

3. CHARAKTERYSTYKA PRZYKŁADOWEJ ELEKTROWNI WIATROWEJ

Charakterystyka ruchowo-eksploatacyjna turbiny Siemens typu SWT-2.3-93

1. WSTĘP

Turbina wiatrowa SWT-2.3-93 jest trójłopatkową turbiną z systemem obracania gondoli. Konstrukcja charakteryzuje się prostą zasadą budowy z położeniem nacisku na dużą wydajność, trwałość i niezawodność.

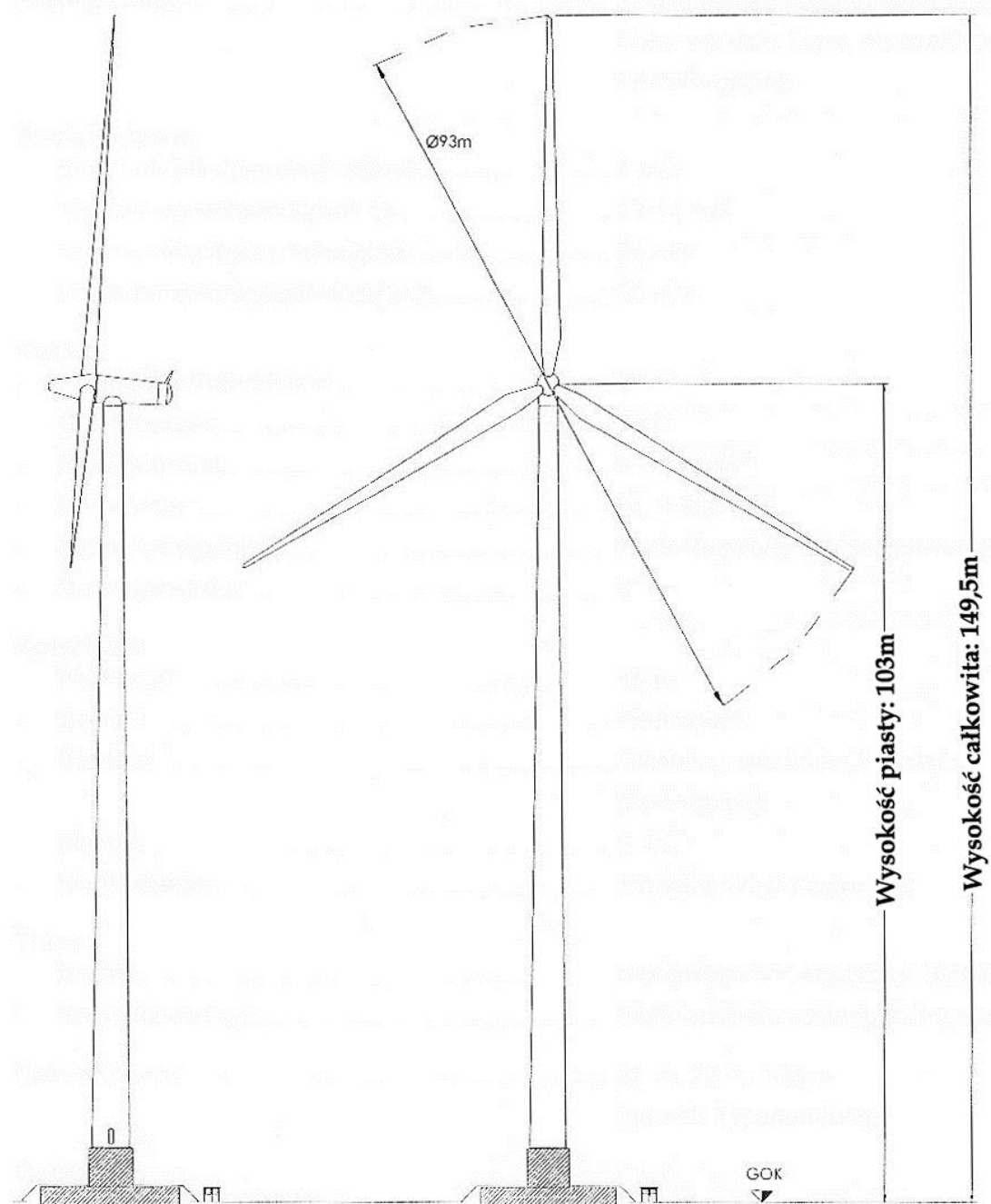
Gondola turbiny, w której umiejscowiono przekładnię i generator, posadowiona jest na stalowej ramie nośnej o konstrukcji rurowej. Specjalny kształt zapewnia uzyskanie maksymalnej sztywności i wytrzymałości. Osłona gondoli wykonana jest z wzmocnionego włókna szklanego chroniącego wszystkie znajdujące się wewnątrz elementy przed wpływem czynników atmosferycznych tj. deszcz, śnieg, słońce. Rama nośna poprzez specjalny kołnierz połączona jest z wieżą nośną o kształcie rurowym. Wieża poprzez stalowy kołnierz połączona jest z fundamentem. Całość stanowi mocną i wytrzymałą konstrukcję.

