Projekt wstępny konstrukcji wsporczej dla stanowiska badawczego łopat turbin wiatrowych

Historia wersji:

v1 z dnia 31.01.2023
v2 z dnia 2.02.2023
v3 z dnia 3.02.2023
v4 z dnia 1.03.2023
v5 z dnia 4.04.2023

Autor:

Karol Niklas

Spis treści

1. Wstęp 3
2. Założenia projektowe 3
2.1 Przeznaczenie 3
2.2 Parametry techniczne obciążeń: 3
2.3 Materiały i technologia produkcji 5
2.4 Parametry funkcjonalne. 5
3. Dokumentacja techniczna 6
3.1 Opis techniczny rozwiązań konstrukcyjnych. 6
3.2 Dokumentacja techniczna rysunkowa 7
4. Produkcja konstrukcji 7
5. Montaż konstrukcji w hali laboratoryjnej 9
5.1 Montaż konstrukcji wsporczej do szyn: 9
5.2 Montaż łopaty z płytą pośrednią 10
5.3 Montaż płyty pośredniej (z przykręconą łopatą) do płyty czołowej konstrukcji wsporczej 10
6. Podnoszenie i transport 11
7. Konserwacja, przeglądy okresowe 12
8. Obliczenia wytrzymałości dla projektu technicznego 12
9. Rysunki dla wizualizacji projektu 13
10. Ograniczenia odpowiedzialności prawnej dla projektu 14

1. Wstęp

Niniejszy projekt dotyczy konstrukcji wsporczej dla stanowiska do badań łopat turbin wiatrowych. Stanowisko ma charakter prototypowy i powstaje w ramach działalności Centrum Morskiej Energetyki Wiatrowej Politechniki Gdańskiej. Planowanym miejscem uruchomienia stanowiska badawczego, wraz z konstrukcją wsporczą jest hala laboratorium Wytrzymałości Konstrukcji WIMiO PG. Projekt wykonano dla podanych poniżej założeń, choć jej charakter stwarza również możliwości znacznie szerszego zastosowania.

2. Założenia projektowe

Projekt konstrukcji wsporczej wykonany został dla następujących założeń:

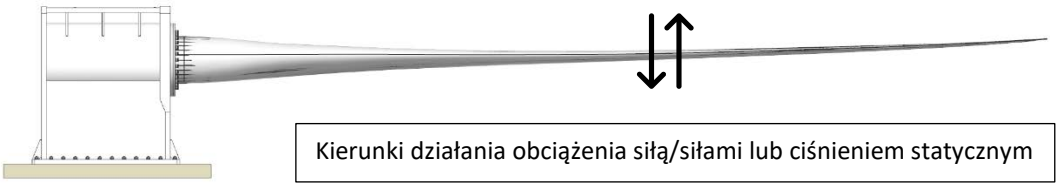
2.1 Przeznaczenie

Konstrukcja wsporcza jest elementem stanowiska badawczego służącego do badań wytrzymałościowych łopat turbin wiatrowych o długości maksymalnej 13 metrów. Badania łopat kompozytowych obejmują różne warianty obciążeń statycznych, dynamicznych i zmęczeniowych opisanych w dalszej części raportu. Każdorazowo przed przystąpieniem do badań należy opracować program badań i zweryfikować go z możliwościami realizacji na stanowisku.

2.2 Parametry techniczne obciążeń:

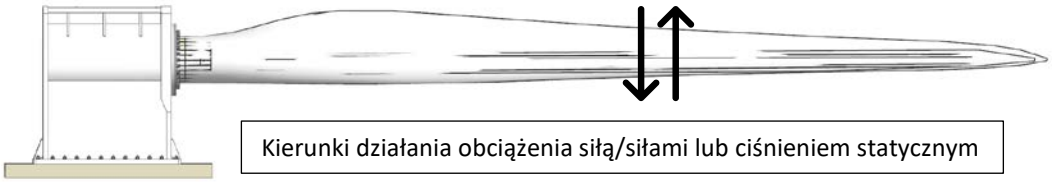
- Praca łopaty w płaszczyźnie pionowej podczas obciążeń statycznych, dynamicznych, oraz zmęczeniowych.
- Częstość obciążeń dynamicznych: 0.5 – 4 Hz.
- Liczba cykli obciążeń zmęczeniowych dla pojedynczej łopaty: nieznana, minimum 2 miliony.
- Liczba cykli obciążeń zmęczeniowych dla konstrukcji wsporczej: nieznana, minimum 10 milionów.
- Amplituda maksymalnego ugięcia końca łopaty zamontowanej w pozycji poziomej, w kierunku pionowo do góry i pionowo w dół wynosi 1m.
- Oś kołnierza montażowego i jednocześnie wzdłużnej osi łopaty ma się znajdować 1.5m ponad powierzchnią podłogi.
- Masa typowej łopaty o długości około 13 metrów wynosi 700 kg.
- Obciążenie do celów projektowych podane przez inwestora wyznaczone zostało na podstawie osobnych obliczeń ugięcia statycznego łopaty referencyjnej o długości około 14 m. Jest to siła F = 20000 N przyłożona do łopaty w odległości 10 m od kołnierza łopaty.
- **Zakłada się następujące przypadki obciążeń łopaty podczas badań:**
  A) Statyczne maksymalne ugięcie łopaty w płaszczyźnie pionowej dla konfiguracji łopaty, w której strona wysoko ciśnieniowa (nawietrzna) skierowana jest w kierunku podłogi. W nomenklaturze anglojęzycznej: Static max tip displacement flapwise direction, Pressure Side (PS) down. Obciążenie siłą skupioną lub

ciśnieniem na powierzchnie łopaty dla uzyskania ugięcia końca łopaty równego co najmniej 1 m w kierunku pionowo do góry lub pionowo w dół. Schemat obciążenia pokazano na Rys. 2.2.1.



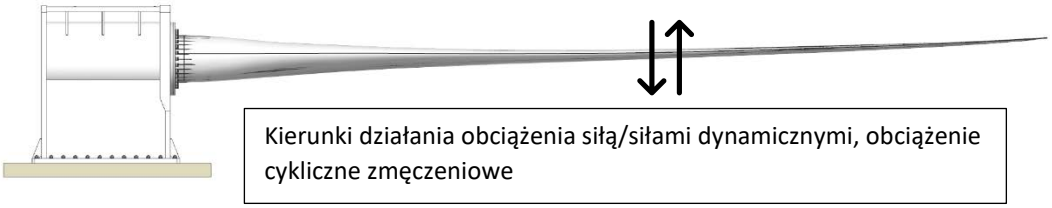
Rys. 2.2.1 – Schemat obciążenia A (static max tip displacement PS down)

B) Statyczne maksymalne ugięcie łopaty w płaszczyźnie pionowej dla konfiguracji łopaty, w której krawędź natarcia skierowana jest w kierunku podłogi. W nomenklaturze anglojęzycznej: Static max tip displacement edgewisewise direction Leading Edge (LE) down. W tej płaszczyźnie występuje znacznie większa sztywność łopaty. Obciążenie siłą skupioną lub ciśnieniem na powierzchnie łopaty dla uzyskania ugięcia w kierunku pionowo do góry lub pionowo w dół. Schemat obciążenia pokazano na Rys. 2.2.2.



