POLSKI KOMITET OCHRONY ODGROMOWEJ

Stowarzyszenie Elektryków Polskich

ul. Świętokrzyska 14A, 00-950 Warszawa, tel. (0-22) 556 43 09

Konferencja jubileuszowa

„Ochrona przeciwpożarowa w instalacjach elektrycznych budynków zasilanych z odnawialnych źródeł energii”

Warszawa, 06.11.2026 r.

PROJEKT OCHRONY ODGROMOWEJ I SYSTEMU UZIEMIENIA MAGAZYNU ENERGII BESS

dr inż. Konrad Sobolewski

Przewodniczący PKOO
Politechnika Warszawska
Ekspert w zakresie ochrony odgromowej

mgr inż. Jerzy Ustarbowski

Wiceprzewodniczący PKOO
BUD-EL Sp. z o.o.
Rzeczoznawca budowlany / Rzeczoznawca VdS

Warszawa, 06.11.2026 r.

PLAN PREZENTACJI

1. Wprowadzenie – rola magazynów energii
2. Budowa BESS i źródła zagrożeń
3. Projekt - analiza ryzyka
4. Projekt – obliczenie wymaganego odstępu separującego
5. Projekt - zewnętrzna ochrona odgromowa (LPS)
6. Projekt - system uziemienia
7. Projekt - wewnętrzna ochrona odgromowa
8. Problemy praktyczne i wnioski
9. Podsumowanie

WPROWADZENIE

Co to jest BESS?

BESS (**B**attery **E**nergy **S**torage **S**ystem) to bateryjny system magazynowania energii, czyli instalacja, która pozwala gromadzić energię elektryczną i oddawać ją do sieci lub odbiorników w kontrolowany sposób.