Elektrownia uruchamia się automatycznie gdy średnia prędkość wiatru wynosi 3-4 m/s. Specjalny układ elektroniczny monitoruje kąt nachylenia łopat tak, aby były one ustawione optymalnie w stosunku do aktualnych warunków wiatrowych. Pozwala to zoptymalizować wielkość produkowanej energii oraz poziom emitowanego hałasu. Moc turbiny wzrasta w przybliżeniu linearnie z prędkością wiatru aż do osiągnięcia przez wiatr prędkości 13-14 m/s. W tym momencie moc jest regulowana do optymalnej produkcji. Kiedy średnia prędkość wiatru osiąga maksymalną wartość operacyjną 25 m/s, turbina zatrzymuje się poprzez ustawienie śmigieł w tzw. „chorągiewkę”. Gdy prędkość wiatru osłabnie system automatycznie ponownie uruchamia turbinę.

Turbina posiada kilka, nakładających się na siebie, systemów bezpieczeństwa włączając w to system niezależnego ustawienia każdego śmigła czego rezultatem jest bezpieczne wyłączenie turbiny w każdej sytuacji.

Poniżej zaprezentowano rysunek schematyczny turbiny wraz z fundamentem.

SWT-2.3-93



2. CHARAKTERYSTYKA RUCHOWA I EKSPLOATACYJNA

2.1. WIRNIK

Wirnik składa się ze stałej stalowej piasty z trzema łopatom zamocowanymi w łożyskach obrotowych. Śmigła typu B45, w całości z włókna szklanego wzmocnionego epoksydem, wykonane są przez Siemens jako jeden element dzięki opatentowanej technologii IntegralBlade®. Brak punktów połączeniowych, spowodowało eliminację miejsc łatwo dostępnych dla wody i światła. Maksymalny poziom mocy oddawanej można regulować poprzez zmianę kąta ustawienia łopat. Każda łopata ma swój własny, niezależny mechanizm regulacji. Przy dużych prędkościach wiatru układ regulacji skoku łopat wirnika zapewnia utrzymanie mocy nominalnej, niezależnie od temperatury i gęstości powietrza. W przypadkach ekstremalnych warunków wiatrowych można również zminimalizować nacisk wiatru. Jest to najbardziej skuteczna i najprostsza forma regulacji mocy odbywająca się momentalnie i całkowicie automatycznie przy określonych prędkościach wiatru.

2.2. PIASTA

Piasta stanowi monolityczny odlew żeliwny przymocowany do głównego trzonu za pomocą kołnierza. Wewnątrz znajduje się kompletny mechanizm obrotowy. Siłownik hydrauliczny koryguje kąt ustawienia łopaty na rozkaz z komputera turbiny, który zaprogramowany jest do monitorowania operacji na podstawie informacji o ustawieniu łopaty i oddawanej mocy.