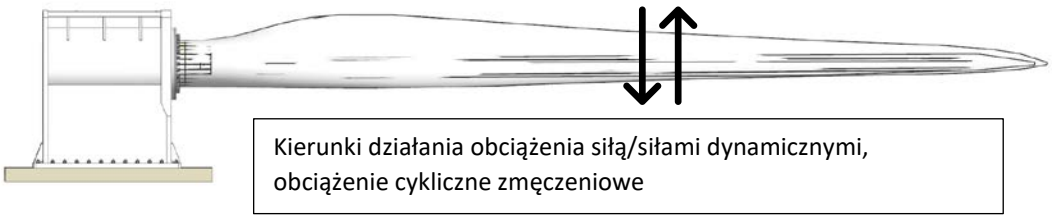
Rys. 2.2.2 – Schemat obciążenia B (static max tip displacement LE down)

C) Obciążenia zmęczeniowe dla zginania łopaty w płaszczyźnie pionowej dla konfiguracji łopaty, w której strona wysoko ciśnieniowa (nawietrzna) skierowana jest w kierunku podłogi (PS down). Schemat obciążenia pokazano na Rys. 2.2.3. Amplituda ugięcia końca łopaty wynosi 1 m w kierunku pionowo do góry lub pionowo w dół.



Rys. 2.2.3 – Schemat obciążenia C (fatigue PS down)

D) Obciążenia zmęczeniowe dla zginania łopaty w płaszczyźnie pionowej dla konfiguracji łopaty, w której krawędź natarcia skierowana jest w kierunku podłogi (LE down). Schemat obciążenia pokazano na Rys. 2.2.4.



Rys. 2.2.4 – Schemat obciążenia D (fatigue LE down)

- Dla analizy weryfikacji wytrzymałości konstrukcji wsporczej należy przyjąć wskazane powyżej schematy obciążeń i wartości obciążeń dla najbardziej wymagającej łopaty przewidzianej do badań.

2.3 Materiały i technologia produkcji.

W oparciu o analizę rozwiązań podobnych i badania rynku wykonane przez inwestora wybrano rozwiązanie konstrukcji stalowej spawanej. Jest to produkt jednostkowy i prototypowy. Jako materiał wytypowano stal niestopową konstrukcyjną S355J2+N. Materiał ten jest łatwo dostępny, relatywnie tani, łatwo spawalny oraz obrabialny technologicznie. Ponadto w pobliżu miejsca inwestycji znajdują się firmy produkcyjne wyspecjalizowane w produkcji stoczniowej i zdolne do wytworzenia projektowanej konstrukcji. Dla płyty pośredniej zewnętrznej dobrano materiał zgodny z wymaganiami DNV Grade D690.

2.4 Parametry funkcjonalne.

- Mocowanie łopaty z konstrukcją wsporczą uwzględnia możliwość obrotu łopaty wokół własnej osi wzdłużnej co najmniej w czterech pozycjach, co 90 stopni.
- Mocowanie łopaty do konstrukcji wsporczej odbywa się poprzez płyty pośrednie i połączenia śrubowe kołnierzowe.
- Dopuszcza się możliwość wymiany połączeń śrubowych i płyt pośrednich po określonej liczbie cykli obciążeń.
- Zadawanie obciążenia na łopatę planowane jest poprzez montaż na łopacie wirującej masy, lub poprzez siłowniki hydrauliczne, lub w inny sposób.
- Wymagany jest dostęp do wnętrza zamontowanej łopaty w trakcie badań poprzez otwór w płycie czołowej na potrzeby poprowadzenia kabli urządzeń pomiarowych i inspekcji wizualnej konstrukcji wewnątrz łopaty. Nie podano wymagań dla średnicy otworu w płycie czołowej i otworu komunikacyjnego. Do celów projektowych przyjęto otwór w płycie czołowej o średnicy fi=300mm. Do celów projektowych przyjęto otwór komunikacyjny w ścianie tylnej konstrukcji o wymiarach 1200x600mm. Jest to standardowy i relatywnie duży otwór komunikacyjny stosowany w branży offshore.
- Określono miejsce montażu w hali laboratoryjnej Wytrzymałości Konstrukcji WIMIO PG do podłogi i istniejących szyn zakotwiczonych w płycie fundamentowej hali. Montaż poprzez połączenia śrubowe.

3. Dokumentacja techniczna

3.1 Opis techniczny rozwiązań konstrukcyjnych.

Konstrukcja wsporcza zaprojektowana została jako spawana z blach stalowych podwyższonej wytrzymałości S355J2+N. Grubości blach wynoszą: 30, 50, 70, 150 mm. Płyta pośrednia wewnętrzna wykonana jest z blachy stalowej S355J2+N o grubości 40 mm i średnicy zewnętrznej 1050 mm. Płyta pośrednia zewnętrzna wykonana jest z blachy zgodnej z DNV Grade D690 o grubości 30 mm i średnicy zewnętrznej 1050 mm.

Połączenie konstrukcji wsporczej w miejscu pracy zaprojektowano w formie połączeń śrubowych kotwami młotowymi. Śruby młotowe M30 zgodnie z DIN 261, PN-82424 łączą blachę podstawy konstrukcji wsporczej z szynami zabetonowanymi na stałe w płycie fundamentowej hali laboratorium wytrzymałości konstrukcji WIMIO PG. Napięcie wstępne śrub młotowych dobrano jako 10kN. Napięcie wstępne (np. poprzez moment obrotowy) powinny być kontrolowane w trakcie pracy konstrukcji w odstępach co najmniej 100 tys. cykli obciążenia lub raz w miesiącu w zależności od tego które z kryteriów spełnione będzie jako pierwsze. Śruby najbardziej wytężone powinny być okresowo wymieniane co najmniej co 1 milion cykli. Dotyczy to szczególnie 4 śrub znajdujących się w narożnikach blachy podstawy konstrukcji wsporczej. Aby zrealizować wymianę tych śrub bez podnoszenia konstrukcji należy zastosować śruby dwustronne M30 zgodnie z DIN2510 L z nakrętkami z obu stron. Od strony szyn funkcję podkładki spełnia prostokątna blacha o grubości 20 mm i wymiarach 60 x 70mm z otworem przelotowym o średnicy d = 33 mm.