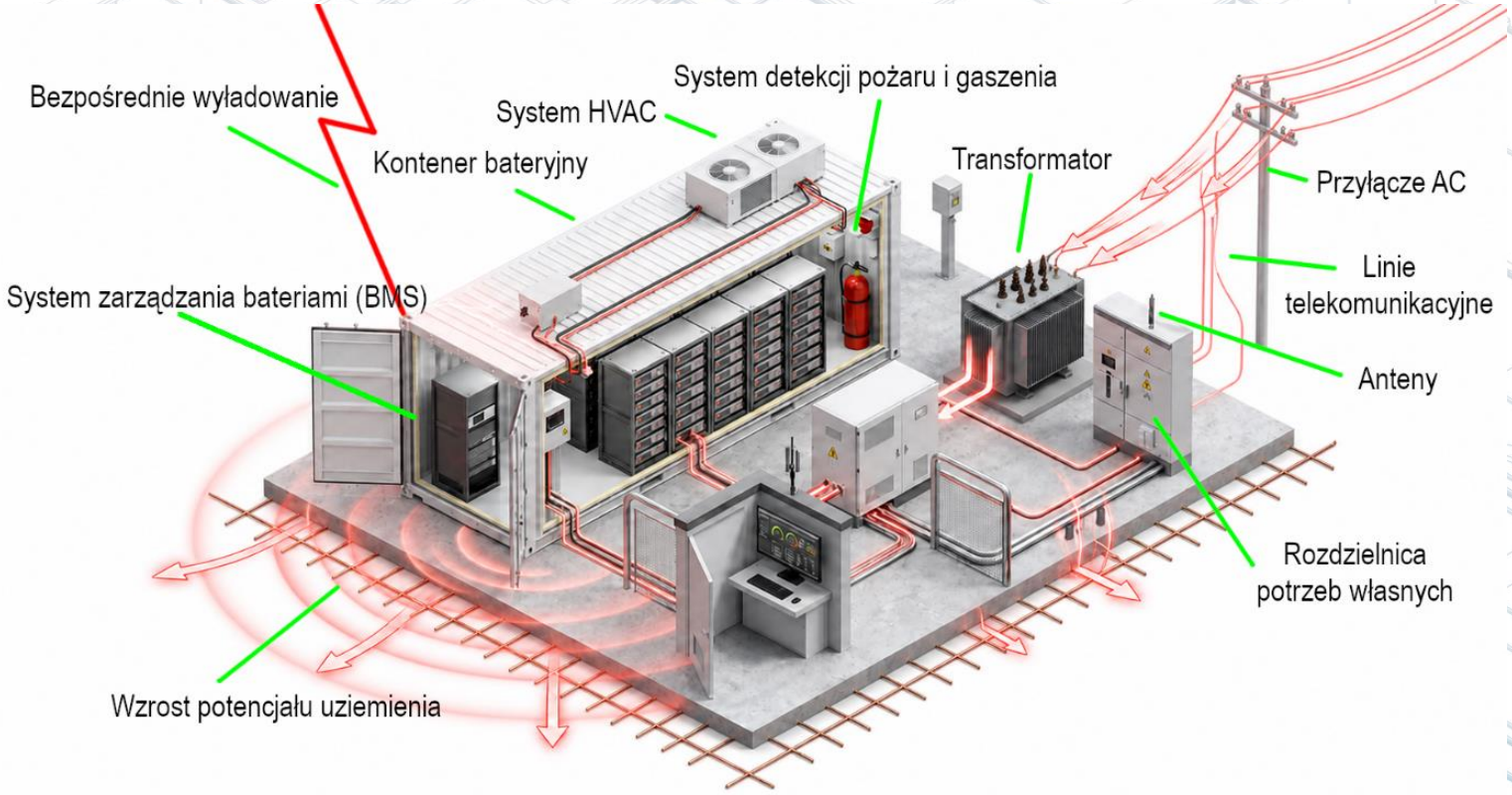


WPROWADZENIE

Rola magazynów energii w systemie elektroenergetycznym

- ✓ **Stabilizacja sieci elektroenergetycznej**: BESS pomaga zrównoważyć zmienną produkcję z odnawialnych źródeł energii (OZE) i zapobiega zakłóceniom w dostawach, zapewniając stały dopływ energii;
- ✓ **Optymalizacja kosztów**: umożliwiają magazynowanie energii, gdy jest ona tania (np. w środku słonecznego dnia lub w nocy) i sprzedaż lub wykorzystanie jej, gdy jest droga, co zwiększa opłacalność inwestycji;
- ✓ **Ograniczanie szczytowych poborów mocy (Peak Shaving):** BESS pozwala dużym zakładom produkcyjnym redukować pobór mocy z sieci w momentach największego zapotrzebowania, co znacznie obniża opłaty za energię;
- ✓ **Wsparcie dla OZE**: BESS niweluje zjawisko "odcinania" farm wiatrowych i fotowoltaicznych przez operatorów sieci, magazynując nadmiar energii, której sieć nie jest w stanie przyjąć;
- ✓ **Świadczenie usług systemowych**: magazyny BESS są wykorzystywane do regulacji częstotliwości i napięcia, co jest niezbędne dla bezpiecznej pracy systemu elektroenergetycznego;
- ✓ **Zasilanie awaryjne**: zapewniają ciągłość dostaw energii dla krytycznej infrastruktury lub zakładów przemysłowych w przypadku awarii sieci.

Jak zbudowany jest BESS?

