

Morskie farmy wiatrowe

Symulacje zwarć oraz operacji łączeniowych w programie
PSCAD pod kątem doboru ograniczników przepięć

Zakres prezentacji

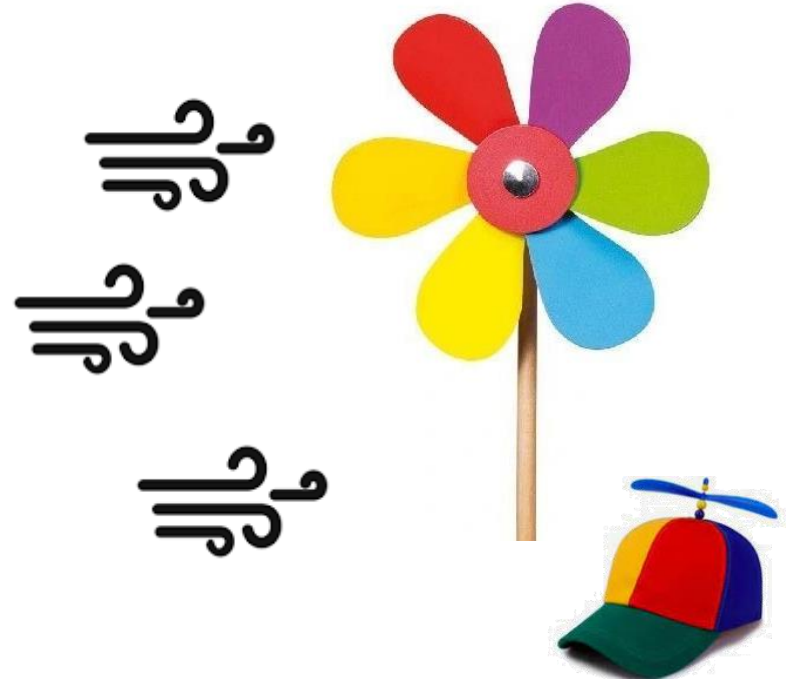
Ørsted

Rozwój energetyki wiatrowej

Morska elektrownia wiatrowa

Symulacje PSCAD

Dobór ograniczników przepięć



➤ **DONG Energy**

- 1973 – **Dansk Olie & NaturGas A/S**
- 1991 – **Vindeby**, 11 turbin x 0.5 MW

➤ **2017 → Ørsted**

- Hans Christian Ørsted (elektromagnetyzm)
- 2022 – **Hornsea 2**, 165 turbin x 8 MW

➤ **Morskie elektrownie wiatrowe:**

- Projektowanie
- Budowa
- Eksploatacja

➤ Lądowe farmy wiatrowe

➤ Farmy słoneczne

➤ Magazyny energii

➤ Instalacje wodorowe



„ORSTED Global Graduate Programme” dla inżynierów elektryków

2-letni staż

3 zespoły (PL & DK)

Electrical System Design
HVDC
SCADA

Termin CV: 12.01.2023

Inż./Mgr/Dr przed 01.09.2023

orsted.com

Ørsted

Insights

Green solutions

Sustainability

About us

Media

Investors

Careers

STUDENTS AND GRADUATES

Just finished school or university?

Kickstart your career with global opportunities at Ørsted

[Read more about student and graduate opportunities →](#)



Graduate programme

Our graduate programme will give you the skills and experience you need to become one of the leaders and specialists of tomorrow.

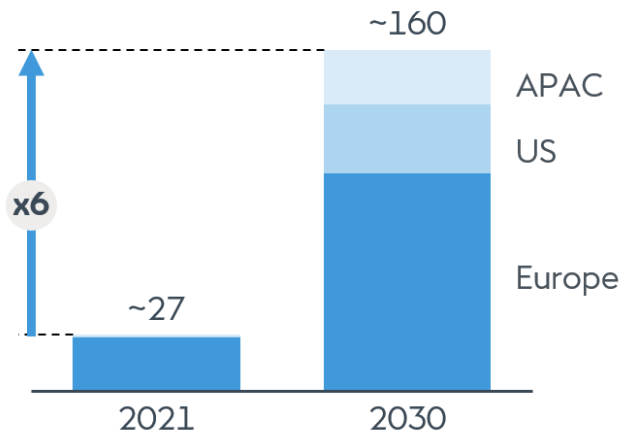
[Read more →](#)

[Electrical Engineering Graduate with a strong analytical mindset for power systems \(orsted.com\)](#)

Przewidywany rozwój morskiej energetyki wiatrowej

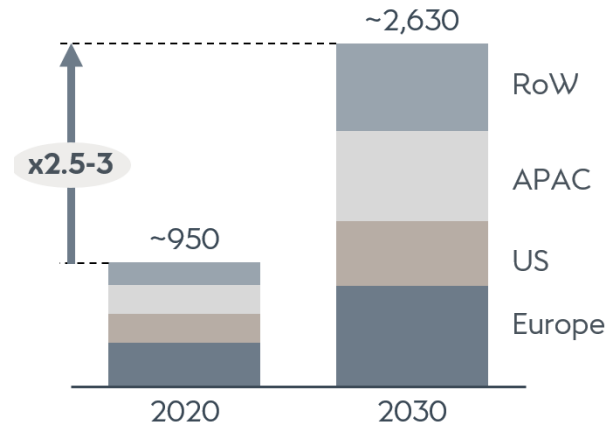
Morska energetyka wiatrowa

Zainstalowana moc^(*) (GW)



Energetyka odnawialna

Zainstalowana moc^(*) (GW)

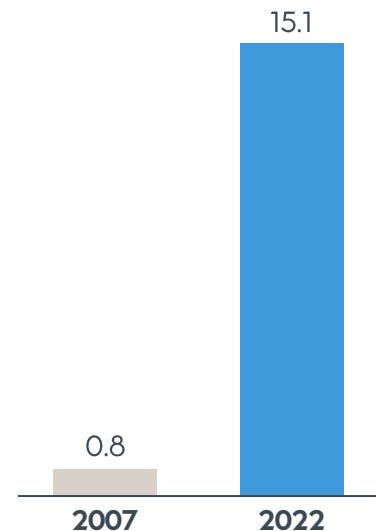


(*) Nie licząc Chin...

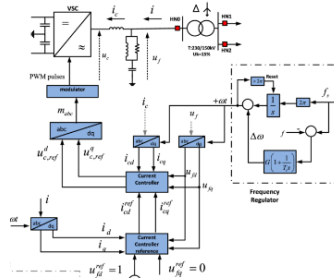
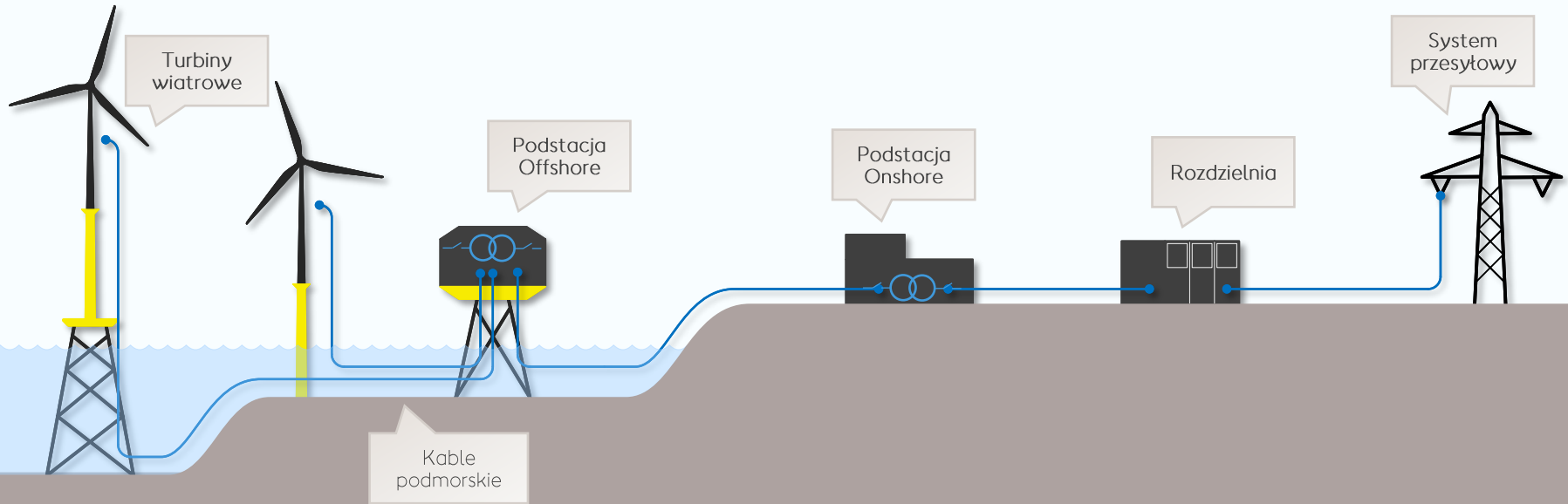


orsted.com/en/our-business/offshore-wind

Zainstalowana moc w źródłach odnawialnych, GW



Morska elektrownia wiatrowa



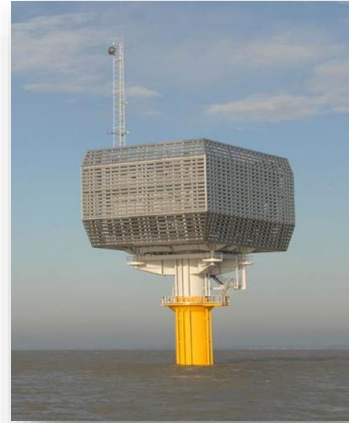
Podstacja Onshore i rozdzielnia, Hornsea 2



Hornsea 2
165 turbin 8 MW
1.3 GW
89 km

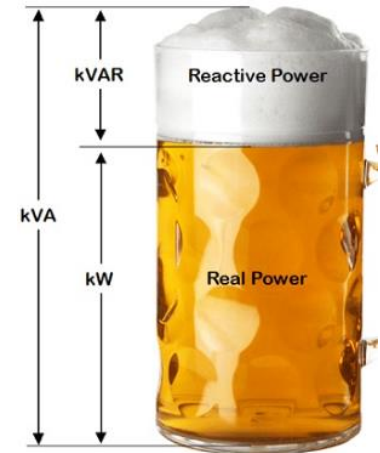


OSS – Podstacja Offshore



DC vs AC:

- Dystans od brzegu
- Koszty
- Wymagania przyłączeniowe



Lokalizacja oraz rola OSS



Instalacja OSS



NEW: FLOATING TECHNOLOGY

Monopile

Jacket

Tension Leg Platform

Semi-submersible

Spar

← **Blades**

← **Nacelle**

← **Turbine Support Tower**

← **Platform**

← **Hull**

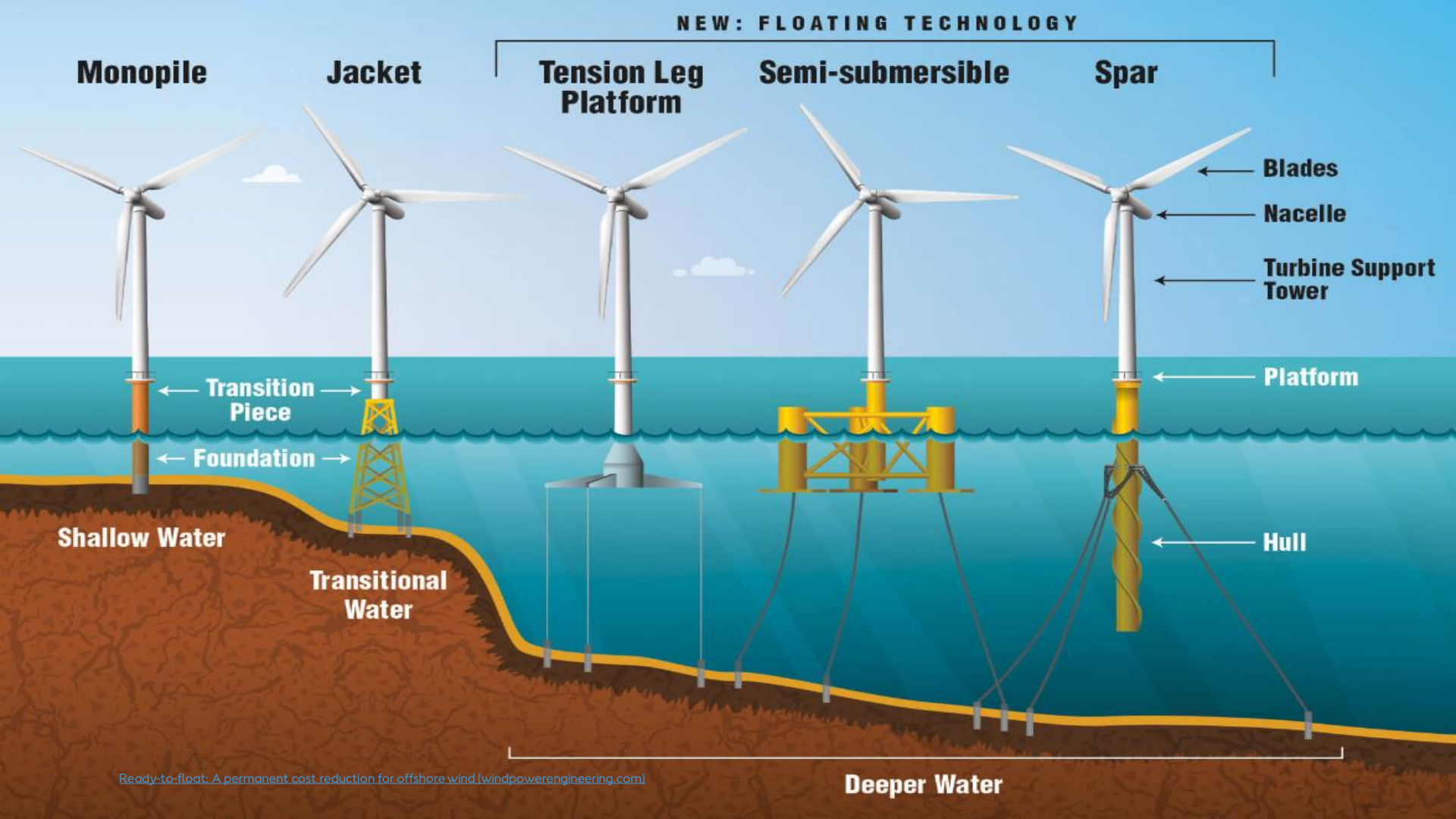
← **Transition Piece**

← **Foundation**

Shallow Water

Transitional Water

Deeper Water



Turbiny wiatrowe

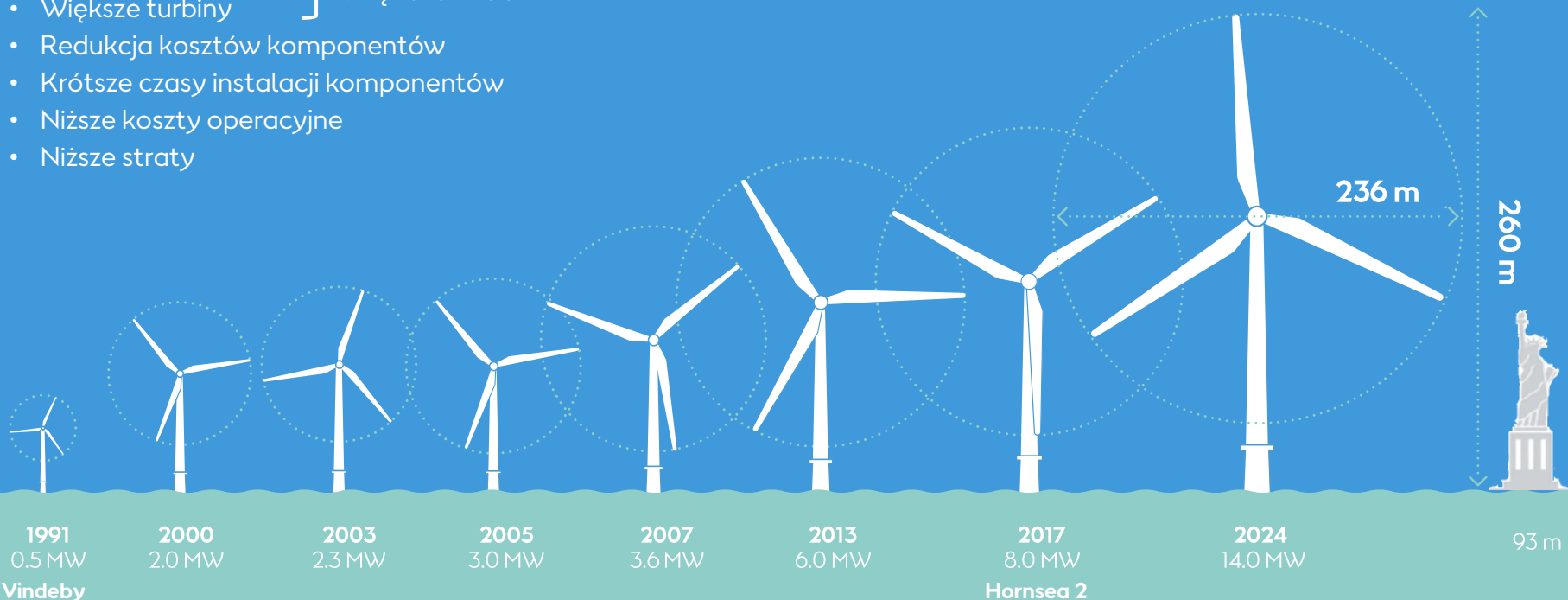
Co napędza ten rozwój?

- Większe elektrownie
 - Większe turbiny
 - Redukcja kosztów komponentów
 - Krótsze czasy instalacji komponentów
 - Niższe koszty operacyjne
 - Niższe straty
- } Większa moc



Boeing 747-8
Długość 76m

105 m



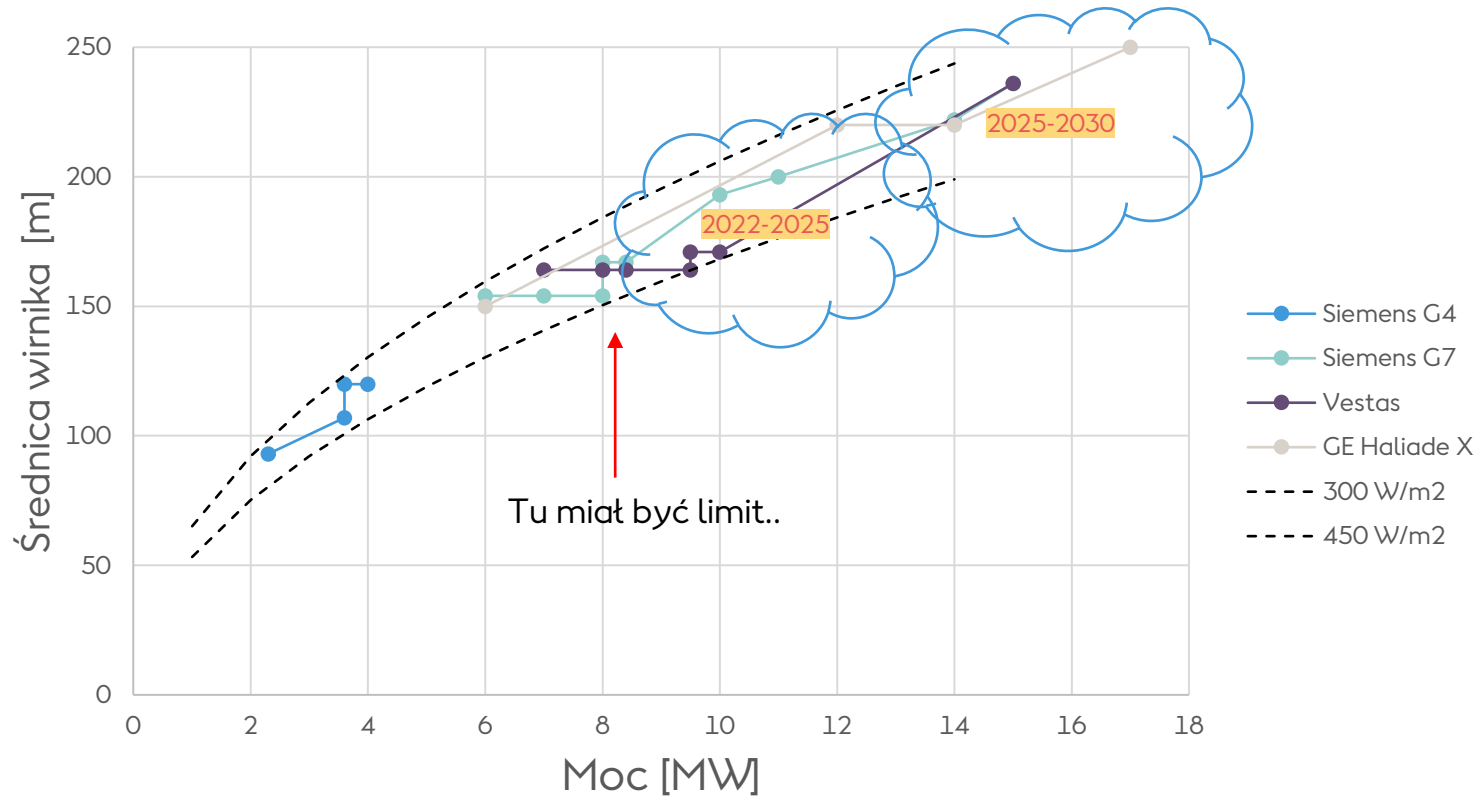
Wyścig zbrojeń trwa



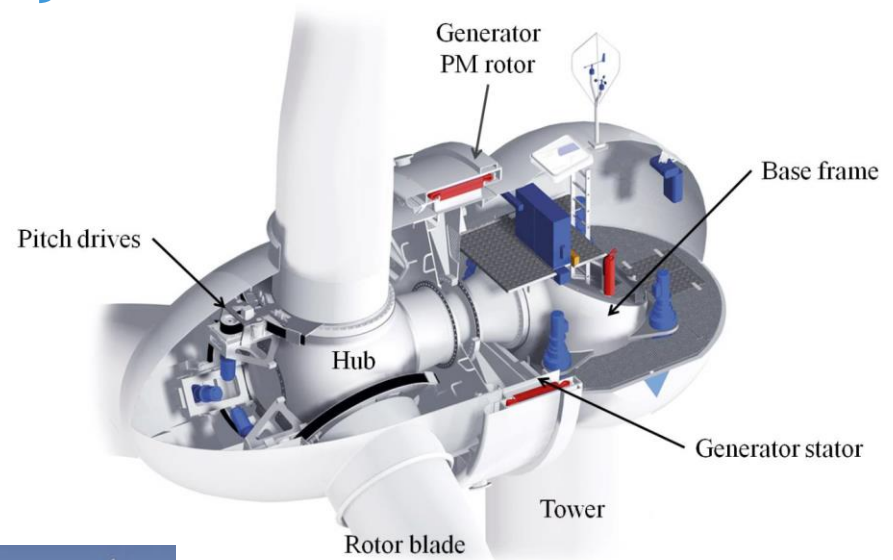
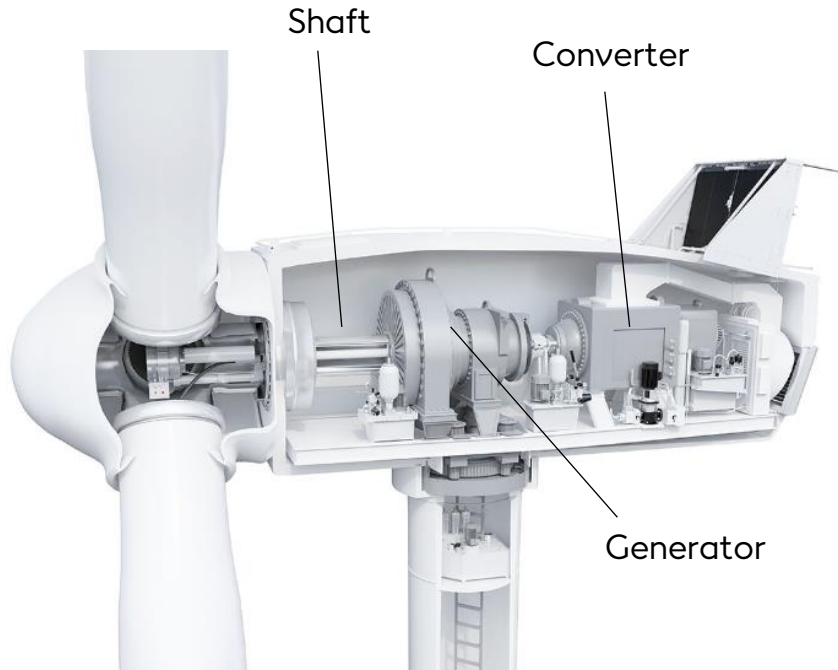
... 18 MW

Średnica wirnika vs moc

???