Montaż łopaty do konstrukcji wsporczej odbywa się poprzez płyty pośrednie z dwóch blach w kształcie okręgu o średnicy 1050 mm. Blacha o grubości t = 40 mm pełni rolę dystansu umożliwiając schowanie wewnątrz nakrętek śrub M24. Druga blacha o grubości t = 30 mm pełni funkcję przeniesienia obciążenia z kołnierza łopaty na kołnierz płyty czołowej konstrukcji wsporczej. Łopata z płytą pośrednią połączona jest poprzez kołnierz 28 śrub dwustronnych M24 (8.8) zgodnie z DIN2510 L, rozmieszczonych na okręgu o średnicy 600 mm. Napięcie wstępne śrub M24: 0.6Re, co odpowiada napięciu wstępnemu śrub F=125kN. Montaż płyty pośredniej do płyty czołowej konstrukcji wsporczej odbywa się poprzez kołnierz 28 śrub dwustronnych M30 (8.8) zgodnie z DIN2510 L, rozmieszczone na okręgu o średnicy 800 mm. Napięcie wstępne śrub M30: 0.6Re, co odpowiada napięciu wstępnemu śrub F=200 kN. Połączenia śrubowe kołnierzowe powinny być w trakcie badań kontrolowane pod względem napięcia wstępnego (np. poprzez moment obrotowy) w odstępach co najmniej 18 tys. cykli obciążenia lub raz w miesiącu w zależności od tego które z kryteriów spełnione będzie jako pierwsze. Śruby najbardziej wytężone powinny być okresowo wymieniane co najmniej co 500 tys. cykli dla obciążenia kołnierza łopaty momentem My = 200 kNm. Dla połączeń kołnierzowych 28 x M24 (D = 600 mm) i 28 x M30 (D = 800 mm) dotyczy to najbardziej obciążonych 5 śrub u góry i u 5 śrub u dołu dla każdego z kołnierzy. Podobnie, elementem który się zużywa w trakcie pracy konstrukcji i powinien być okresowo wymieniany jest płyta pośrednia t = 30 mm przenosząca obciążenia z kołnierza łopaty na kołnierz płyty czołowej. Dla obciążenia momentem gnącym kołnierza łopaty równym My=200 kNm, maksymalna liczba cykli obciążeń po których należy wymienić zewnętrzną płytę pośrednią t = 30 mm wynosi 1 milion. Częstotliwość wymiany tych elementów może zostać zmniejszona na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych stanowiska i w oparciu o osobne analizy wytrzymałościowe.

Wewnątrz konstrukcji wsporczej powinien zostać wykonany greting antypoślizgowy zgodnie z normą DIN 24537, lub inny o zbliżonych parametrach technicznych. Wysokość gretingu powinna wynosić 50 mm z uwagi na potrzebę schowania pod nim śrub. Można stosować inne zabezpieczenie podłogi w porozumieniu z inwestorem.

3.2 Dokumentacja techniczna rysunkowa.

Projekt techniczny wykonany został w formie rysunków i modeli CAD stanowiących załączniki:

Zał. 3.2.1 – Ogólny rysunek techniczny konstrukcji wsporczej

Zał. 3.2.2 – Płyty pośrednie UWAGA: Przed wykonaniem płyty pośredniej wewnętrznej i zewnętrznej należy zweryfikować położenie i wymiar otworów kołnierza 28 x M24 mocującego łopatę.

Zał. 3.2.3 – Podnoszenie i położenie środka ciężkości konstrukcji (COG)

Zał. 3.2.4 – Rysunek poglądowy

Zał. 3.2.5 – Model CAD 3D konstrukcji wsporczej.

4. Produkcja konstrukcji

Projekt wykonawczy konstrukcji powinien zostać wykonany przez firmę produkcyjną z uwzględnieniem jej możliwości technicznych. Z uwagi na przeznaczenie konstrukcji spełnione powinny zostać co najmniej poniższe wymagania jakościowe:

a) Materiał.
   - Materiał dla konstrukcji i płyty pośredniej wewnętrznej t=40mm: Stal S355J2+N z atestem 3.1 zgodnie z PN-EN 10025-2:2019-11.
   - Materiał dla płyty pośredniej zewnętrznej t=30mm: Stal DNV Grade D690 (DH690,NV D690) z atestem 3.1 zgodnie z PN-EN 10025-2:2019-11

b) Spawanie.
   - Wszystkie spoiny na pełen przetop.
   - Wykonanie wg EN 1090-2, klasa EXC3.
   - Wymagania jakości dotyczące spawania materiałów metalowych wg EN ISO 3834-2.
   - Klasa jakości B wg PN-EN ISO 5817.
   - Badania nieniszczące NDT dla spoin: 100% VT (badania wizualne), 100% MT (badania magnetyczno-proszkowe), 100% UT (Badania ultradźwiękowe).

c) Tolerancje wykonania, inne wymagania:

- Otwory w płycie czołowej t = 150 mm: tolerancja liniowa położenia 0,25 mm; Klasa tolerancji H13.
- Otwory w płycie pośredniej t = 40 mm i t = 30 mm o średnicy D = 1050 mm: tolerancja liniowa położenia 0,25 mm; Klasa tolerancji H13.
- Współosiowość otworów w płycie czołowej t = 150 mm, płycie pośredniej t = 40 mm o średnicy D = 1050 mm płycie pośredniej t = 30 mm o średnicy D = 1050 mm wynosi 0.5 mm;
- Otwory w płycie podstawy t = 70 mm: tolerancja liniowa położenia 1 mm.
- Powierzchnia płyty czołowej t = 150 mm w rejonie połączenia z płytą pośrednią D=1050 mm: tolerancja płaskości powierzchni 0,2 mm i tolerancja równoległości powierzchni 0,2 mm.
- Powierzchnie styku dla płyty pośredniej t = 40 mm i płyty pośredniej t = 30 mm: tolerancja płaskości powierzchni 0,2 mm i tolerancja równoległości powierzchni 0,2 mm.
- Powierzchnia dolna blachy podstawy t = 70 mm: tolerancja płaskości 2 mm.
- Chropowatość powierzchni blachy pośredniej zewnętrznej t=30mm: Ra = 3,2µm lub mniejsza zgodnie z EN ISO 4287 i EN ISO 4288. Dotyczy również powierzchni wewnętrznej otworów. Wszystkie krawędzie zaokrąglić na Rmin=2 mm.

d) Redukcja naprężeń wewnętrznych w konstrukcji.
Z uwagi na przeznaczenie konstrukcji do pracy pod obciążeniami zmęczeniowymi wysokocyklowymi wymagane jest zredukowanie naprężeń wewnętrznych w materiale i w szczególności w spoinach. Konstrukcja po zakończonych pracach prefabrykacyjnych, w szczególności wszystkich pracach spawalniczych, powinna zostać poddana wyżarzaniu odprężającym wg PN-93/H-01200. Parametry techniczne procesu wyżarzanie powinny zostać określone przez wykonawcę zgodnie z obecnym stanem wiedzy i dobrą praktyką dla uzyskania możliwie niskich naprężeń wewnętrznych w konstrukcji.

e) Ochrona antykorozyjna.
Pracę i przechowywanie konstrukcji zakłada się wewnątrz zadaszonego i ogrzewanego pomieszczenia w hali laboratoryjnej. Proponuje się dobranie systemu malarskiego dla kategorii korozyjności C2 i okresu trwałości 15 lat zgodnie z PN-EN ISO 12944. Wszystkie swobodne krawędzie blach zaokrąglić na r = 2 mm. Zaleca się wykonanie powłok malarskich metodą natryskową lub proszkową zgodnie ze specyfikacją techniczną producenta systemu malarskiego.
Greting wewnątrz konstrukcji powinien być zabezpieczony antykorozyjnie poprzez cynkowanie ogniowe zgodnie z normą EN ISO 1461.

Spełnienie wymagań jakościowych powinno zostać udokumentowane zgodnie z obowiązującymi normami przedmiotowymi. Dokumentacja ta powinna zostać przekazana inwestorowi.