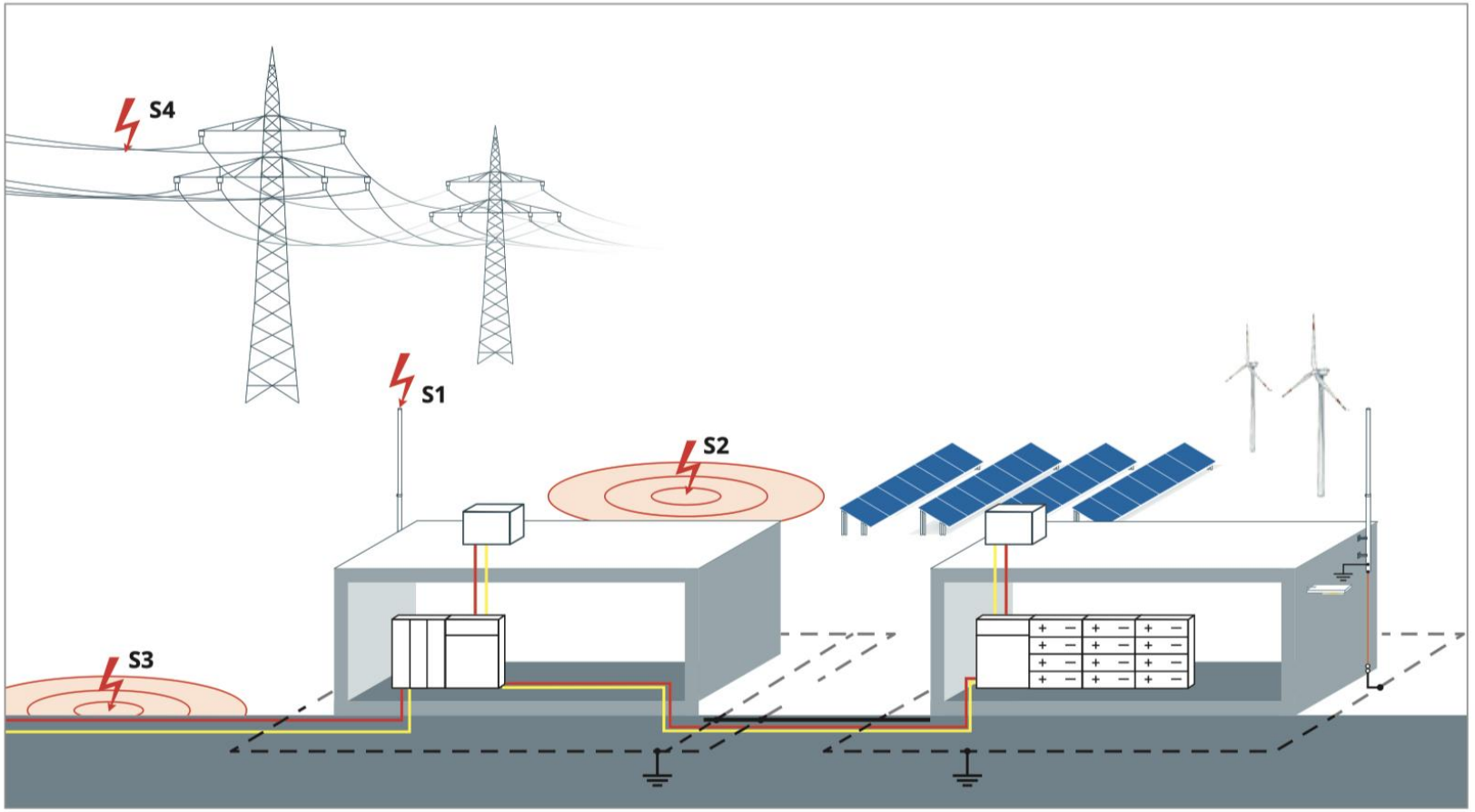


1. Baterie (Battery Racks)
   - ✓ najczęściej Li-ion
   - ✓ zabudowane w kontenerach
   - ✓ modułowa konstrukcja

2. PCS – Power Conversion System
   - ✓ przekształtniki AC/DC, które umożliwiają przepływ energii z sieci do baterii i odwrotnie

3. System sterowania (BMS / EMS)
   - ✓ BMS – zarządza bateriami (temperatura, napięcia, bezpieczeństwo)
   - ✓ EMS/SCADA – zarządza pracą całego systemu
   - ✓ Rozległe połączenia kablowe (zasilanie, sterowanie, sygnalizacja)

Jakie są źródła zagrożeń?



S1 – wyładowania bezpośrednie

S2 – wyładowania w pobliżu obiektu

S3 – wyładowania w pobliżu linii zasil. i telekom.

S4 – wyładowania w linię zasilającą
+ przepięcia łączeniowe

Czy BESS wymaga ochrony odgromowej?

⚠ BESS to:

- ✓ obiekt energetyczny z drogą i wrażliwą elektroniką (PCS, BMS, EMS)
- ✓ bardzo duża koncentracja energii – realne zagrożenia dla środowiska
- ✓ obiekt o dużej wrażliwości na zakłócenia (EMC) – utrata sterowania może uniemożliwić bezpieczne wyłączenie obiektu.

⚠ Zatem BESS to obiekt wysokiego ryzyka, który wymaga:

- ✓ systemu zewnętrznej i wewnętrznej ochrony odgromowej (LPS)
- ✓ systemowo zaprojektowanego układu uziemienia:
  - siatka uziemiająca pod całym terenem,
  - wyrównanie potencjałów pomiędzy poszczególnymi elementami obiektu,
  - integracja ze stacją WN/SN

  z uwzględnieniem rozpływu prądów zwarciowych oraz rozkładu napięć krokowych i dotykowych.