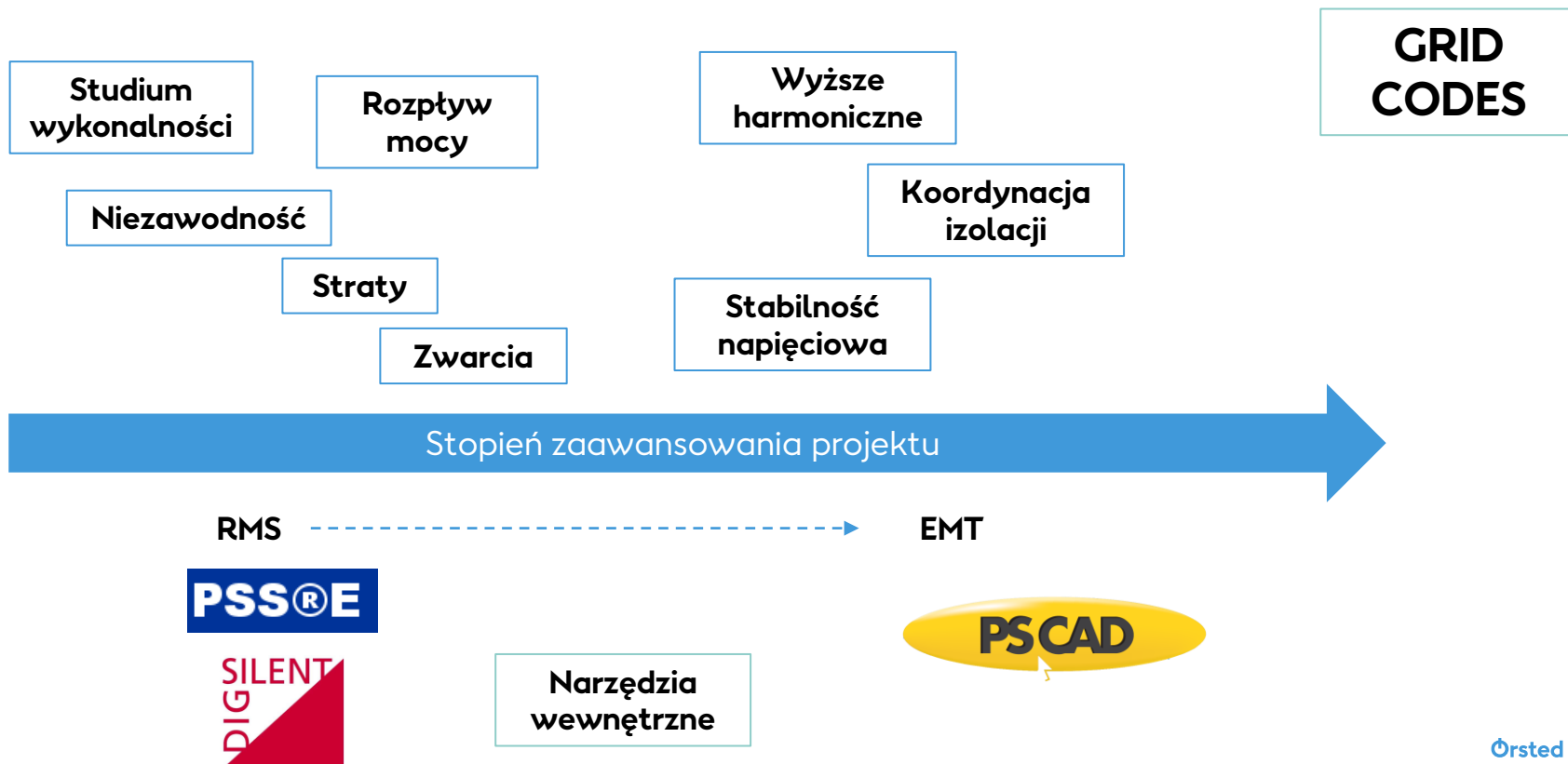
Wewnątrz gondoli – różne technologie



Transformer
LV/MV

0.69 kV / 66 kV

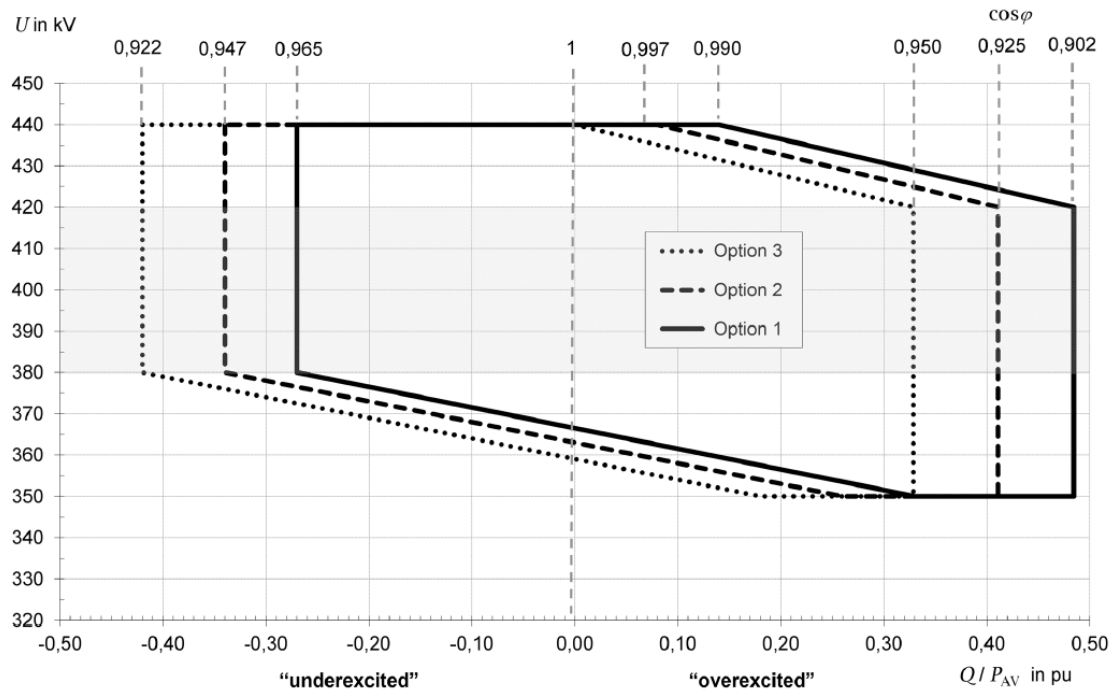
Analizy sieciowe w procesie projektowania farmy wiatrowej



Grid code – zasady pracy sieci (w tym jednostek wytwórczych)



P,Q,V

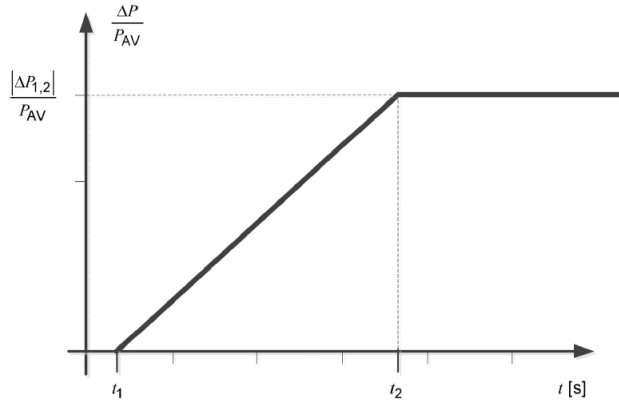


Q/U w stanie ustalonym

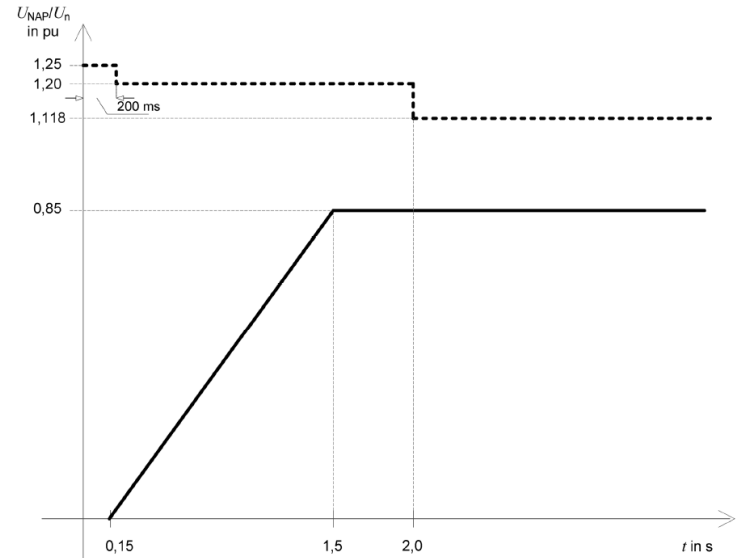
Grid code – zasady pracy sieci (w tym jednostek wytwórczych)



P,Q,V

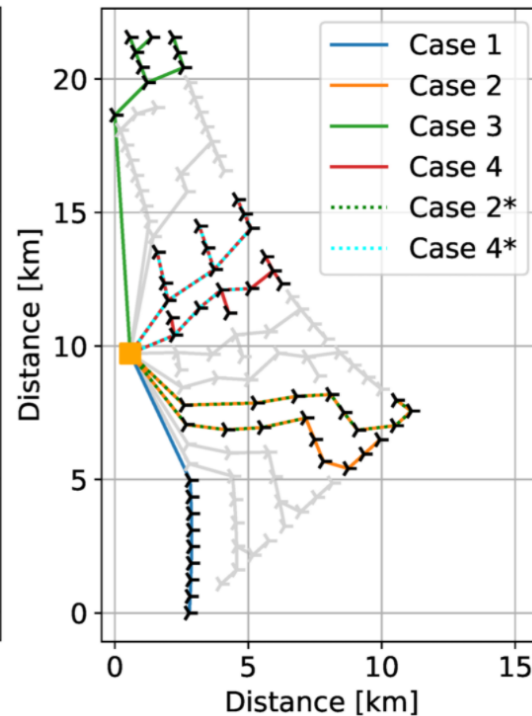
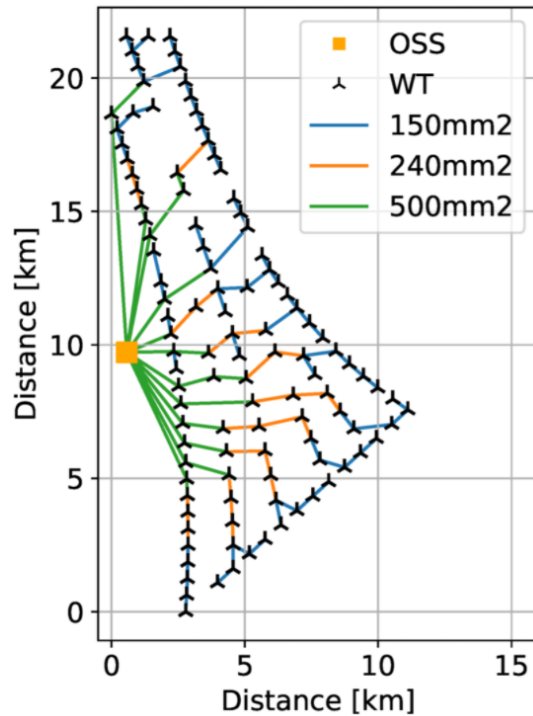