Ponadto, z uwagi na prototypowy charakter konstrukcji wsporczej i chęć wykorzystania jej również jako obiektu badawczego istnieje potrzeba dostępu do następujących danych:

- projekt wykonawczy: rysunki warsztatowe, opis technologii produkcji,

- szczegółowe informacje o technologii spawania: certyfikaty materiałowe stali, WPS, kolejność spawania,

- informacje o zastosowanym procesie wyżarzania odprężającego: raport od wykonawcy.

- pełna dokumentacja z badań NDT.

- raport dla weryfikacji powykonawczej dotyczącej wymiarów konstrukcji

- raport dla weryfikacji spełnienia tolerancji wykonania

- raport pomiaru chropowatości powierzchni dla blachy pośredniej zewnętrznej.

Wykonawca w umowie obejmującej produkcję powinien zostać zobligowany do udostępnienia tych danych technicznych z uwagi na ich silny wpływ na zjawiska zmęczenia złączy spawanych w konstrukcji wsporczej.

5. Montaż konstrukcji w hali laboratoryjnej

Montaż konstrukcji z płytą fundamentową hali laboratoryjnej odbywa się poprzez śruby młotowe M30 zgodnie z DIN 261, PN-82424 o długości l = 130 mm. Długość całkowita śrub (l+k) wynosi 150 mm. Liczba śrub: 39 szt. Stosować podkładki zapobiegające luzowaniu się śrub: M30 typu HEICO-LOCK® Wedge Lock Washer (HLB large bearing surface) lub inne o analogicznych właściwościach. Napięcie wstępne śrub młotowych: 10 kN.

5.1 Montaż konstrukcji wsporczej do szyn:

1) Przygotować podłogę hali w miejscu montażu konstrukcji wsporczej zapewniając równomierne podparcie na całej powierzchni blachy podstawy. Możliwe jest wykonanie montażu na specjalnie dobranej wylewce w technologii „na mokro". Wybór materiału wylewki i technologię jej wykonania należy zlecić wyspecjalizowanej w tego typu rozwiązaniach firmie. Technologia przygotowania podłoża nie jest przedmiotem niniejszego projektu. Pomierzona niwelatorem odchyłka płaskości szyn wbetonowanych w podłogę wynosi +- 2mm na odległości 2 m. Posadzka betonowa pomiędzy szynami w miejscach, gdzie wystaje ponad powierzchnię szyn może wymagać usunięcia mechanicznego. Szyny w miejscach nierównej powierzchni wymagają szlifowania. Rowki w szynach wymagają oczyszczenia z zabrudzeń.
2) Powierzchnię śrub i szyn, oraz powierzchni stykowych oczyścić z widocznych zabrudzeń i odtłuścić np. rozpuszczalnikiem uniwersalnym.
3) Wytrasować położenie konstrukcji wsporczej na podłodze z dokładnością +-1 mm.
4) Konstrukcję postawić na 4 podporach o wysokości minimum 400mm i nośności min. 2.5 t każda.
5) Oznaczyć górne powierzchnie śrub młotowych aby rozpoznawać położenie młota bez dostępu wizualnego.
6) Umieścić śruby młotowe w otworach płyty dolnej konstrukcji wkładając je od dołu ku górze i zamocować lekkim dokręceniem w pozycji młota obróconej o 90 stopni w stosunku do przewidzianej pracy kotwy. Skontrolować położenie śrub przy pomocy

oznaczeń na ich górnych powierzchniach w stosunku do krawędzi najbliższych blach. W razie potrzeby użyć standardowych urządzeń pomiarowych.

7) Opuścić konstrukcję w miejsce montażu i ustawić względem wytrasowanych wcześniej linii. Zwrócić uwagę na konieczność umieszczenia młotów w szczelinie pomiędzy szynami.
8) Poluzować nakrętki śrub młotowych, opuścić śruby i obrócić o 90 stopni do pozycji pracy kotwy. Skontrolować położenie młotów względem szyn przy pomocy oznaczeń na górnej powierzchni śrub.
9) Dokręcić śruby młotowe do uzyskania napięcia wstępnego 10kN. Ponownie skontrolować położenia młotów kotw względem szyn w oparciu o oznaczenia na górnej powierzchni śrub i najbliższych krawędzi blach. W razie potrzeby użyć przyrządów mierniczych. Dłuższy bok młota śruby po zakończonym montażu powinien być pod kątem 90 stopni do osi szyn z maksymalną dopuszczalną odchyłką +- 2 stopnie. Do kontroli położenia śrub można posłużyć się również specjalnie przygotowanym szablonem.

5.2 Montaż łopaty z płytą pośrednią

Montaż łopaty z płytą pośrednią odbywa się poprzez połączenie kołnierzowe 28 śrub dwustronnych M24 (8.8) zgodnie z DIN2510 L, rozmieszczonych na okręgu o średnicy 600 mm. Napięcie wstępne śrub M24: 0.6Re, co odpowiada napięciu wstępnemu śrub F=125kN. Długość śrub wynosi l=190 mm (zgodnie z oznaczeniem wymiarów w normie DIN2510 L).

Śruby należy dokręcać kluczem dynamometrycznym zgodnie z instrukcją podaną przez producenta śrub. Kolejność dokręcania pierwszych 4 śrub odbywa się na przemian po przeciwnej stronie kołnierza w sekwencji „na krzyż". Następnie przesunięcie o jedną śrubę zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara i ponownie dokręcenie 4 śrub w sekwencji „na krzyż" i tak dalej.

Należy stosować podkładki i nakrętki zapobiegające odkręceniu się śrub podczas obciążeń dynamicznych. Proponuje się zastosowanie nakrętek dostarczonych wraz z śrubami dwustronnymi M24 i wraz z podkładkami HEICO-LOCK® HLK o powiększonej powierzchni przylegania zgodnych z normą DIN EN 14399-4 i DIN EN 14399-8.

Montaż powinien zostać wykonany zgodnie ze sztuką. W szczególności należy zwrócić uwagę na współosiowość otworów połączeń kołnierzowych.

5.3 Montaż płyty pośredniej (z przykręconą łopatą) do płyty czołowej konstrukcji wsporczej

Montaż płyty pośredniej do płyty czołowej konstrukcji wsporczej odbywa się poprzez kołnierz 28 śrub dwustronnych M30 (8.8) zgodnie z DIN2510 L, rozmieszczone na okręgu o średnicy 800 mm. Napięcie wstępne śrub M30: 0.6Re, co odpowiada napięciu wstępnemu śrub F=200kN. Długość śrub wynosi l=300 mm (zgodnie z oznaczeniem wymiarów w normie DIN2510 L).

Śruby należy dokręcać kluczem dynamometrycznym zgodnie z instrukcją podaną przez producenta śrub. Kolejność dokręcania pierwszych 4 śrub odbywa się na przemian po przeciwnej stronie kołnierza w sekwencji „na krzyż". Następnie przesunięcie o jedną śrubę zgodnie z kierunkiem wskazówek i ponownie dokręcenie 4 śrub w sekwencji „na krzyż" i tak dalej.