2.3. SKRZYNIA BIEGÓW

Wał główny za pośrednictwem przekładni przenosi moc do generatora. Firma Siemens stosuje do produkcji turbin wiatrowych przekładnie o specjalnej konstrukcji. Jej wymiary zapewniają pochłanianie wszelkich obciążeń występujących podczas eksploatacji, posiada przy tym odpowiednio wysoki współczynnik bezpieczeństwa. Przekładnia została zaprojektowana w ścisłej współpracy z jej wytwórcą, będącym specjalistą w zakresie projektowania, obliczeń, konstrukcji i produkcji skrzyń przekładniowych. Jest to element typu kombinowanego, trzystopniowy, planetarno-śrubowy. Przełożenie zostało tak dobrane, aby obroty wału były dostosowane do

najbardziej optymalnej prędkości wierzchołka łopat. Wysoko obrotowy trzon skrzyni biegów jest spasowany z odpornym na mechaniczne uszkodzenia hamulcem z dwoma hydraulicznymi cylindrami. Skrzynia biegów jest wyposażona w odpowiedni system chłodzenia i filtrów, które zapewniają optymalne warunki pracy. Całość zamontowana jest w gondoli za pośrednictwem specjalnych gumowych izolacji ograniczających hałas. Wszystkie łożyska użyte w skrzyni przekładniowej są najwyższej jakości z niezależną izolacją i zamontowanymi czujnikami temperatury PT 100.

2.4. GENERATOR

Generator jest całkowicie zamkniętą asynchroniczną maszyną zaprojektowaną na maksymalną wydajność przy niepełnym obciążeniu. Wyposażony jest w oddzielny wymiennik ciepła zapewniający prawidłowy przepływ powietrza a przez to efektywne chłodzenie, dzięki czemu możliwa jest jego długa żywotność. Wykonany w specyfikacji dla klasy F zapewnia duży margines bezpieczeństwa i zapobiega powstawaniu awarii spowodowanych wysoką temperaturą i ekstremalnymi warunkami pracy. W celu bezpośredniego odczytu i monitorowania temperatury generatora w jego uzwojeniach zastosowano 2 czujniki PT 100.

2.5. SYSTEM NAPROWADZANIA

System regulacji ustawienia elektrowni w kierunku wiatru składa się z odpowiedniego łożyskowanego pierścienia obrotowego z aktywną regulacją. Regulacja odbywa się automatycznie za pośrednictwem ośmiu planetarnych silników elektrycznych. Silniki wyposażone są w hamulce wspomagane przez pasywne tarcie pozwalające nastawić odpowiednią pozycję. Wszystkie podzespoły montowane są od środka turbiny i skutecznie uszczelnione przed przedostaniem się brudu, kurzu lub wody.

2.6. WIEŻA

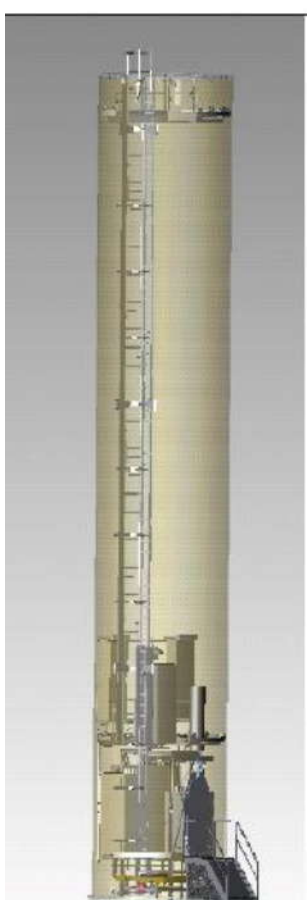

Wieża turbiny SWT-2.3-93 stanowi gotowy wyrób i jest dostarczana na plac budowy w 4 elementach. Zbudowana jest z płyt stalowych ukształtowanych w formie stożka i wzajemnie ze sobą zespawanych. Wszystkie spoiny są regularnie sprawdzane w trakcie produkcji przez niezależny organ nadzoru. Całkowita wysokość wynosi 101m