Regulacja mocy czynnej

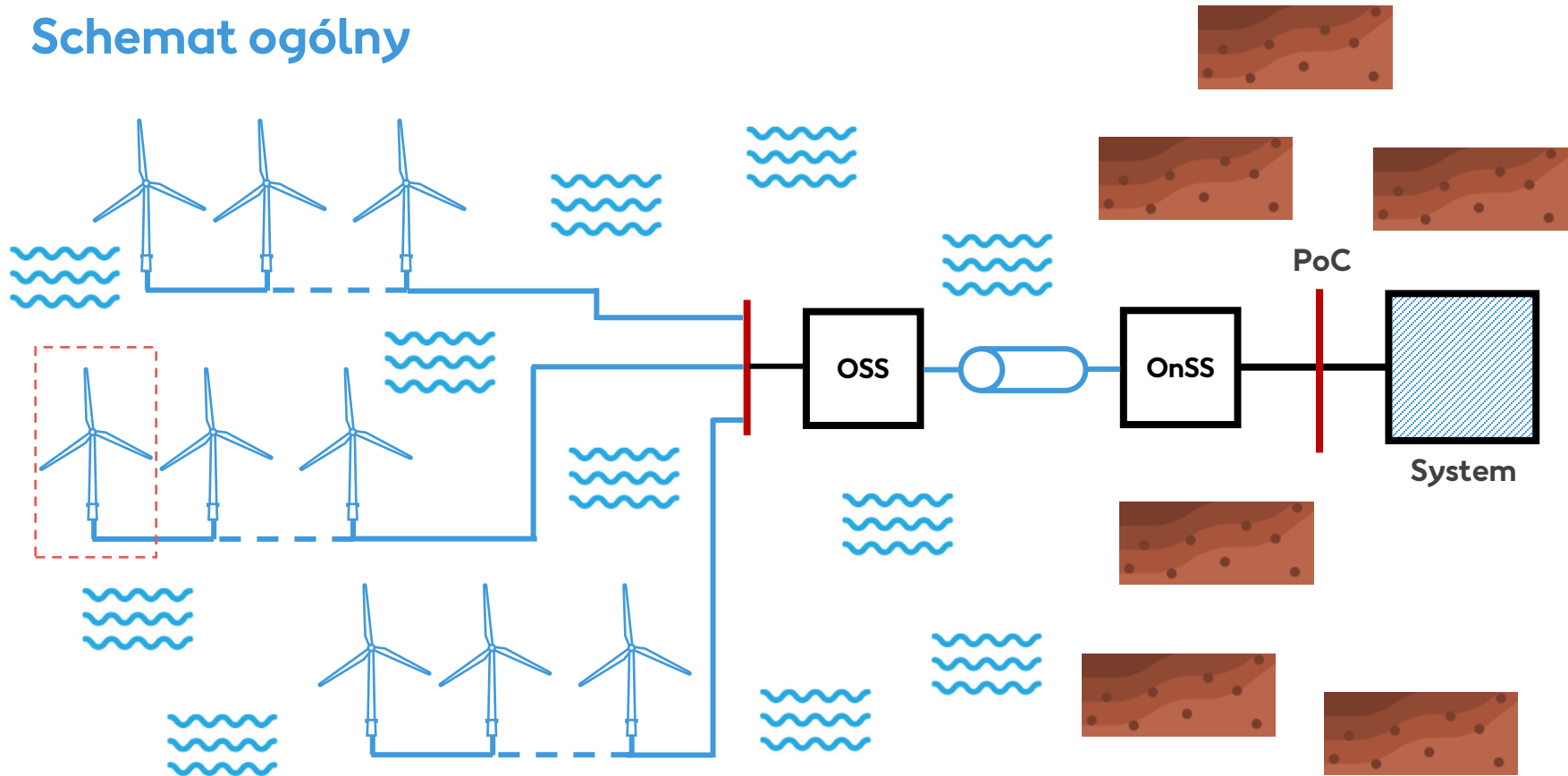


FRT – stan zwarciaowy

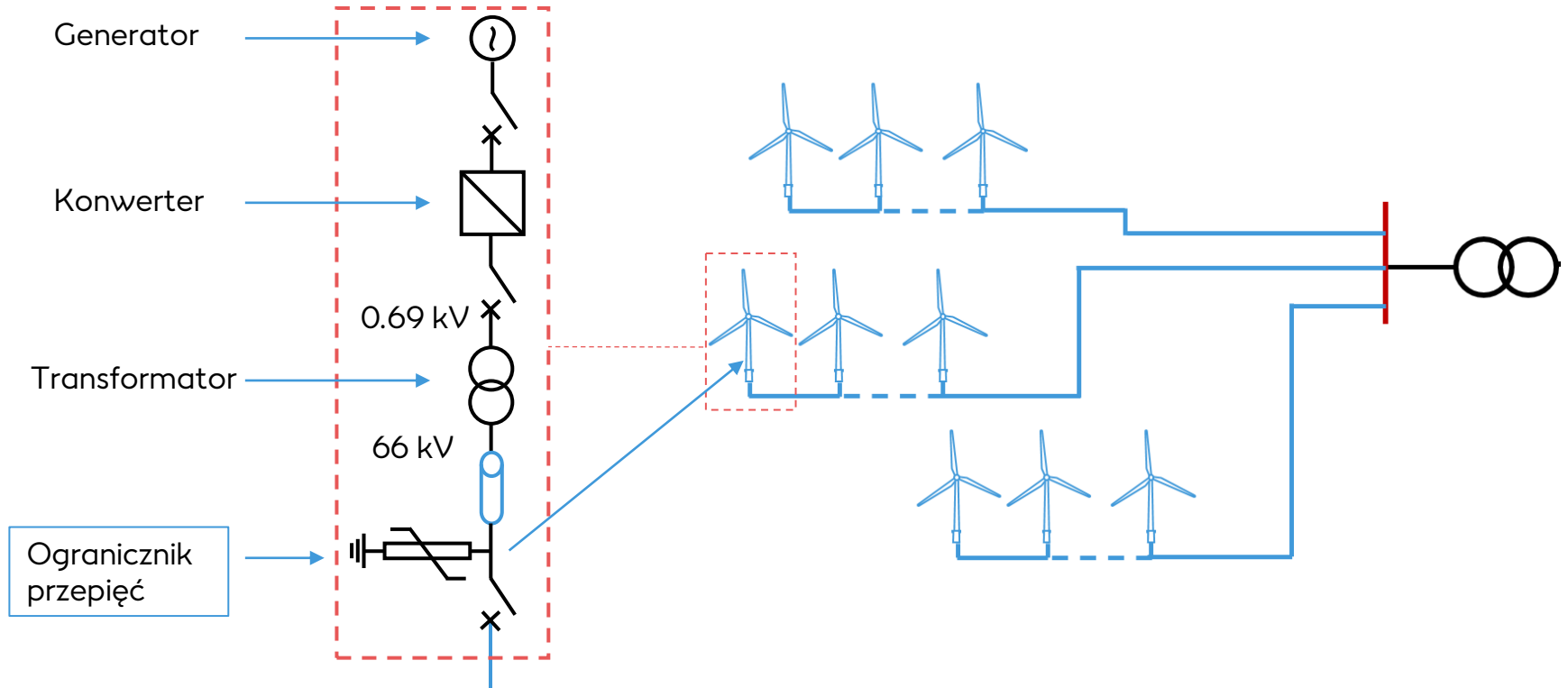
Typowy schemat farmy wiatrowej (*Base design*)



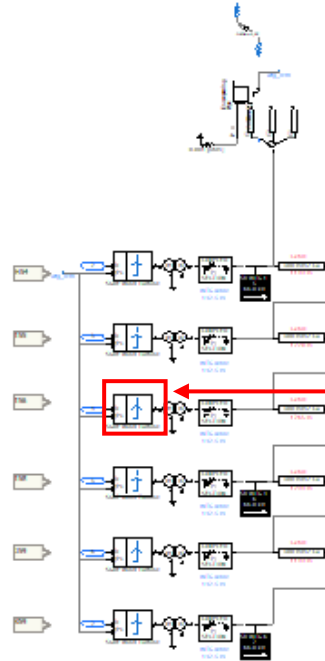
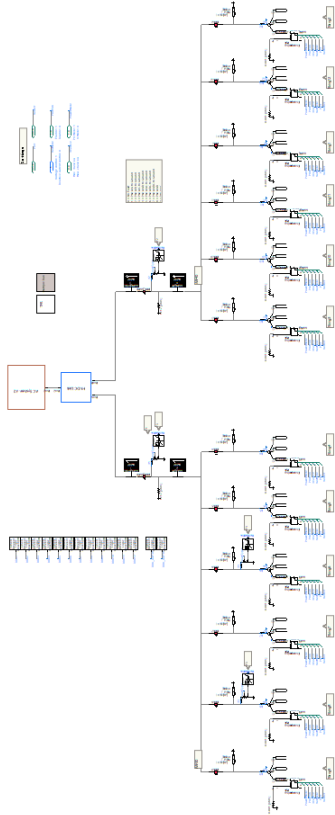
Schemat ogólny



Schemat turbiny



Modelowanie w PSCAD



Komponenty pasywne

- Kable
- Transformatory
- Ograniczniki przepięć
- Dławiki, baterie kondensatorów

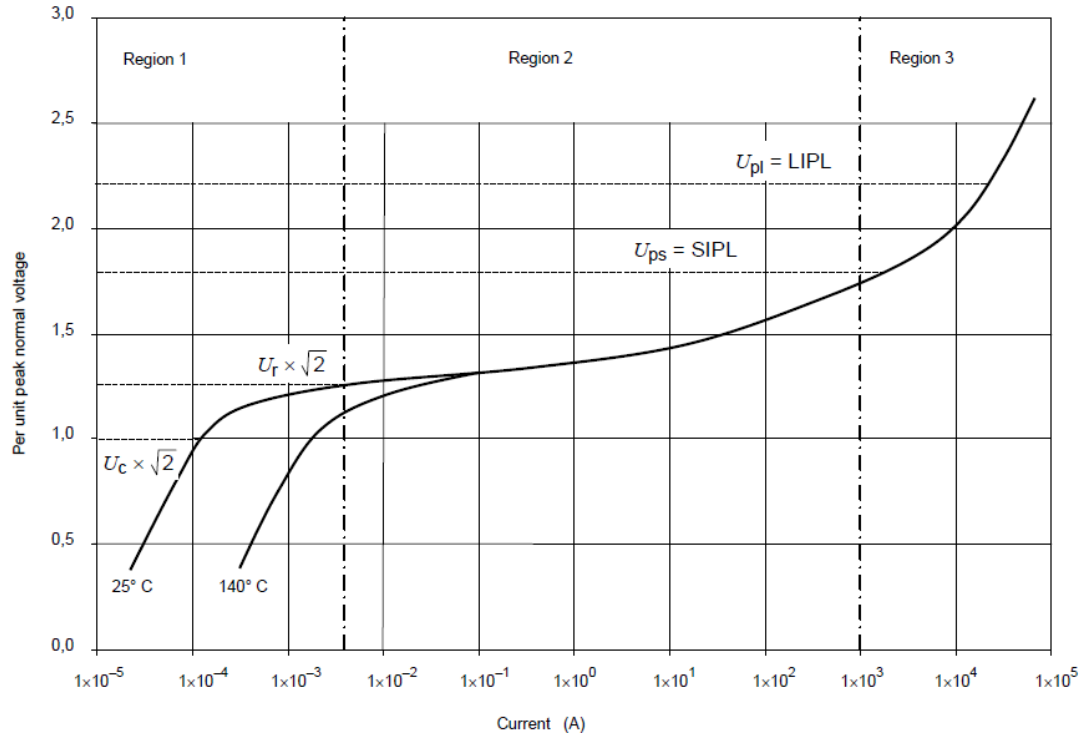
Komponenty aktywne

- HVDC
- Turbiny wiatrowe
- „Full scale IGBT converter”
- Black box: obj, dll (model producenta)

Model

- Wysoki poziom skomplikowania
- 83 turbiny + HVDC
- PNI – Parallel Network Interface
- 14 x CPU → (1 s ~ 1 h)

Ogranicznik przepięć ZnO – IEC 60099-5:2018



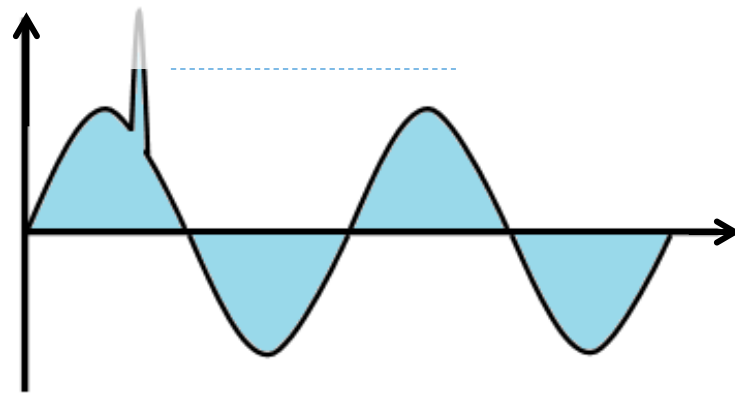
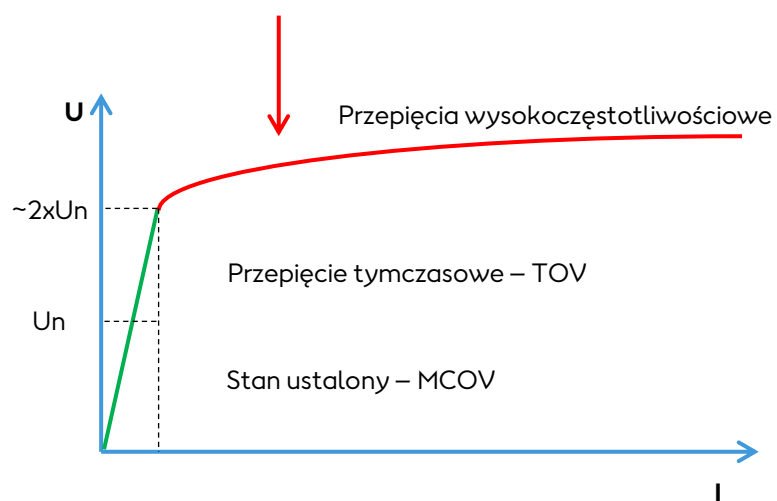
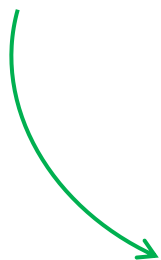
Charakterystyka u(i)