Należy stosować podkładki i nakrętki zapobiegające odkręceniu się śrub podczas obciążeń dynamicznych. Proponuje się zastosowanie:

- po stronie kołnierza płyty pośredniej nakrętek napinających HEICO-TEC® M30 klasa 8 (ISO 898-2), lub innych o zbliżonej funkcji i parametrach technicznych

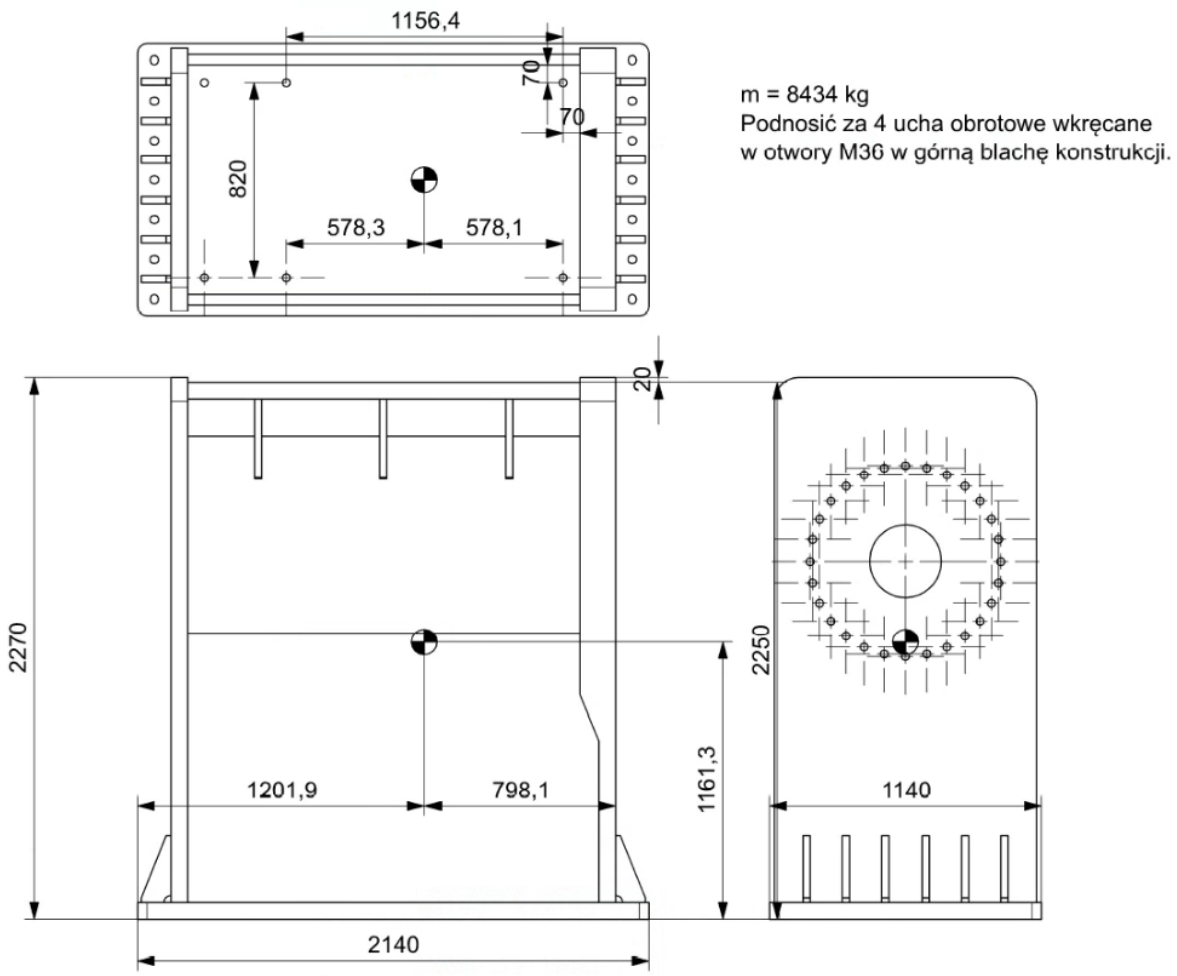
,oraz

- po stronie wewnętrznej płyty czołowej nakrętek reakcyjnych HEICO-TEC® HTR-M30x3,5/8 wraz z podkładkami, lub innych o zbliżonej funkcji i parametrach technicznych.

Montaż powinien zostać wykonany zgodnie ze sztuką. W szczególności należy zwrócić uwagę na współosiowość otworów połączeń kołnierzowych.

6. Podnoszenie i transport

Podnoszenie konstrukcji wykonać zgodnie z obowiązującymi przepisami i dobrą praktyką. Na Rys. 6.1 pokazano otwory montażowe na haki i położenie środka ciężkości konstrukcji. Podnoszenie konstrukcji przewiduje się przy użyciu 4 haków obrotowych wkręcanych w otwory gwintowane M36 w górnej blasze konstrukcji. Stosować się do wymagań podanych w instrukcji haków producenta. Konstrukcję należy podnosić hakiem przy użyciu 4 lin mocowanych na szekle do haków obrotowych. Kąt pomiędzy linami i pionem powinien być mniejszy niż 45 stopni. Podnosić i opuszczać powoli i bez obciążeń dynamicznych.



Rys. 6.1 – Położenie środka ciężkości konstrukcji wsporczej i otworów na haki obrotowe do podnoszenia

7. Konserwacja, przeglądy okresowe

Konstrukcja o ile przechowywana jest wewnątrz ogrzewanej hali o niskiej kondensacji pary wodnej nie wymaga konserwacji okresowej. Konstrukcja powinna być okresowo przeglądana w poszukiwaniu uszkodzeń metodami badań nieniszczących NDT, co najmniej 100% VT (badania wizualne) dla wszystkich spoin i rejonów blach pracy połączeń śrubowych, oraz płyt pośrednich. Zaleca się częstość przeglądów co najmniej co każdy 1 milion cykli obciążeń lub raz do roku, w zależność od tego co wcześniej następuje.

8. Obliczenia wytrzymałości dla projektu technicznego

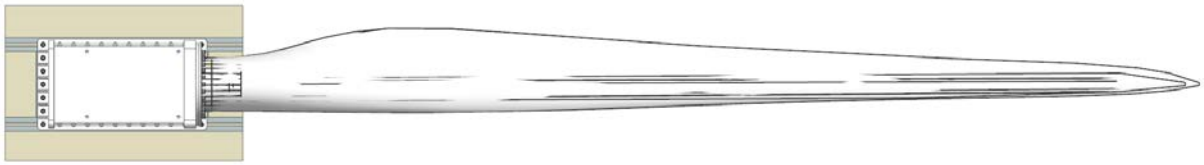
Wykonano obliczenia wytrzymałości statycznej dla niniejszego projektu konstrukcji wsporczej dla obciążenia kołnierza łopaty momentem My = +-200 kNm i siłą pionową Fz = +-20kN w