i została podzielona na 4 sekcje skręcane ze sobą wzajemnie za pomocą połączeń kołnierzowych. Sekcja dolna, za pośrednictwem specjalnego kołnierza, przykręcona jest do cylindra osadzonego w fundamencie. Wieża została poddana piaskowaniu i skutecznej obróbce powierzchniową z nałożeniem kilku powłok farby. Dostarczana jest z podestami drabinkę, windę oraz wewnętrznym oświetleniem elektrycznym.

Podesty zostały tak zlokalizowane aby umożliwić odpowiedni dostęp do kabli połączeniowych i śrub łączących kołnierze. Górna platforma, zlokalizowana tuż pod górnym kołnierzem umożliwia odpowiedni dostęp do gondoli, sytemu naprowadzania i górnych śrub połączeniowych.

Poniższe szkice pokazują górną, środkową oraz dolną sekcję wieży.



	
Sekcja dolna	Sekcja kontrolera

2.7. UKŁAD STEROWANIA

Wszystkie funkcje turbiny monitorowane są za pomocą mikroprocesorowych sterowników zintegrowanych z centralnym kontrolerem. Kontroler jest centralną jednostką sterującą odpowiedzialną za sterowanie i monitorowanie wszystkich stanów elektrowni, który może komunikować się z otoczeniem bądź pośrednio poprzez komputer monitorujący pracę elektrowni lub bezpośrednio poprzez modem z właścicielem turbiny, ZDR – em lub serwisem.

Wyposażony jest w system łączności i urządzenia zabezpieczające. Jest to system samo-diagnostujący, bazujący na mikroprocesorach posiadający możliwość odczytu statusu i regulacji ustawień.

Zasadniczym zadaniem systemu jest załączanie i odłączanie generatora od sieci oraz monitorowanie istotnych funkcji turbiny tak aby unikać wszelkich sytuacji ruchowych, które mogłyby prowadzić do niebezpieczeństwa lub uszkodzenia. Na

podstawie uzyskanych danych, komputer automatycznie steruje turbiną w optymalny sposób.

Układ sterowania zbiera i przechowuje dane dotyczące automatycznej pracy. Dzięki temu możliwe jest przeglądnięcie danych historycznych oraz danych statystycznych na wyświetlaczu lub na podłączonym komputerze.

2.8. KONTROLA ZDALNA

Turbina wyposażona jest w zdalny system kontroli WebWPS SCADA. System umożliwia kontrolę na długich dystansach oraz przeglądanie statusu i raportów przy pomocy standardowej przeglądarki internetowej. Umożliwia prezentację danych elektrycznych i mechanicznych, operacji i błędów, danych meteorologicznych oraz sieciowych. Odpowiednie służby mają zapewniony dostęp do każdej funkcji włącznie z pełnym sterowaniem pracą turbiną.

Kontrola napięcia i częstotliwości oraz innych parametrów sieciowych może być zaimplementowana w zintegrowanym z WebWPS SCADA, systemie Park Pilot.

2.9. MONITORING KONDYCJI TURBINY

Poza zdalnym systemem WebWPS SCADA, turbina jest wyposażona w system Monitoringu Kondycji Turbiny (TCM – Turbine Condition Monitoring system). System diagnozuje i precyzyjnie przekazuje stany głównych komponentów turbiny w czasie rzeczywistym co pozwala na wcześniejsze wykrycie możliwych awarii. System TCM posiada kilka stanów alarmowych od informacji do wyłączenia turbiny włącznie.