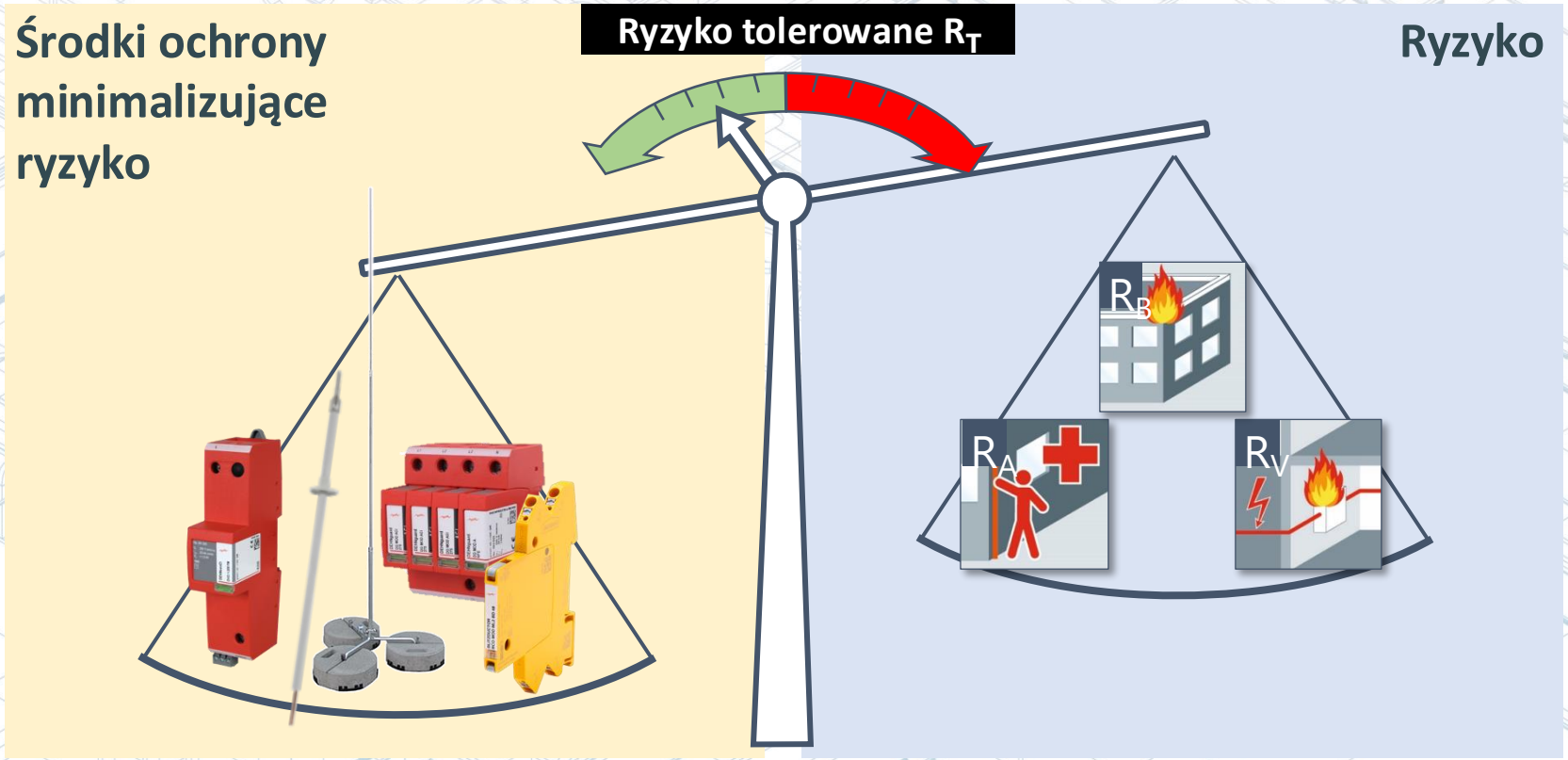
PRZYKŁAD PRAKTYCZNY – BESS 60 MW

Założenia projektowe:

- ✓ Moc: 60 MW / 120 MWh
- ✓ Lokalizacja: teren otwarty, centralna Polska
- ✓ Układ:
  - ok. 50 kontenerów bateryjnych (ok. 1 MW każdy),
  - 17 kontenerów PCS (przekształtniki),
  - stacja transformatorowa 110 kV / SN – 13 transformatorów,
  - system EMS/SCADA.
- ✓ Elementy infrastruktury:
  - pompownia pożarowa,
  - budynek techniczny
  - ogrodzenie,
  - oświetlenie terenu, monitoring CCTV,
  - drogi technologiczne, dojścia do obiektów.

PROJEKT LPS – BESS 60 MW

ETAP 1 - ANALIZA RYZYKA



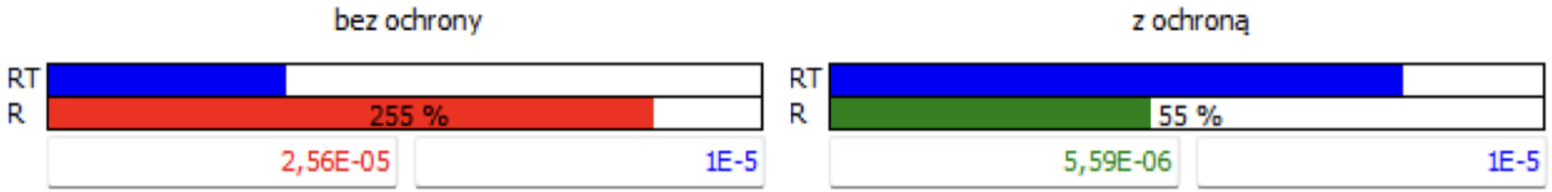
Analiza ryzyka umożliwia wyznaczenie wymaganego poziomu ochrony (LPL I-IV).

W omawianym projekcie wyznaczono LPL poziom IV.