Region 1 – stan ustalony

Region 2 – TOV (Temporary Overvoltage)

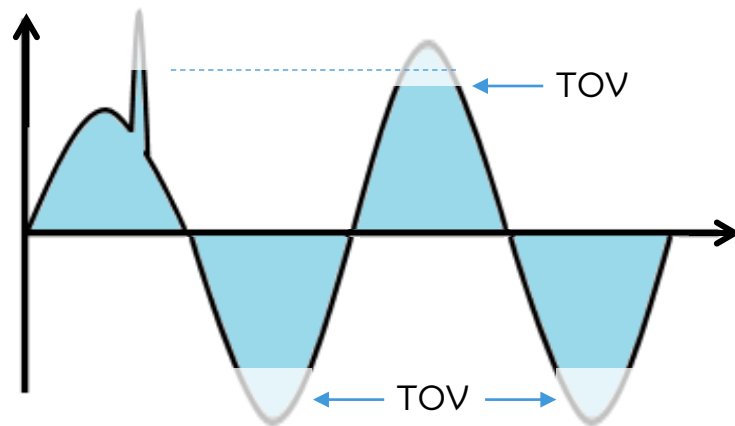
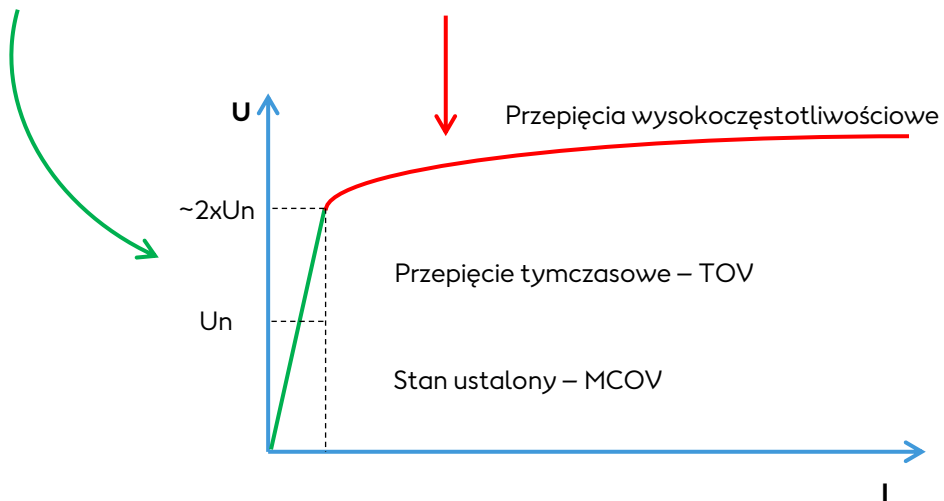
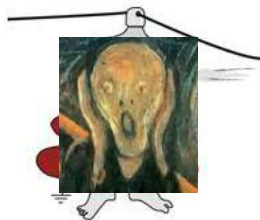
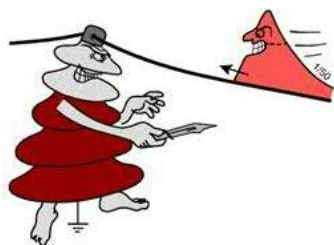
Region 3 – Wyładowania piorunowe

Ogranicznik przepięć



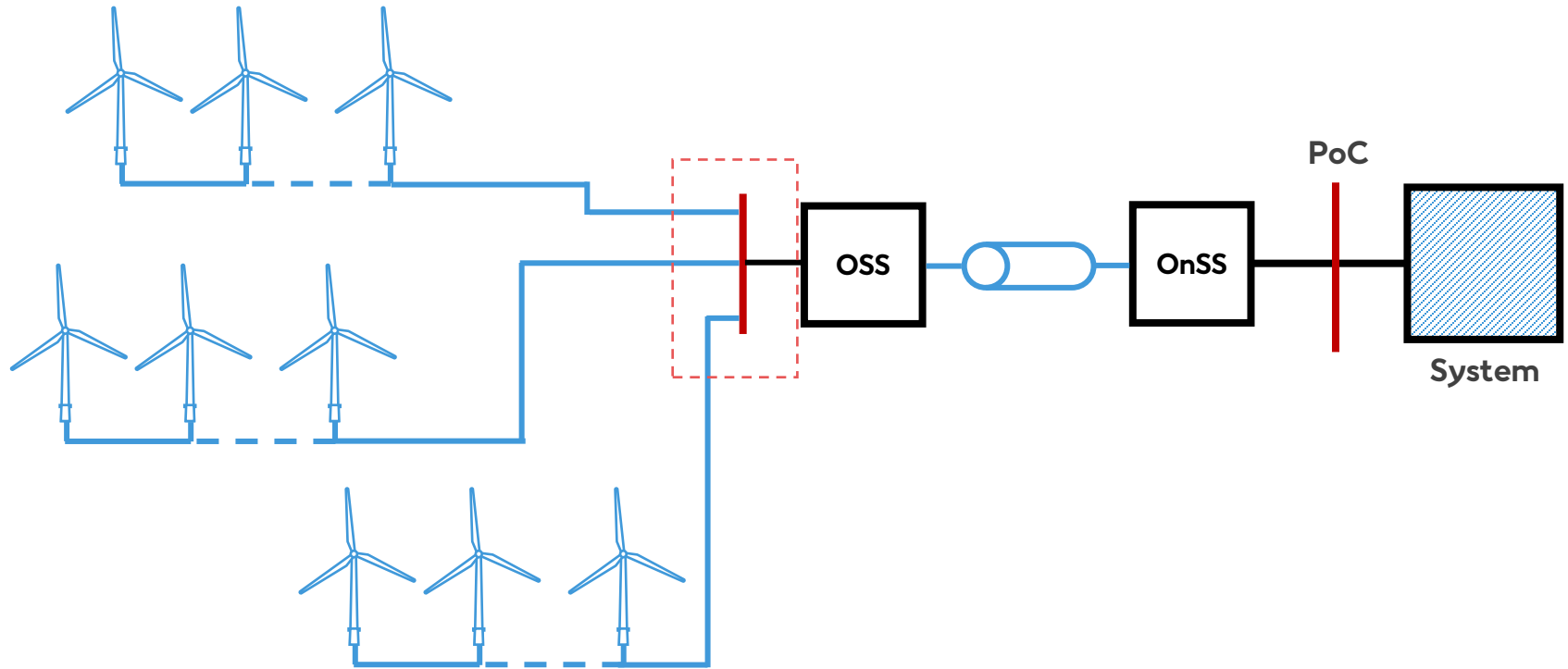
MCOV – Maximum Continuous Operating Voltage (U_c)
TOV – Temporary Overvoltage Capability

Ogranicznik przepięć



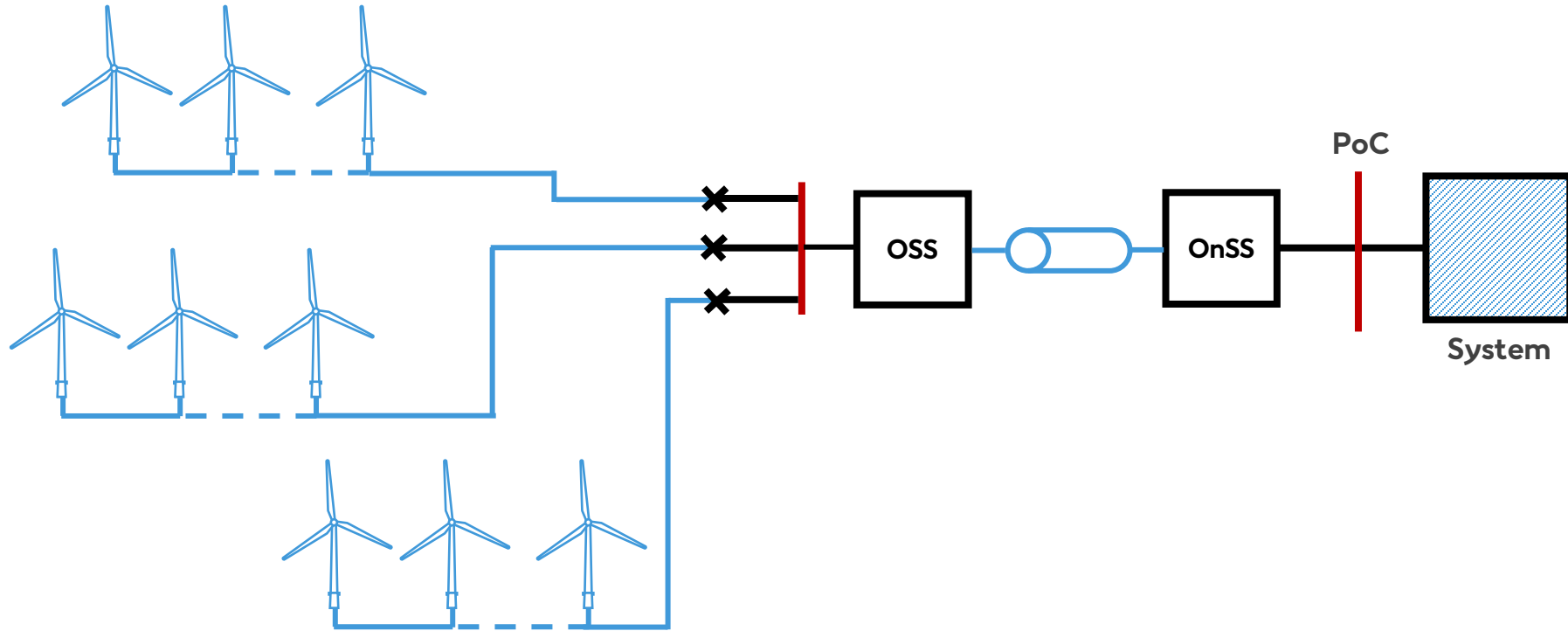
MCOV – Maximum Continuous Operating Voltage (U_c)
TOV – Temporary Overvoltage Capability

System poddany analizie w PSCAD



(*)schemat uproszczony

System poddany analizie w PSCAD



2 lata temu...

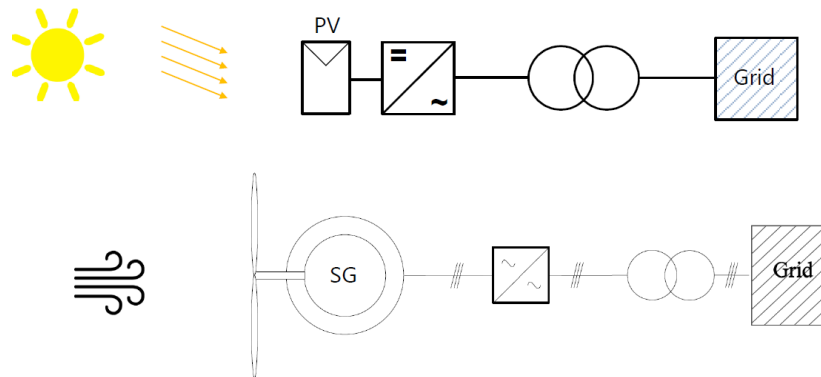
Mały off – topic: wiatrem czy słońcem?

Z pozoru to całkiem różne technologie, prawda?



Ale podobieństw nie brak..

Bardzo podobny zakres analiz!



