz Czepizak		