PROJEKT LPS – BESS 60 MW

ETAP 1 - ANALIZA RYZYKA

Ochrona odgromowa
Analiza ryzyka



Aby zredukować istniejące ryzyko, stosuje się środki ochrony opisane w 6.

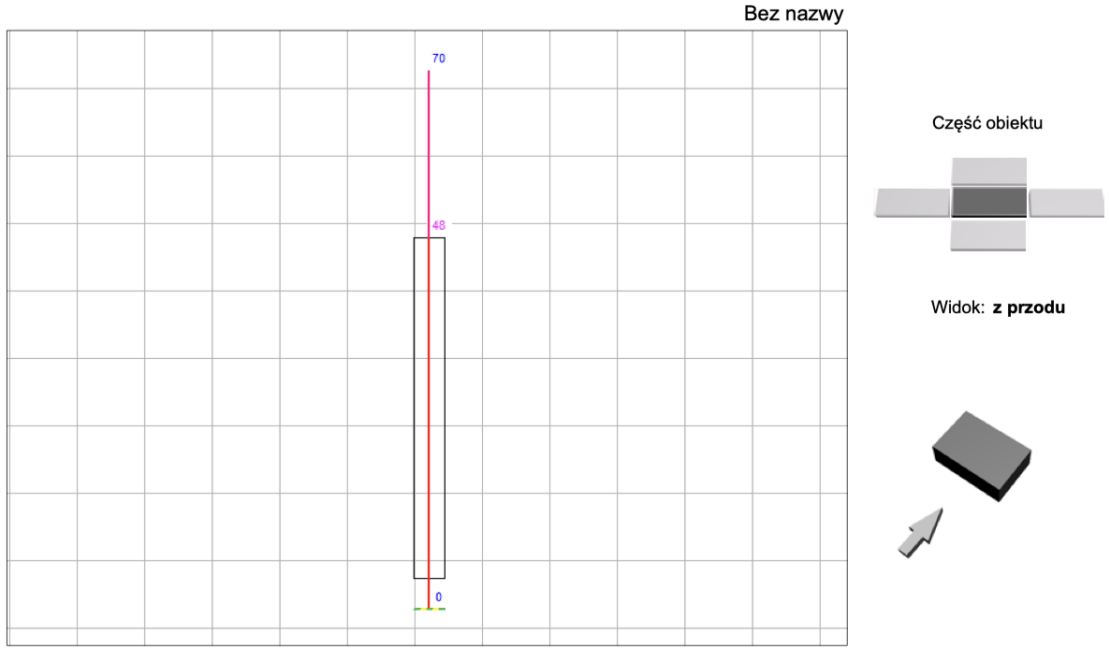
Środki ochrony Z ochroną / stan docelowy:

Powierzchnia		Środki ochrony	Współczynnik
	pB:	Urządzenie piorunochronne (LPS) **LPS klasy IV**	2.000E-01
	pEB:	Ekwipotencjalizacja Ekwipotencjalizacja dla LPL III lub IV	3.000E-02

PROJEKT LPS – BESS 60 MW

ETAP 2 – obliczenie wymaganego odstępu separującego „s”





Aktualny widok: Obiekt główny / z przodu
Odstęp izolacyjny w cm

Dane do obliczenia:
Wybrana klasa ochrony odgromowej: IV
Prąd: 100 kA
k_m - Współczynnik materiałowy km: 1
Poziom potencjału: -1 m
Wymagany odstęp separacyjny: 48 cm

Wymiary obiektu:
Długość: -
Szerokość: -
Wysokość: 16,38 m

DEHN Distance Tool - wersja 23/07 (3.260); © Copyright 2022 DEHN SE

- ✓ LPS IV (I_{ud}= 100 kA)
- ✓ Zwody pionowe h=16m
- ✓ k_m= 1 m (powietrze)