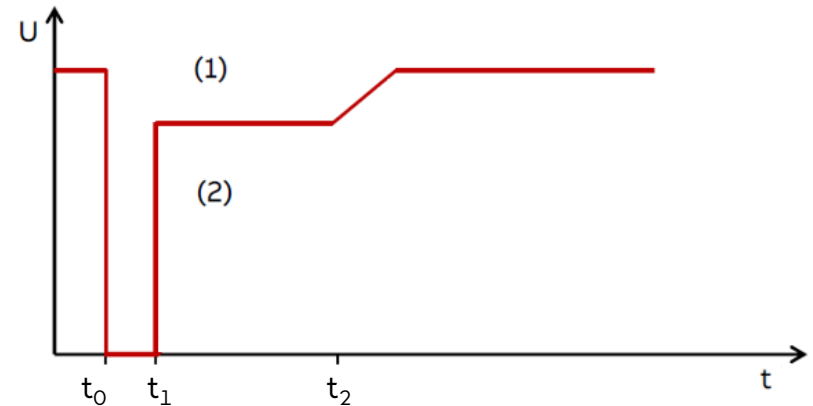
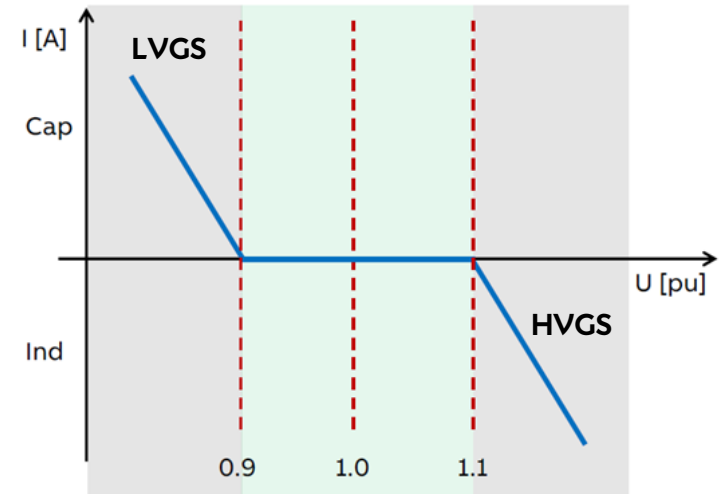
Wsparcie sieci – Grid Support / FRT

Grid support

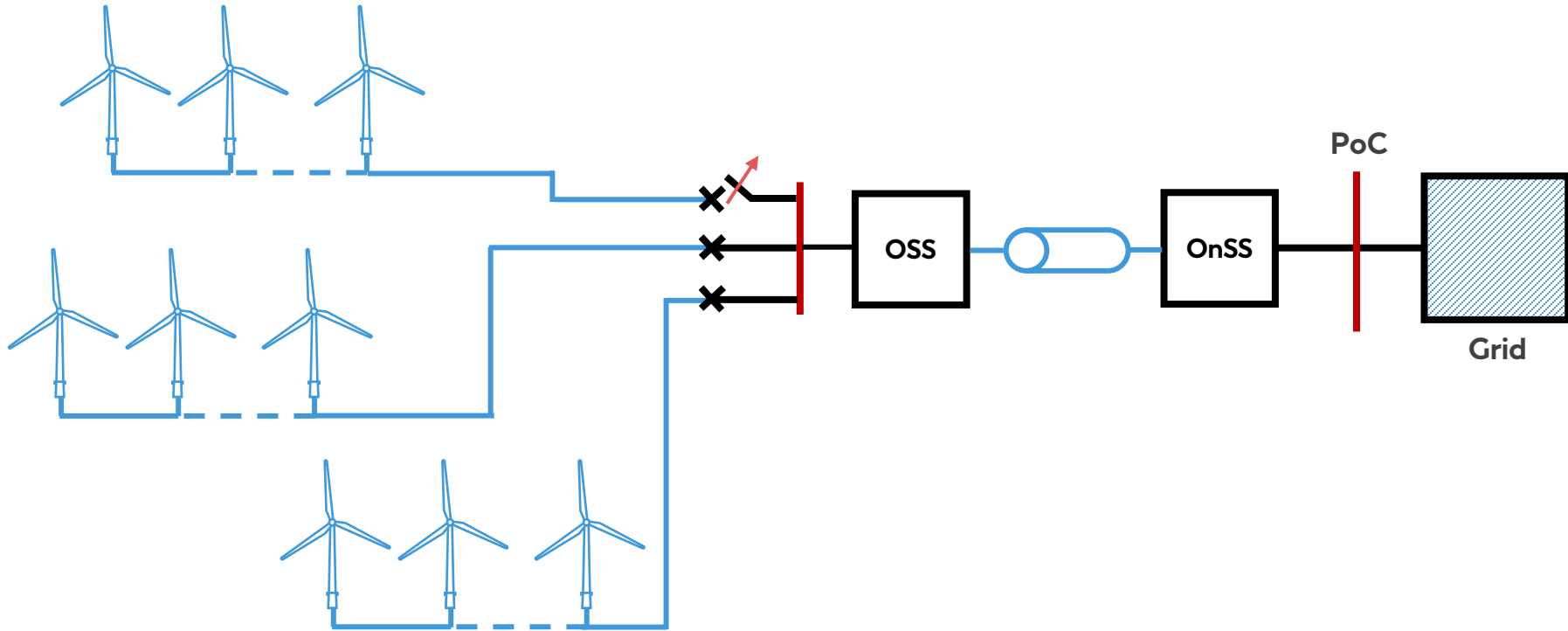
- Typowy zakres w przedziale 0.9 – 1.1 pu
- Generacja mocy biernej pojemnościowej (LVGS)
- Generacja mocy biernej indukcyjnej (HVGS)

FRT – Fault Ride Through

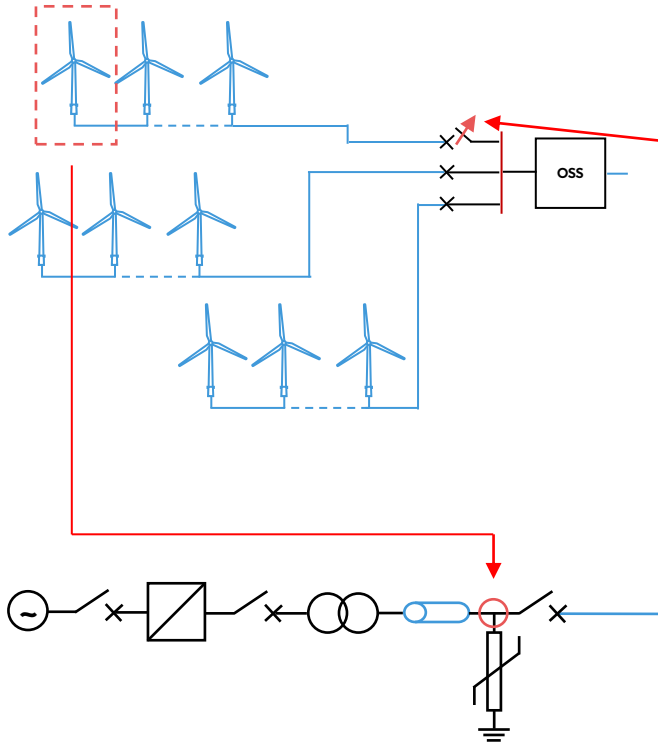
- (1) elektrownia musi pozostać w sieci
- (2) elektrownia musi zostać wyłączona
- LVRT (UVRT wg IEC)
- HVRT (OVRT wg IEC)



Otwarcie wyłącznika w stanie pracy $P = 100\% P_n$ (load rejection)

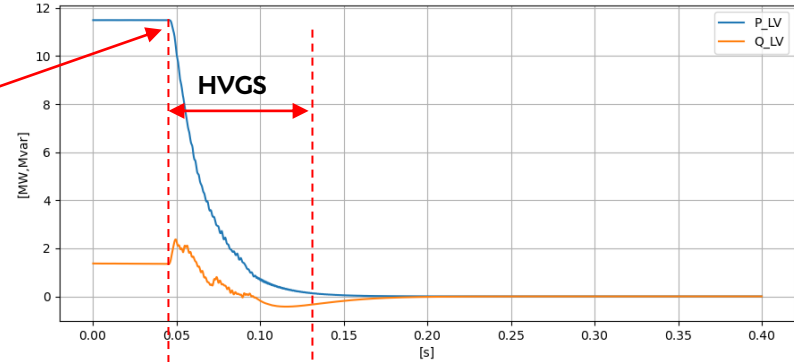


Otwieranie wyłącznika w stanie pracy $P = 100\% P_n$ (load rejection)

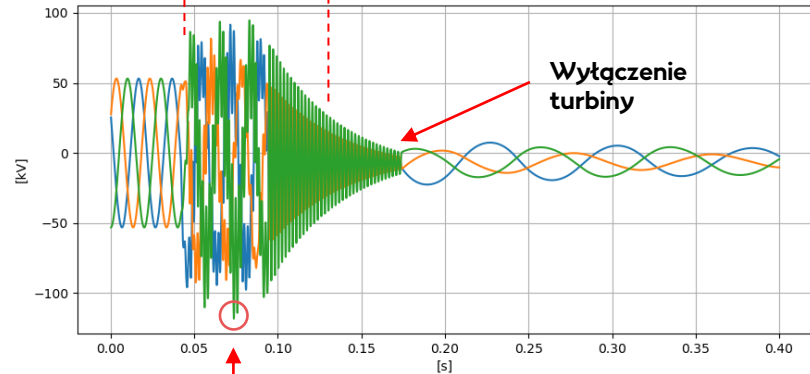


Otwarcie
wyłącznika

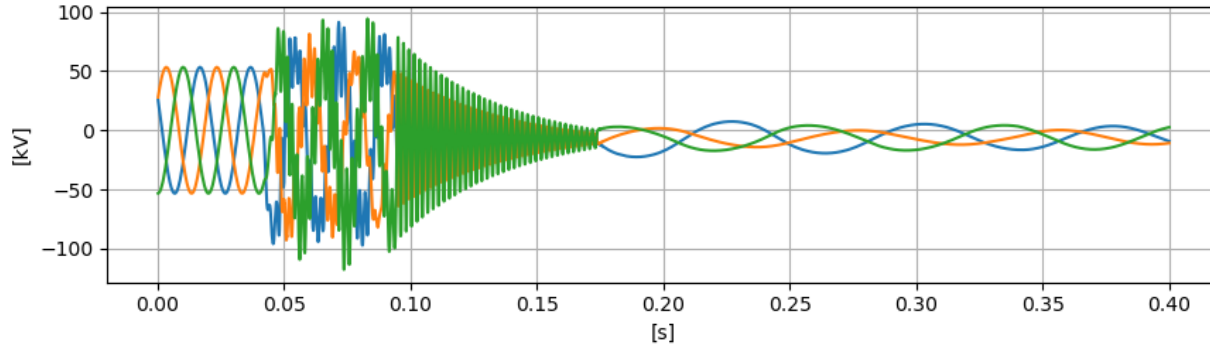
Moc P/Q (0.69 kV)



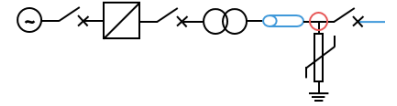
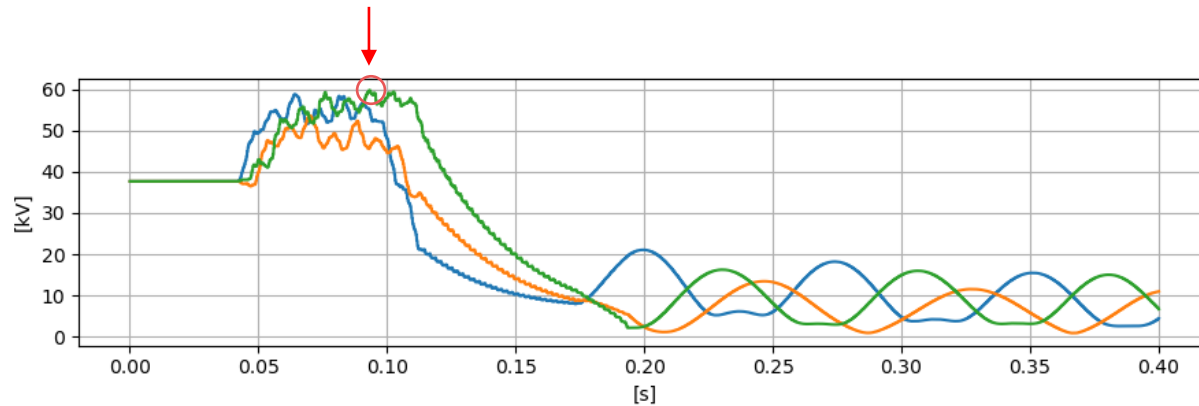
Napięcie U_f (66 kV)



Otwieranie wyłącznika w stanie pracy $P = 100\% P_n$ (load rejection)