2.10. ELEKTRYCZNE UKŁADY ZABEZPIECZAJĄCE

System sterowania turbiną jest zabezpieczony przed przebiegami nieustalonymi występującymi w kablach głównych. System ochrony przeciwprzepięciowej zainstalowany jest w szafie zasilającej. Pozostałe napięcie jest wyrównywane przez kolejne bariery ochronne wbudowane w układ sterowania.

Komputer jest zabezpieczony przed impulsem przepięciowym w wielożyłowym kablu gondoli za pomocą przegród zainstalowanych w skrzynce rozdzielczej wejść czujnikowych w gondoli. Przegrody te wymuszają przeniesienie przepięć do przewodu uziomowego skrzynki rozdzielczej. Przegrody kabla telekomunikacyjnego

zabezpieczają komputer, po zamontowaniu ich przy modemie wewnętrznym lub interfejsie z pętlą prądową. Przegrody te wymuszają indukowanie chwilowych przepięć i napięć różnicowych w przewodzie uziemiającym komputera.

2.11. OCHRONA ODGROMOWA

Celem systemu ochrony jest zapewnienie połączenia ekwipotencjalnego między wszystkimi elementami oraz zapewnienie, aby energia wyładowania atmosferycznego została odprowadzona do ziemi w prosty sposób. Tą metodą unika się nagromadzenia dużych ilości energii, które w przeciwnym razie mogłyby spowodować poważne uszkodzenia.

Doświadczenie pokazało, że system ten jest w stanie przenosić wysokie napięcia i prądy bez wpływu na pracę turbiny.

Ochrona elementów w gondoli realizowana jest głównie przez ramę nośną maszyny. Te elementy, które nie są bezpośrednio zamontowane na ramie nośnej maszyny, połączono kablami uziemiającymi.

Podstawa maszyny połączona jest ze ścianą wieży kablami uziemiającymi. Ściana wieży i szafa zasilająca połączone są kablem z systemem uziemienia.

2.12. UZIEMIENIE

Turbina musi posiadać system uziemiający, który układa się podczas budowy fundamentu. System uziemiający musi być dostosowany do lokalnych warunków gruntowych.

System uziemiający musi mieć postać zamkniętego pierścienia przewodzącego z prętami uziemiającymi do którego dochodzą również przewody połączeniowe od wieży.

Rozwiązanie takie zapewnia:

- bezpieczeństwo obsługi – w przypadku uderzenia pioruna pierścień przewodzący zmniejsza napięcie krokowe dla osób znajdujących się w pobliżu wieży;
- bezpieczeństwo pracy – pręty uziemiające zapewniają stały niski opór uziemienia punktu zerowego dla całego systemu uziemiającego.

Jeżeli opór uziemienia punktu zerowego jest niewystarczająco niski, wówczas system uziemiający należy rozbudować.

2.13. MONITOROWANIE SIECI

W celu pomiaru różnych wartości parametrów sieci, komputer główny wykorzystuje cyfrowy procesor sygnałów, który zapewnia dokładny i szybki pomiar parametrów sieci. Zmierzone wartości można podzielić na pięć kategorii opisanych w kolejnych punktach:

- napięcie mierzone jest w sposób ciągły dla wszystkich trzech faz. Zmierzone wartości przechowywane są w wewnętrznej pamięci, a wielkości średnie obliczane dla różnych przedziałów czasowych. Pomiar używany jest do obliczenia współczynnika mocy i mocy oddawanej i pobieranej przez turbinę wiatrową. Jeżeli napięcie w sieci jest poza ustalonymi parametrami, inicjowany jest alarm i następuje zatrzymanie turbiny.
- prąd mierzony jest w sposób ciągły dla wszystkich trzech faz. Zmierzone wartości przechowywane są w wewnętrznej pamięci, a wielkości średnie obliczane w ten sam sposób jak dla napięcia. Pomiar prądu używany jest do obliczania współczynnika mocy oddawanej i pobieranej przez turbinę wiatrową. Podczas włączania elektrowni do sieci, kontrolowana jest symetryczność prądu we wszystkich trzech fazach. Jeżeli występuje zbyt duża asymetria między fazami, aktywowany jest alarm i turbina zostaje zatrzymana.
- częstotliwość mierzona jest w sposób ciągły dla wszystkich trzech faz. Zmierzone wartości przechowywane są w wewnętrznej pamięci, a wielkości średnie obliczane w ten sam sposób jak dla napięcia. Pomiar częstotliwości służy między innymi do zatrzymania turbiny w przypadku zbyt wysokiej lub zbyt niskiej częstotliwości, w którym to przypadku komputer wskazuje która faza spowodowała wyłączenie.
- współczynnik mocy obliczany jest w sposób ciągły dla wszystkich trzech faz. Obliczone wartości są przechowywane w wewnętrznej pamięci, a wielkości średnie obliczane w ten sam sposób jak dla napięcia. Współczynnik mocy służy do obliczenia mocy oddawanej i pobieranej przez elektrownię. Współczynnik mocy wykorzystywany jest również do obliczenia poboru mocy biernej przez elektrownię. Oprócz tego, współczynnik mocy wykorzystywany

jest również do włączenia i wyłączenia kompensacji przesunięcia fazowego podczas pracy w czasie włączania elektrowni do sieci.

- moc oddawana obliczana jest w sposób ciągły dla wszystkich trzech faz. Obliczone wartości są przechowywane są w wewnętrznej pamięci, a wielkości średnie obliczane w ten sam sposób jak dla napięcia. Na podstawie obliczonych mocy oddawanych dla poszczególnych trzech faz obliczana jest całkowita moc oddawana do sieci a następnie wykorzystywana jest do obliczenia całkowitej produkcji mocy wewnętrznego poboru mocy.

3. PARAMETRY TECHNICZNE I ELEKTRYCZNE TURBINY SIEMENS SWT-2.3-93

3.1 SPECYFIKACJA TECHNICZNA

Wirnik

Typ	3 śmigła, pozioma oś obrotu
Pozycja	pod wiatr
Rozpiętość	93 m
Pow. Zamiatania	6800 m ²
Synchroniczna prędkość wirnika	6-16 obr/min
Regulacja mocy	regulacja ustawień zmiennej prędkości
Kąt wirnika	6 stopni

Śmigła

Typ	samo-utrzymujące
Długość śmigła	45 m
Cięciwa końcówki	0,8 m
Cięciwa nasady	3,5 m
Profil aerodynamiczny	NACA63.xxx, FFAxxx
Materiał	GRE
Zew. Połysk	pół-mat <30 / ISO 2813
Zew. Kolor	jasno szary, RAL 7035

Hamulec aerodynamiczny

Typ	w pełni regulowany
Aktywacja	hydrauliczna, odporny na uszkodzenia

Dodatkowe części

Piasta	odlana w żelazie
Główne łożysko	łożysko sferyczne
Główny trzon	aluminium, stal
Płyta gondoli	stal

System transmisji

Połączenia wieża - trzon	kołnierz
Połączenia trzon – skrzynia biegów	zmniejszający dysk
Typ skrzyni biegów	3 – stopniowa, planetarno-spiralna
Przełożenie skrzyni biegów	1 : 91
Smarowanie skrzyni biegów	rozprysk / wymuszone smarowanie
Ilość oleju	400 l
Filtr oleju	wejście i wyjście
Chłodzenie skrzyni biegów	PEAB4456 (Winergy) lub EH851 (Hansen)
Połączenie bieg generator	podwójne elastyczne połączenie