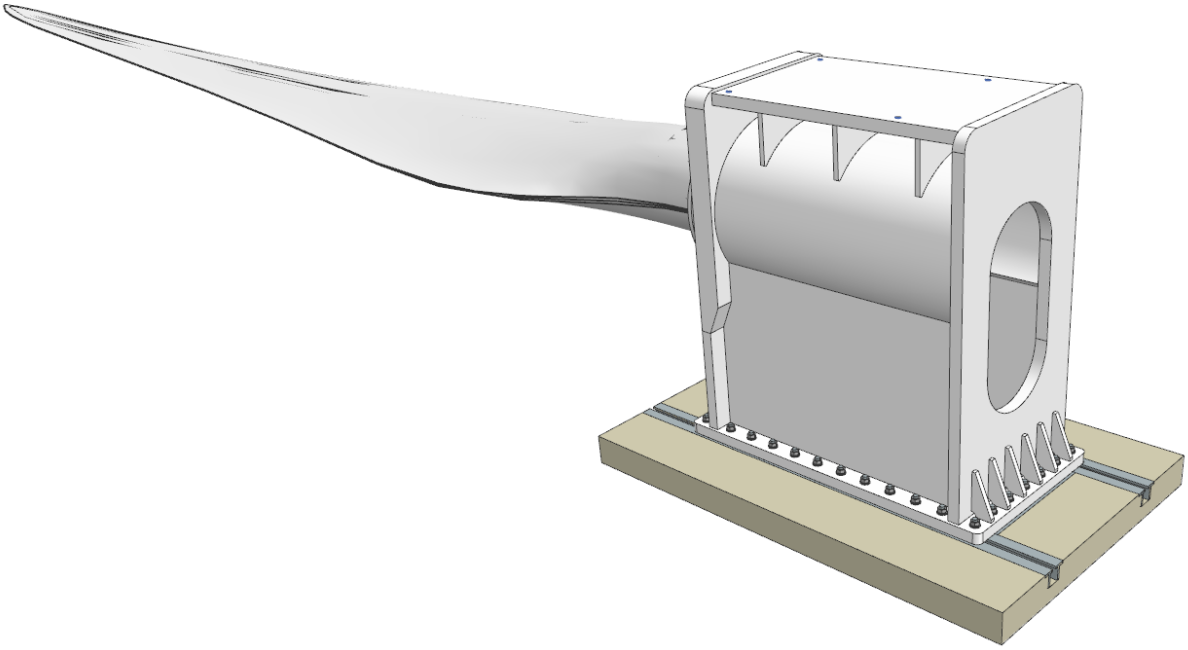
płaszczyźnie pionowej. Wyniki obliczeń przedstawiono w osobnym raporcie nie stanowiącym integralnej części projektu technicznego.

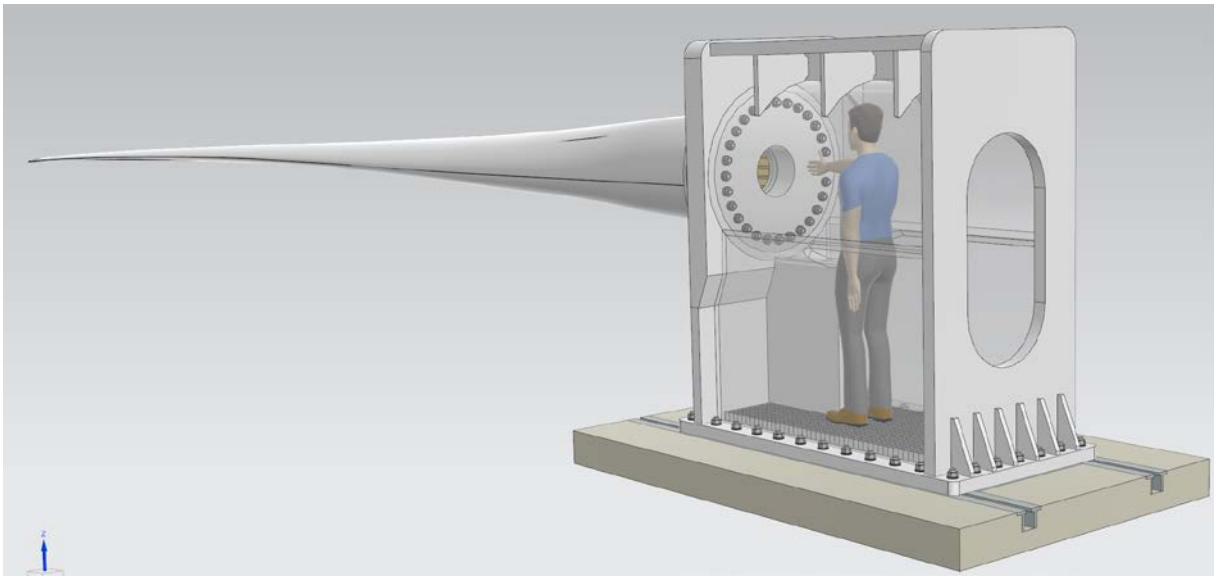
Należy wykonać niezależną i całościową analizę wytrzymałości konstrukcji zgodnie z opisem obciążeń w punkcie 2.2.

9. Rysunki dla wizualizacji projektu

Rysunki poglądowe umieszczono w formie załącznika 9.1 wizualizacje.pptx. Przykłady rysunków pokazano poniżej.



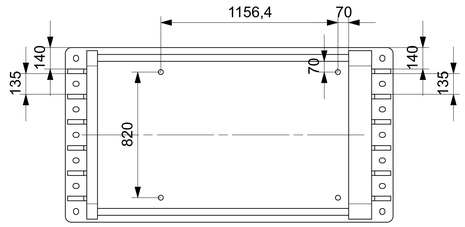


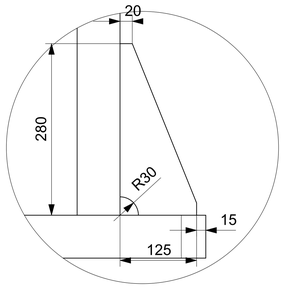


10. Ograniczenia odpowiedzialności prawnej dla projektu

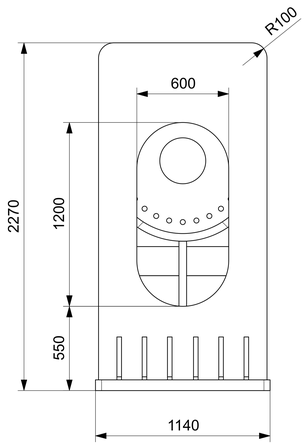
Niniejszy projekt konstrukcji wsporczej dla stanowiska do badań łopat turbin wiatrowych wykonany został w oparciu o wskazane powyżej założenia projektowe i obciążenia statyczne o wartości momentu My=+-200kNm i siły Fz=+-20kN oddziałujących w płaszczyźnie pionowej na kołnierz łopaty. Projektant nie wskazuje, że są to obliczenia wystarczające do właściwej weryfikacji wytrzymałości konstrukcji. W szczególności wytrzymałości zmęczeniowej i wytrzymałości pod obciążeniami dynamicznymi. Konstrukcja ma charakter prototypowy i wiąże się z podwyższonymi ryzykami. Z uwagi na powyższe, przed przystąpieniem do budowy bezwzględnie wymagane jest wykonanie niezależnej i całościowej analizy wytrzymałości konstrukcji wsporczej obejmującej

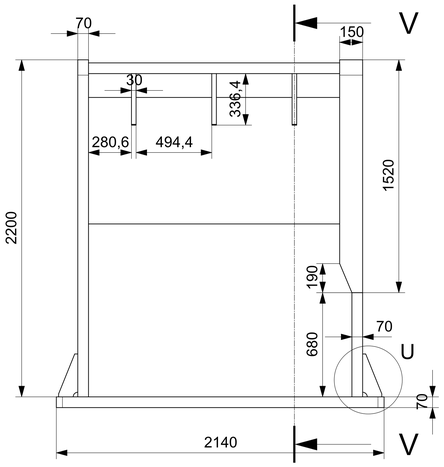
niniejszy projekt techniczny. Autor projektu nie ponosi żadnej odpowiedzialności za weryfikację wytrzymałości konstrukcji będącej przedmiotem niniejszego projektu.