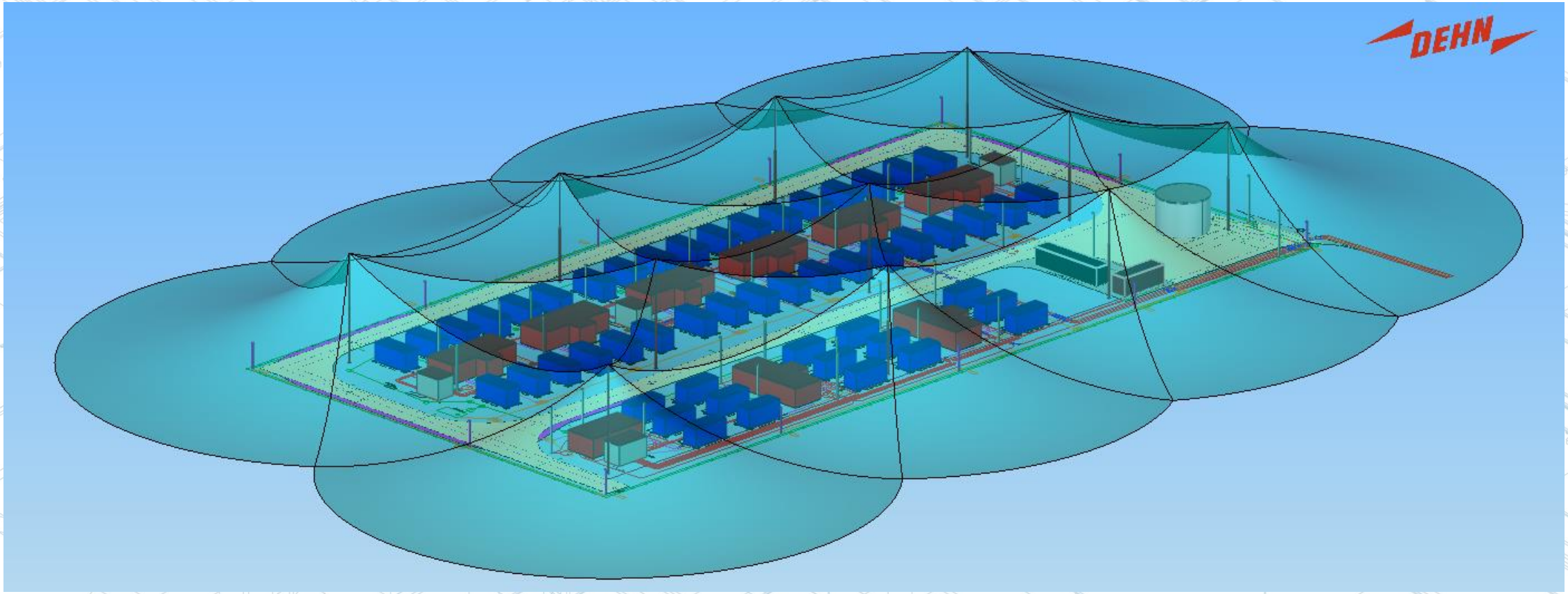
$$s = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot l$$

s = 0,48 m dla powietrza

(s = 0,96 m w materiale stałym)

PROJEKT LPS – BESS 60 MW

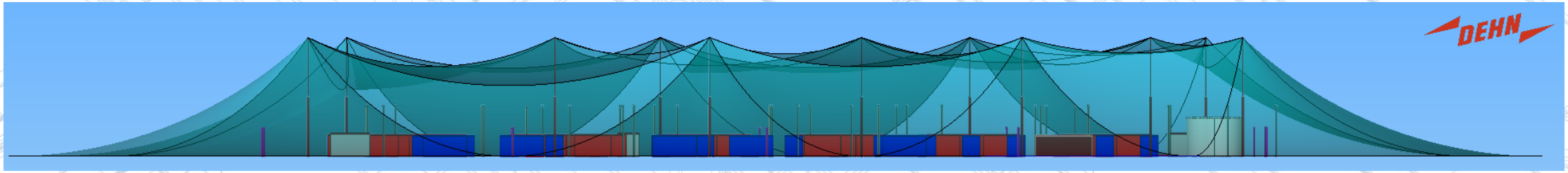
ETAP 3 – LPS zewnętrzny



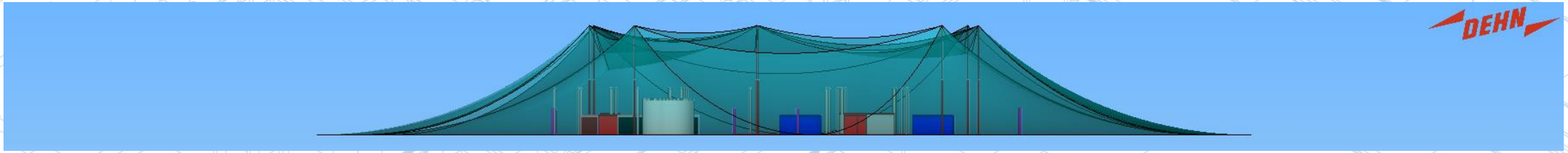
Rysunek 1. Model obiektu wraz z wizualizacją stref ochronnych LPZ (wykonano w środowisku 3D DehnPlan)

PROJEKT LPS – BESS 60 MW

ETAP 3 – LPS zewnętrzny



Rysunek 2. Model obiektu (widok od wschodu) z wizualizacją stref ochronnych LPZ



Rysunek 3. Model obiektu (widok od północy) z wizualizacją stref ochronnych LPZ

PROJEKT LPS – BESS 60 MW

ETAP 4 – system uziemienia

WYMAGANIA:

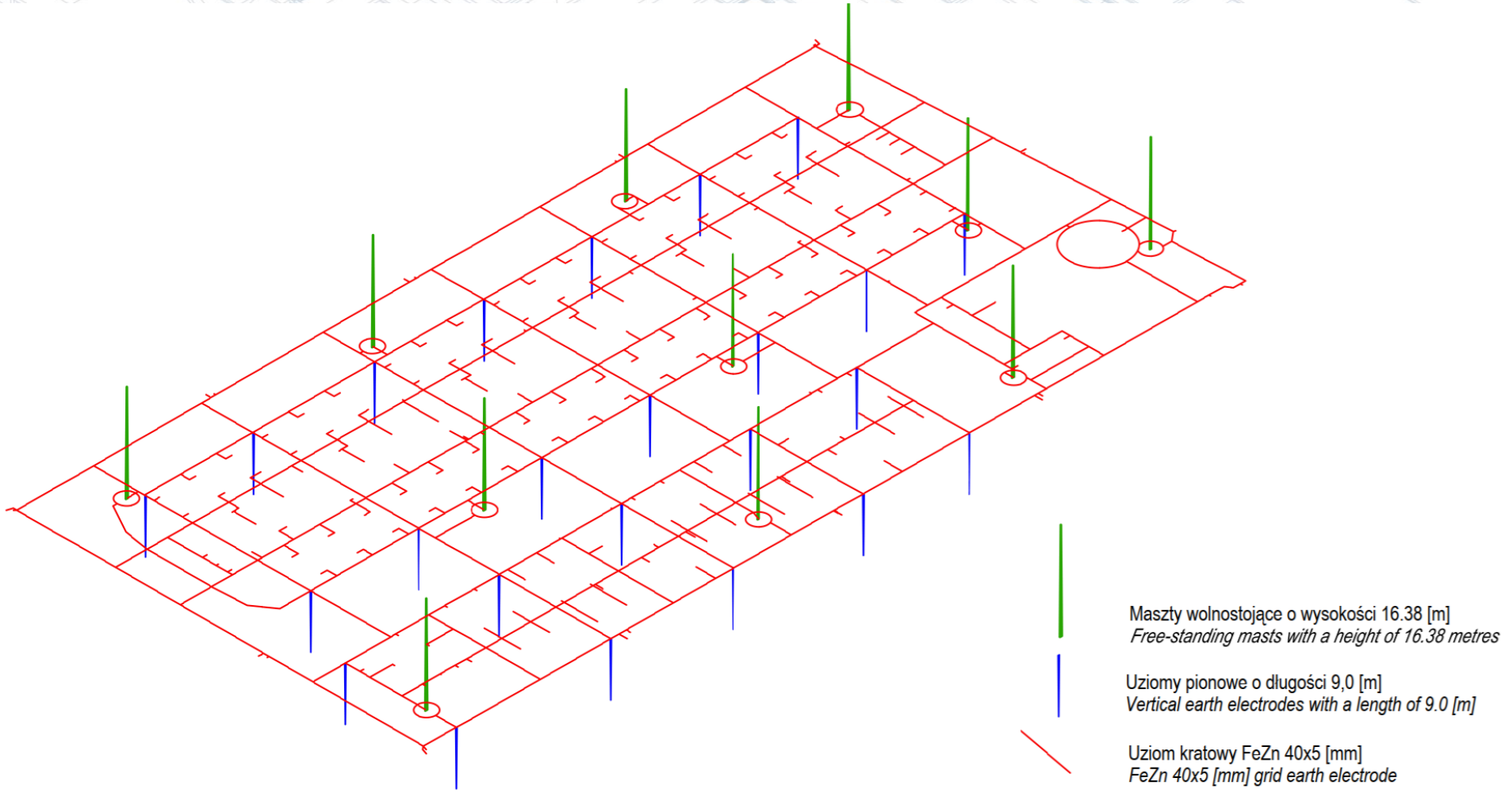
- ✓ uziom kratowy o rezystancji $R_{wym} \leq 0{,}9\ \Omega$ (na podstawie obliczeń zwarciowych),
- ✓ ograniczenie wartości napięć krokowych i dotykowych,
- ✓ konieczność wyrównania potencjałów,
- ✓ zapewnienie skutecznego odprowadzenia prądów piorunowych do ziemi.