Hamulec mechaniczny

Typ	odporna na uszkodzenia tarcza
Pozycja	wysoka prędkość wału
Ilość cylindrów	2

Obudowa

Typ	całkowicie zamknięty
Materiał	stal

Generator

Typ	asynchroniczny
Moc nominalna	2300kW
Zabezpieczenie	IP 54
Chłodzenie	zintegrowany wymiennik ciepła
Klasa izolacji	F
Nazwa generatora	AMA 500L4 BAYH
Producent generatora	ABB

Terminal sieciowy

Moc nominalna	2300kW
Napięcie	690V
Częstotliwość	50 Hz lub 60 Hz

System naprowadzania

Typ	aktywny
Łożysko naprowadzania	zewnątrzne przełożenia obrotu
Napęd naprowadzania	osiem elektrycznych silników z konwerterem częstotliwości
Hamulec naprowadzania	pasywne tarcie

Wieża

Typ	cyldryczna i/lub zwężona rura
Wysokość wieży	101 m
Ochrona przed korozją	pomalowana
Zew. Połysk	jedwabny matowy 30-40 11502813
Kolor	AAL 7035

Dane operacyjne

Prędkość wiatru do rozruchu	4 m/s
Moc nominalna przy	13-14 m/s
Zatrzymanie przy prędkości wiatru	25 m/s
Maksymalny poryw 2s	55 m/s (wersja standardowa)
	60 m/s (wersja specjalna)

Waga (w przybliżeniu)

Wirnik	60 000 kg
Gondola	82 000 kg
Wieża dla wysokości 80 m	162 000 kg

3.2 SPECYFIKACJA ELEKTRYCZNA

Generator

Typ	asynchroniczny
Moc nominalna	2300kW
Prędkość obrotowa	600 – 1800 obr/min
Nominalne napięcie	750 V przy 1550 obr/min
Nominalne natężenie	2070 A
Częstotliwość	16,5 – 60 Hz
Zabezpieczenie	IP 54
Nazwa generatora	AMA 500L4 BAYH
Producent generatora	ABB

Zabezpieczenia generatora

Klasa izolacji	F
Pomiar temperatury	sensory 2 x 3 PT100
Temperaturowa łożyska	1 PT100 dla każdego łożyska
Izolacja łożyska	izolacja dwóch łożysk
Uziemienie	na końcu napędu

Chłodzenie generatora

System chłodzenia	powietrzno – powietrzny
Wentylacja	zamontowany na wale wentylator
Typ wentylacji	odśrodkowa
Zewnętrzny kierunek strumienia	z końca D do końca N
Parametry regulacji	temperatura przepływu

Konwerter częstotliwości

Działanie	4Q pełno – skalowa przetwornica
Przełącznik	PWM
Częstotliwość przełącznika	1250/2500 Hz
Chłodzenie	ciecz

Mnożnik mocy przy 690 V i nominalne warunki przyłączenia

Korekcja mnożnika mocy	kontroler częstotliwości przetwornicy
Ustawienia mnożnika mocy	0,9 cap. do 0,9 ind.

Zabezpieczenie głównego obwodu

Wyłącznik obwodu	ABB E-max
Opornik	100 kA oporności

Uziemienie

Opór Ziemi	IEC62305-1ED 1.0:2006
Głębokość elektrody	min. 2 x 5 m 50 mm ² Cu
Elektroda pierścienia	min. 1 x Ø12 m 50 mm ² Cu
Uziemienie fundamentu	musi być podłączony do elektrod ziemnych

Szczytowe poziomy mocy

10 min średnio	100% mocy nominalnej
30 s średnio	110% mocy nominalnej

Warunki sieciowe

Nominalna częstotliwość sieci	50 Hz
Min napięcie	90 % nominalnego
Max napięcie	110 % nominalnego
Min częstotliwość	94 % nominalnej
Max częstotliwość	104 % nominalnej
Max natężeni prądu	5%
Max 1 s krótki poziom obwodu na kontrolerze sieciowym	40 kA
Min 1 s krótki poziom obwodu na kontrolerze sieciowym	5 kA
Ilość błędów sieci	max. 300 rocznie