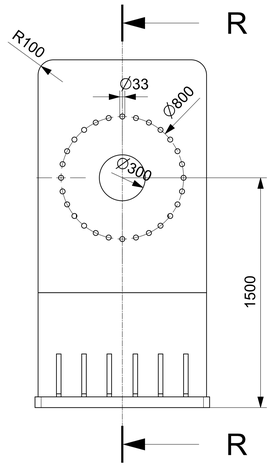


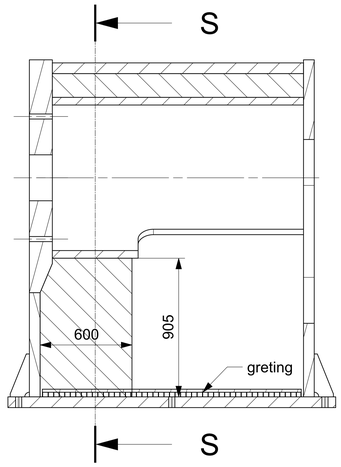


DETAIL U
SCALE 1:5

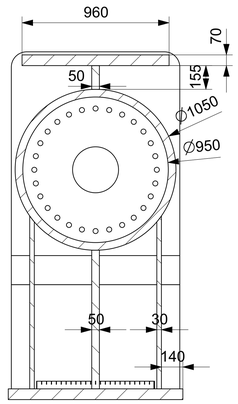




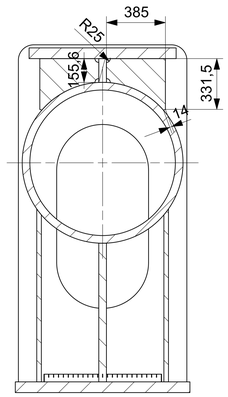




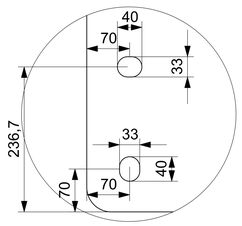
SECTION R-R



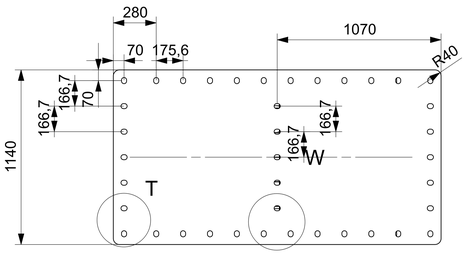
SECTION S-S

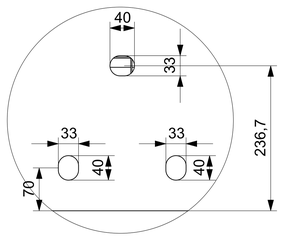


SECTION V-V

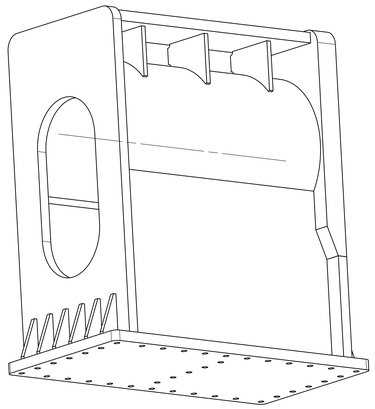


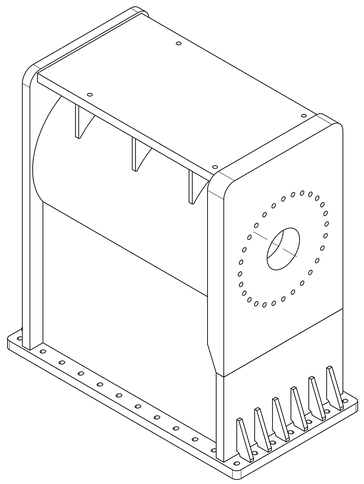
DETAIL T
SCALE 1:5





DETAIL W
SCALE 1:5

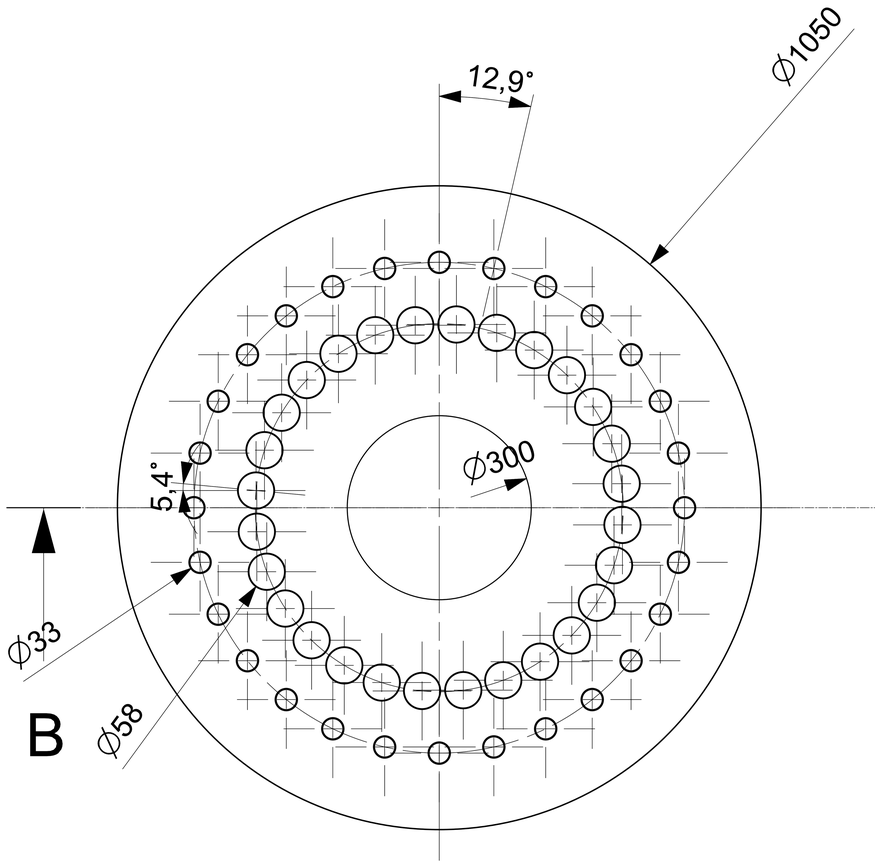




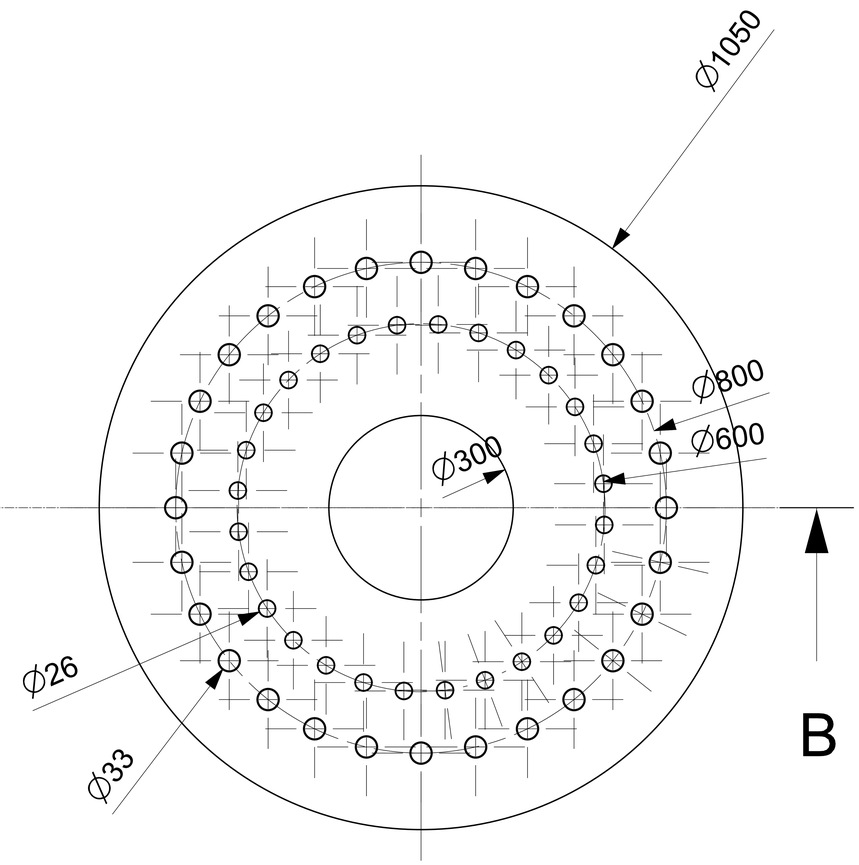
Uwaga:
Nie wszystkie szczegóły techniczne uwzględniono na rysunku.