Maximum TOV



$$U_n = 66 \text{ kV}$$

L-L RMS

$$U_f = 38 \text{ kV}$$

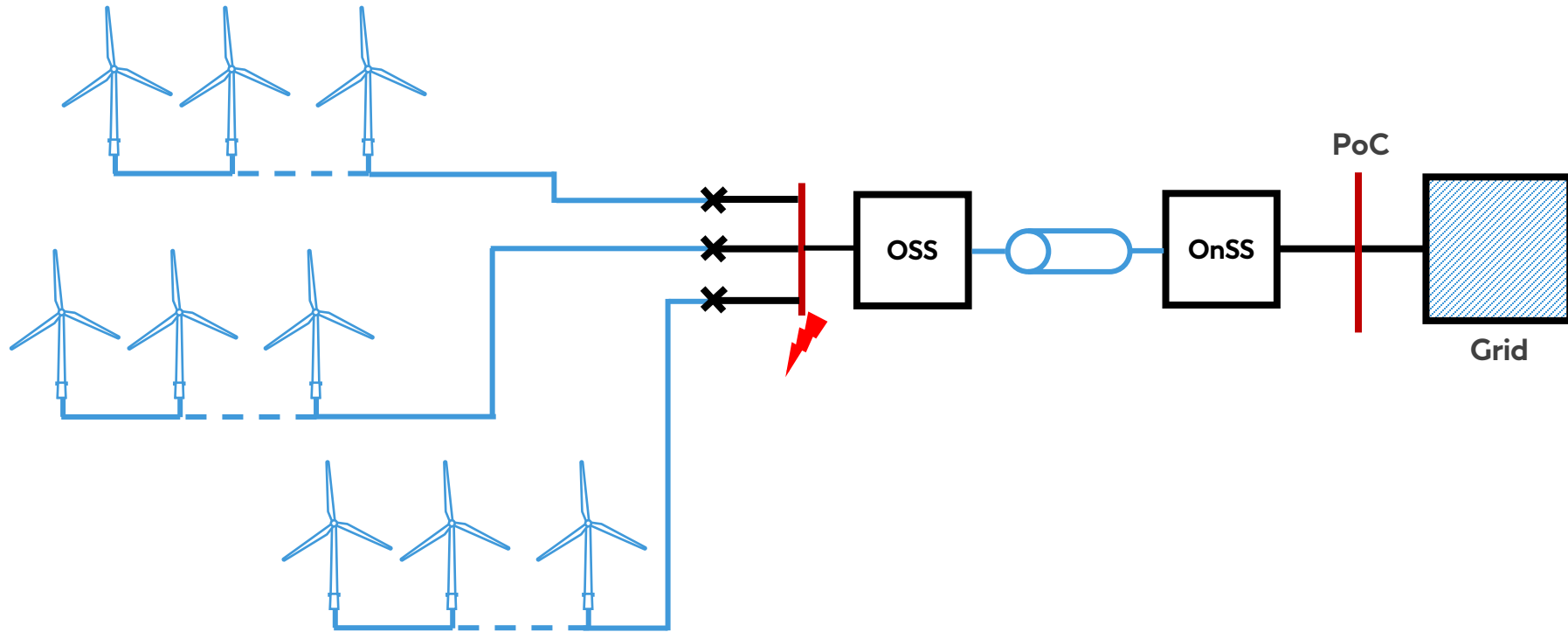
L-G RMS

$$\text{TOV}_{\max} = 60 \text{ kV}$$

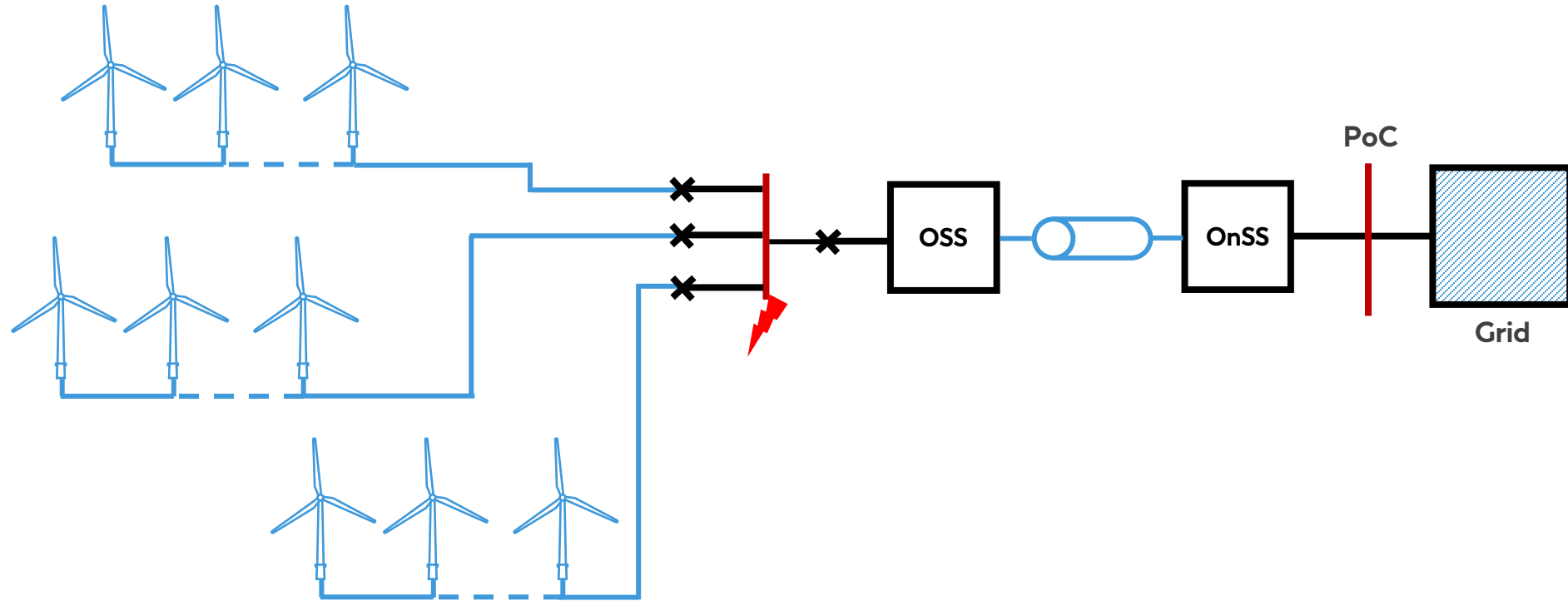
L-G RMS

·
·
·
?
→→→

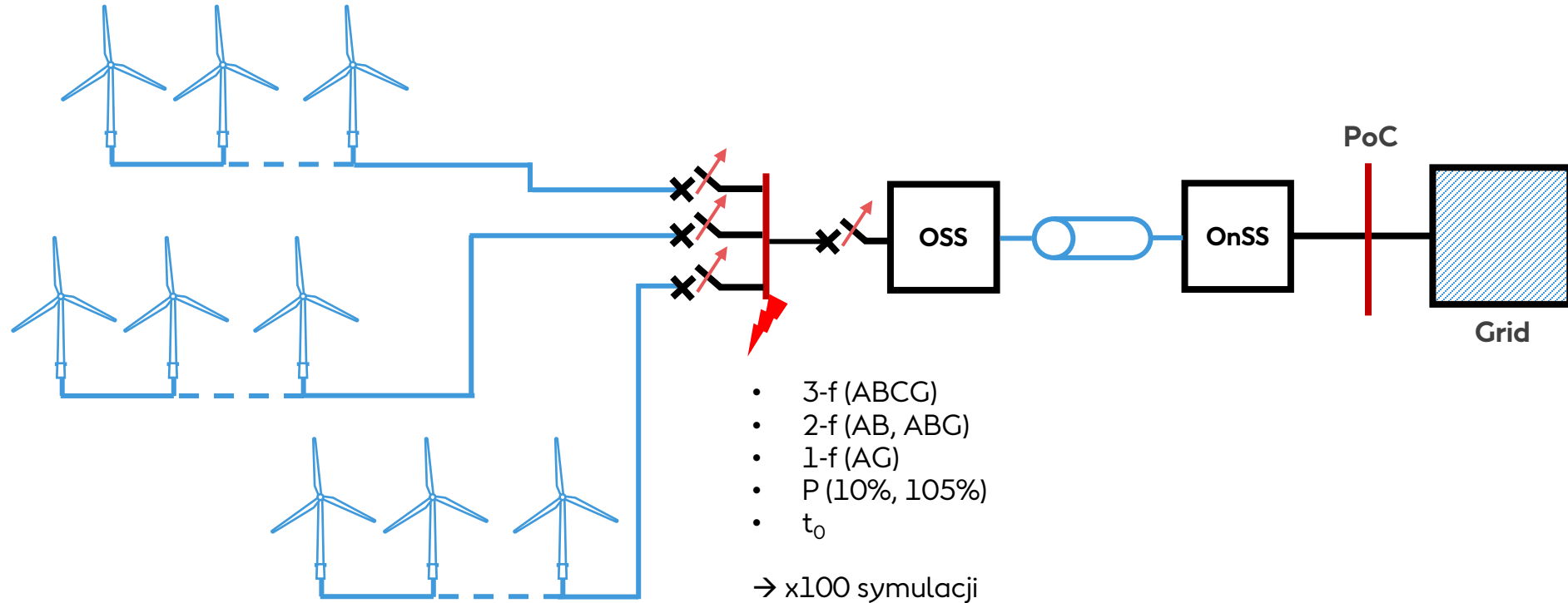
Awaryjne otwieranie wyłączników – podczas zwarcia



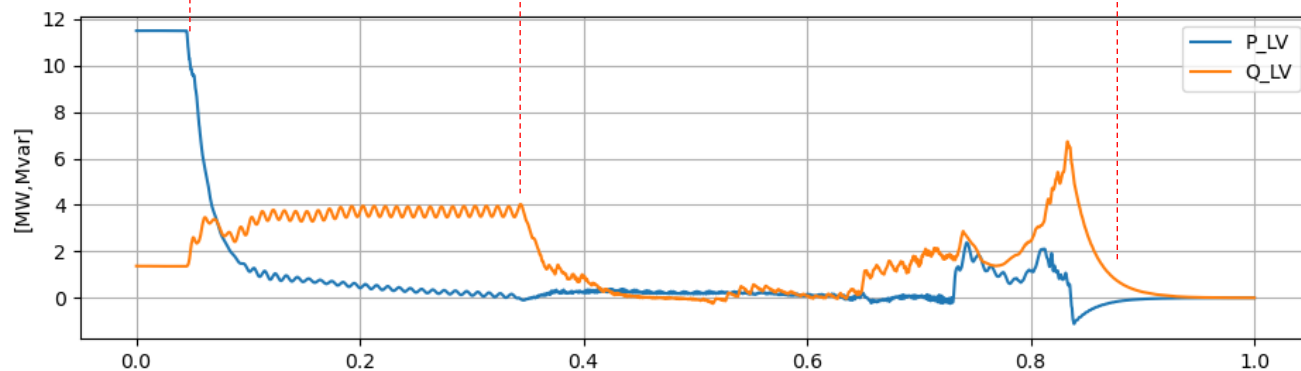
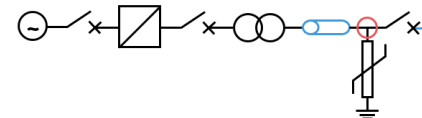
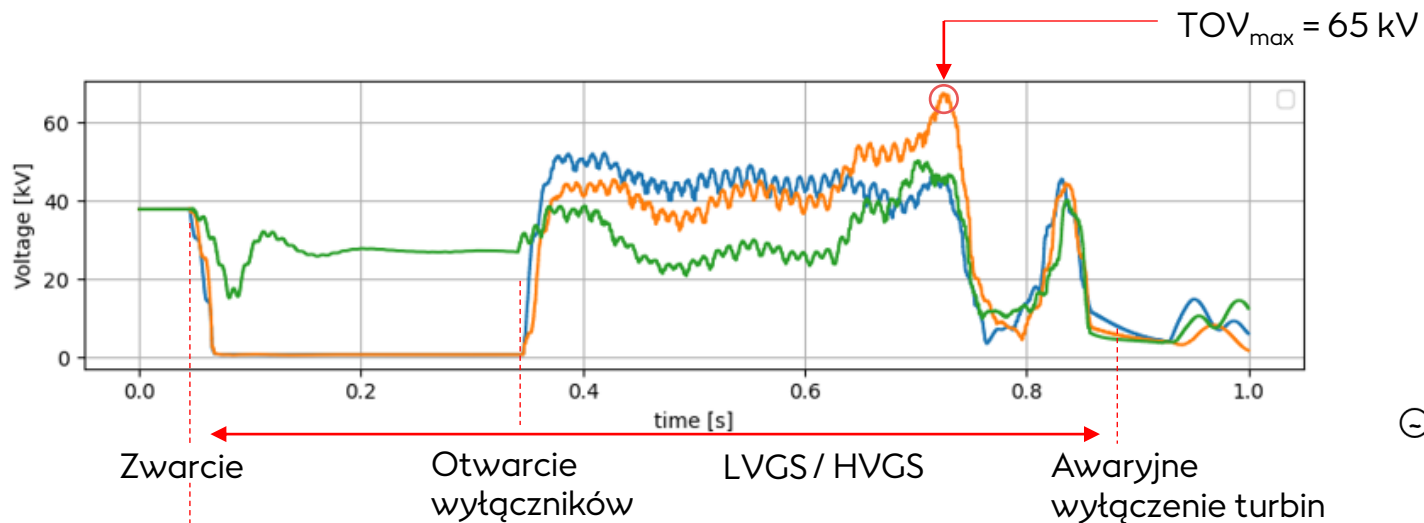
Awaryjne otwieranie wyłączników – podczas zwarcia