Pobór mocy z sieci (w przybliżeniu)

W stanie wstrzymania	5.0 kW
W stanie rozruchu	9,6 kW
Przed wyłączeniem (60 s)	18 kW
Po wyłączeniu (600 s)	18 kW

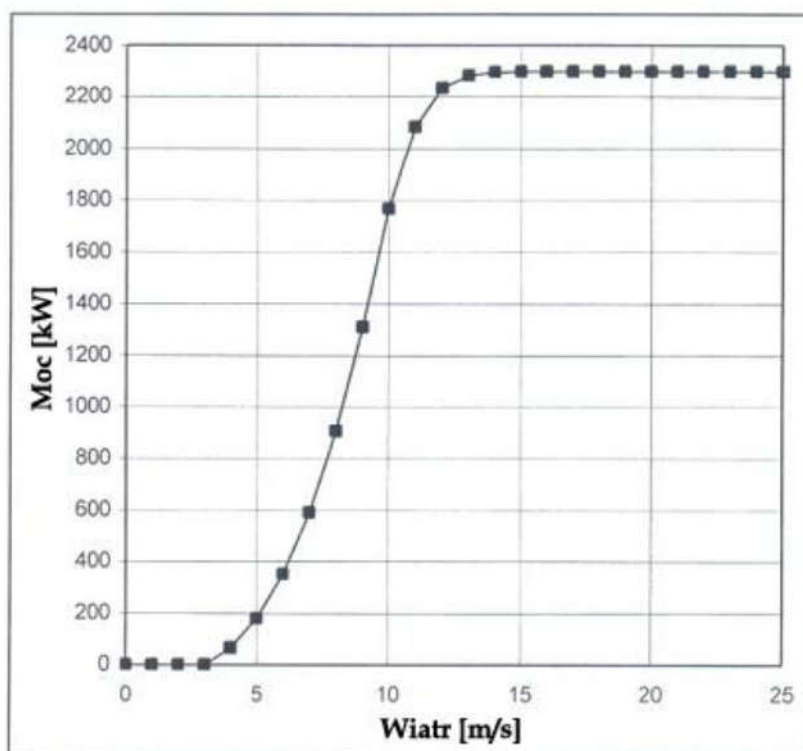
Transformator

Wartość znamionowa	2600 kVA
Straty (P0/Pn)	3 / 22 kW
Zabezpieczenie	obwód wyłącznika
System izolacji częstotliwości	zaprojektowany dla konwertera
Wymagana oporność transformatora	6 – 20 % Zostanie sprecyzowana przez Siemens Wind Power

4. KRZYWA MOCY I PRODUKCJA

Kalkulacja krzywej mocy jest przeprowadzana dla standardowej gęstości powietrza przy 15°C ciśnieniu 1013 hPa, i 1.225 kg/m³ gęstości powietrza, czystych śmigłach wirnika i w 10% niezakłóconym przepływie powietrza.

Wiatr [m/s]	Moc kW
0.0	0
1.0	0
2.0	0
3.0	0
4.0	65
5.0	180
6.0	352
7.0	590
8.0	906
9.0	1308
10.0	1767
11.0	2085
12.0	2234
13.0	2283
15.0	2299
16.0	2300
17.0	2300
18.0	2300
19.0	2300
20.0	2300
21.0	2300
22.0	2300
23.0	2300
24.0	2300
25.0	2300



Średnio-roczna produkcja energii dla różnej średnio-rocznej prędkości wiatru na poziomie wirnika, zakładając 100% dostępność, brak przesłaniania, brak strat na sieci oraz innych czynników wpływających na pogorszenie produkcji.

Wiatr [m/s]	Energia [MWh]
5.0	3237
5.5	4177
6.0	5133
6.5	6088
7.0	7036
7.5	7925
8.0	8791
8.5	9579
9.0	10323
9.5	11000
10.0	11615