Ważne informacje techniczne znajdują się w opisie projektu.

ALL DIMENSIONS IN MM

SIEMENS		THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE	
FIRST ISSUED	2.02.2023	TITLE Konstrukcja wsporcza dla stanowiska do badan lopat turbin wiatrowych.	
DRAWN BY	Karol Niklas		
CHECKED BY			
APPROVED BY		SIZE A1	DRG NO. _s1 — 2x DP / SHEET REV A
		SCALE 1:20	SHEET 2 OF 2

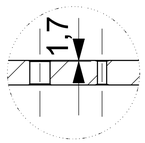


inner plate

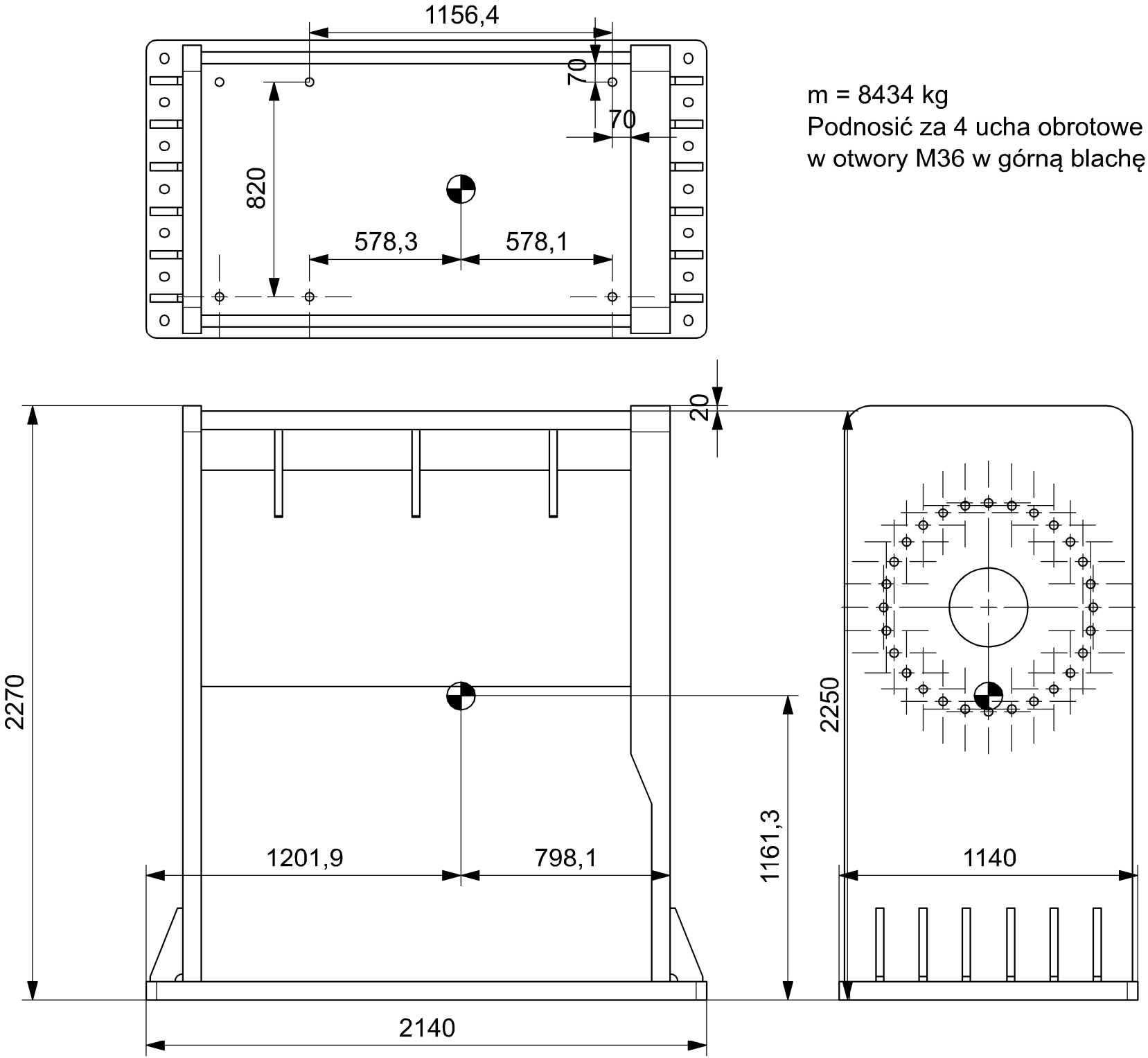


outer plate

SECTION B-B



DETAIL C
SCALE 1:10



m = 8434 kg
Podnosić za 4 ucha obrotowe wkręcane
w otwory M36 w górną blachę konstrukcji.