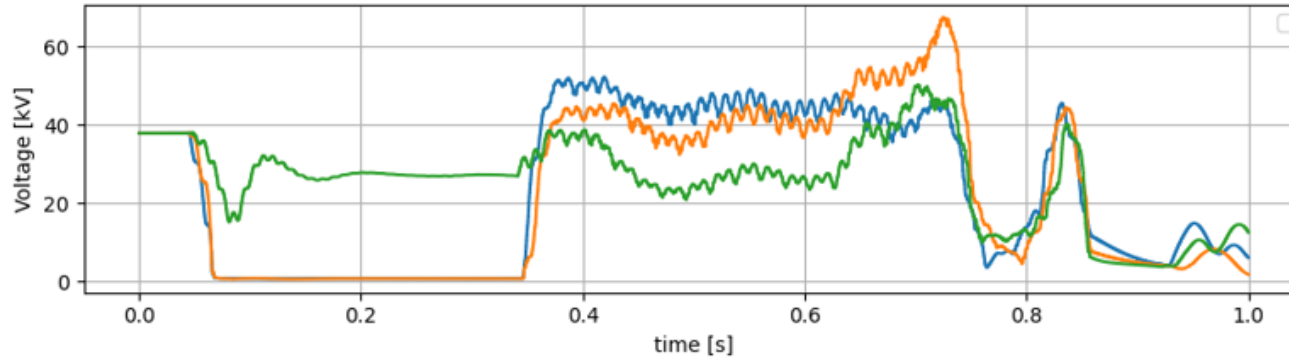
Awaryjne otwieranie wyłączników – podczas zwarcia



Napięcie na zaciskach ogranicznika przepięć

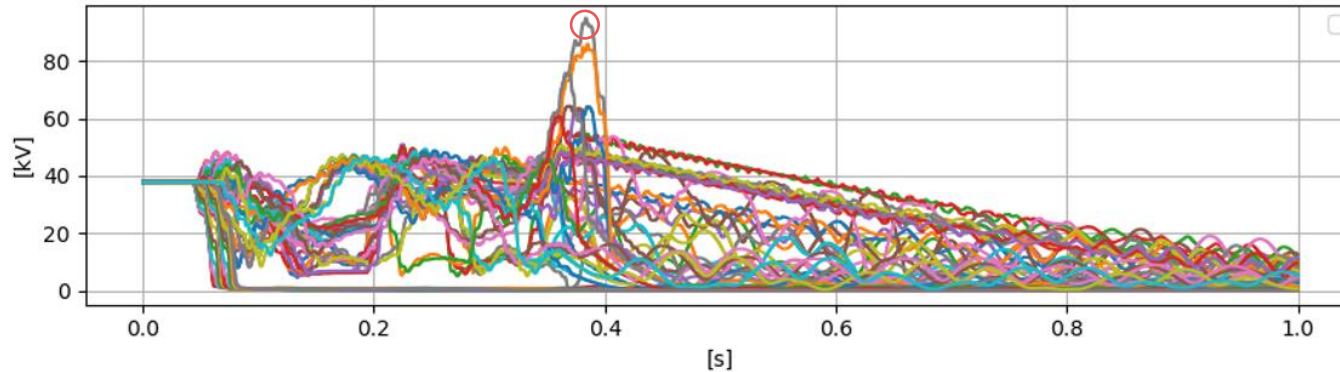


Wariacje symulacji

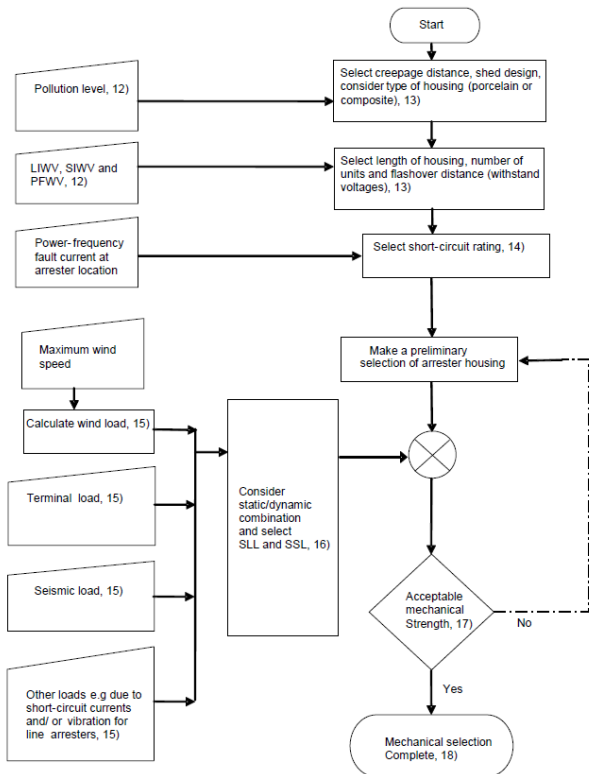


→ Różne chwile zwarcia

$TOV_{max} = 92 \text{ kV} \rightarrow ???$

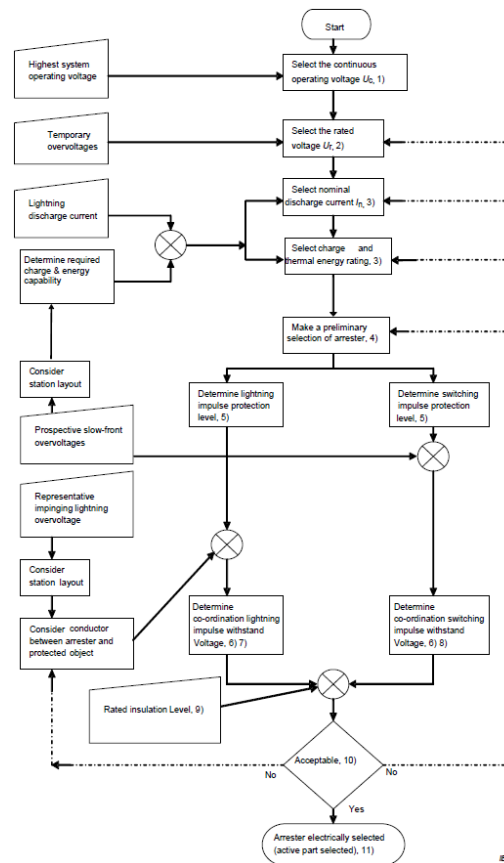


Dobór ogranicznika przepięć – IEC 60099-5:2018

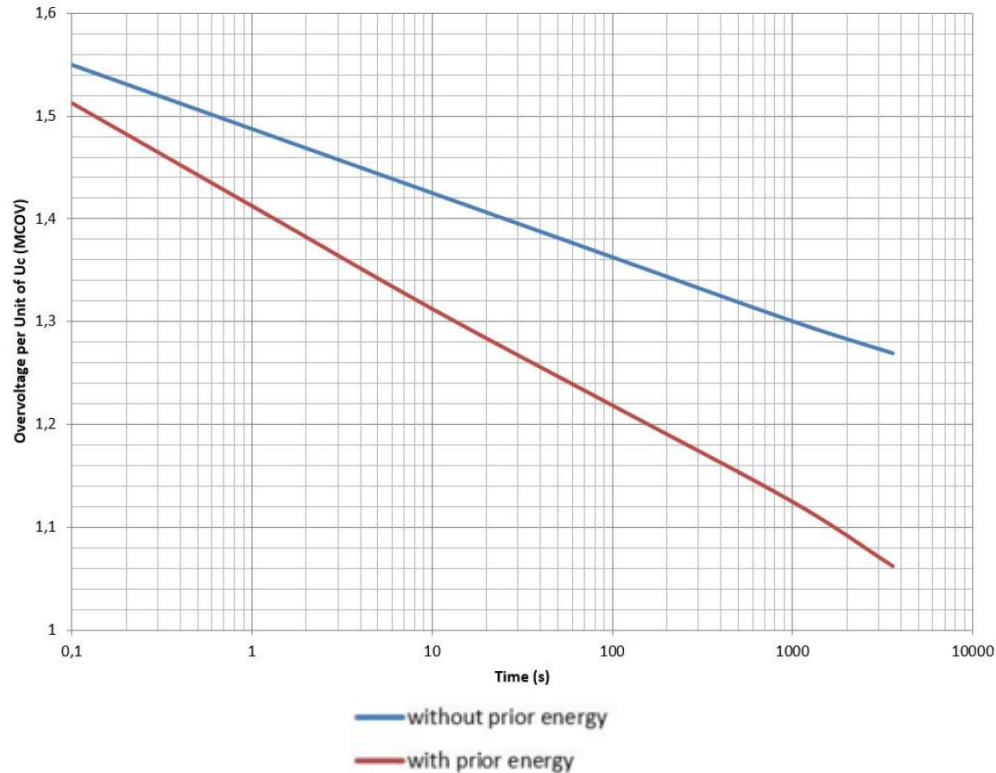


Kryteria wytrzymałości mechanicznej

Kryteria wytrzymałości elektrycznej



Dobór ogranicznika przepięć

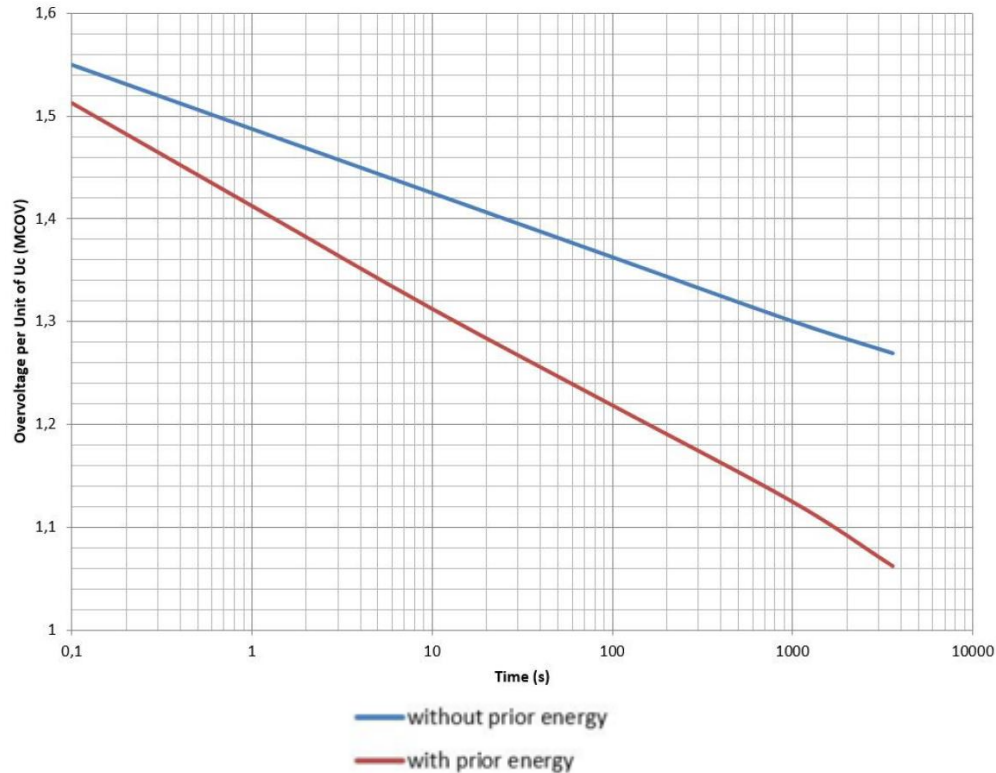


- Podejście klasyczne
- Dobór na podstawie sposobu uziemienia systemu
- Y_n
- D

- Elementy **aktywne**
- Turbiny wiatrowe i ich systemy sterowania
- HVDC
- STATCOM

- TOV → „po zwarciu”

Dobór ogranicznika przepięć



$U_n = 66$ kV L-L RMS
 $U_f = 38$ kV L-G RMS

•

•

TOV1 = 60 kV
TOV2 = 92 kV

•

•

TOVn

U_c / MCOV
Absorpcja energii
Znamionowy Is
 $U(I)$ przy HF

•

•

$U_c = 58$ kV

Po co to robimy? Nie można „tak jakoś łatwiej”?



**Dziękuję
za uwagę**

Tomasz Kuczek
tkucz@orsted.com