NORMY:

- ✓ PN-HD 60364-5-54:2011 – instalacje elektryczne niskie napięcie,
- ✓ PN-EN 50522:2011/2022 – instalacje >1 kV,
- ✓ PN-EN 62305-3:2011 – projektowanie ochrony odgromowej, wymagania dot. uziemień,
- ✓ PN-EN 62561-2:2018 – specyfikacje elementów instalacji piorunochronnych,
- ✓ DIN 18014:2023-06 - Erdungsanlagen für Gebäude - Planung, Ausführung und Dokumentation
- ✓ IEEE Std 80™-2013 IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, Revision of IEEE Std 80-2000

PROJEKT LPS – BESS 60 MW

ETAP 4 – system uziemienia – model



PROJEKT LPS – BESS 60 MW

ETAP 4 – system uziemienia - obliczenia

WYMAGANIA:

Rezystancję projektowanego uziomu poziomego (kratowego) rozbudowanego o uziomy pionowe R_A obliczono metodą analityczną wykorzystując wzory Schwarza

$$R_A = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

gdzie:

R_1 - rezystancja uziemienia kratowego [Ω]

R_2 - rezystancja układu uziomów pionowych [Ω]

R_m - wzajemna rezystancja między uz. kratowym a uz. pionowym [Ω]

$R_{A\,wym}$ - wymagana wartość rezystancja uziemienia $R_{A\,wym} \leq 0{,}9$ [Ω]

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_C} \cdot \left[ln\left(\frac{2L_C}{a'}\right) + k_1 \frac{L_C}{\sqrt{A}} - k_2 \right]$$

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_R L_R} \cdot \left[ln\left(\frac{4L_R}{b}\right) - 1 + \frac{2k_1 \cdot L_R}{\sqrt{A}} \cdot (\sqrt{n_R} - 1)^2 \right]$$

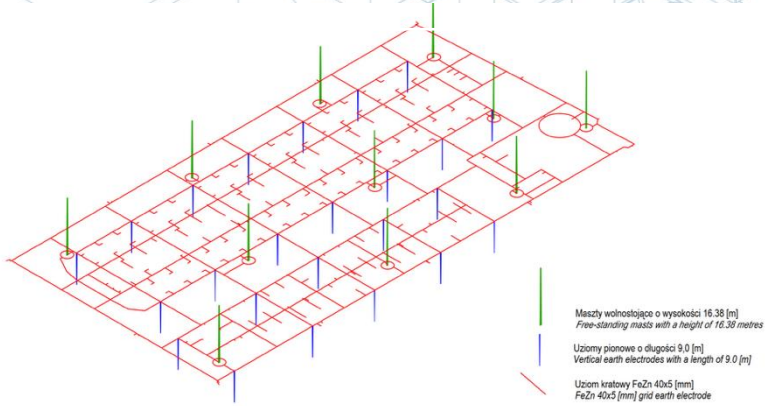
$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_C} \cdot \left[ln\left(\frac{2L_C}{L_R}\right) + \frac{k_1 L_C}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right]$$

PROJEKT LPS – BESS 60 MW

ETAP 4 – system uziemienia – wyniki obliczeń

Zmiana ilości uziomów pionowych (**bazowa n_R=24szt.**, każdy po **L_R=9m**):

n_R [szt]	R_1[Ω]	R_2[Ω]	R_A[Ω]
20	0,9398	0,9700	0,9062
22	0,9398	0,9100	0,8907
24	**0,9398**	**0,8700**	**0,8689**
26	0,9398	0,8300	0,8119
28	0,9398	0,8000	0,6182



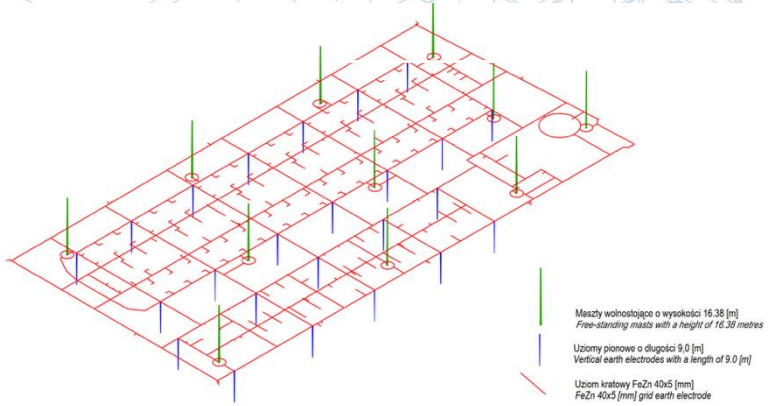
$$R_A = 0,8689\Omega \leq 0,9\ \Omega$$

PROJEKT LPS – BESS 60 MW

ETAP 4 – system uziemienia – wyniki obliczeń

Zmiana rezystywności gruntu (**bazowa 190 Ωm**):

ρ [Ωm]	R_1[Ω]	R_2[Ω]	R_A[Ω]
100	0,4946	0,8700	0,4903
190	**0,9398**	**0,8700**	**0,8689**
500	2,4732	0,8700	2,5077
1000	4,9465	0,8700	4,9971



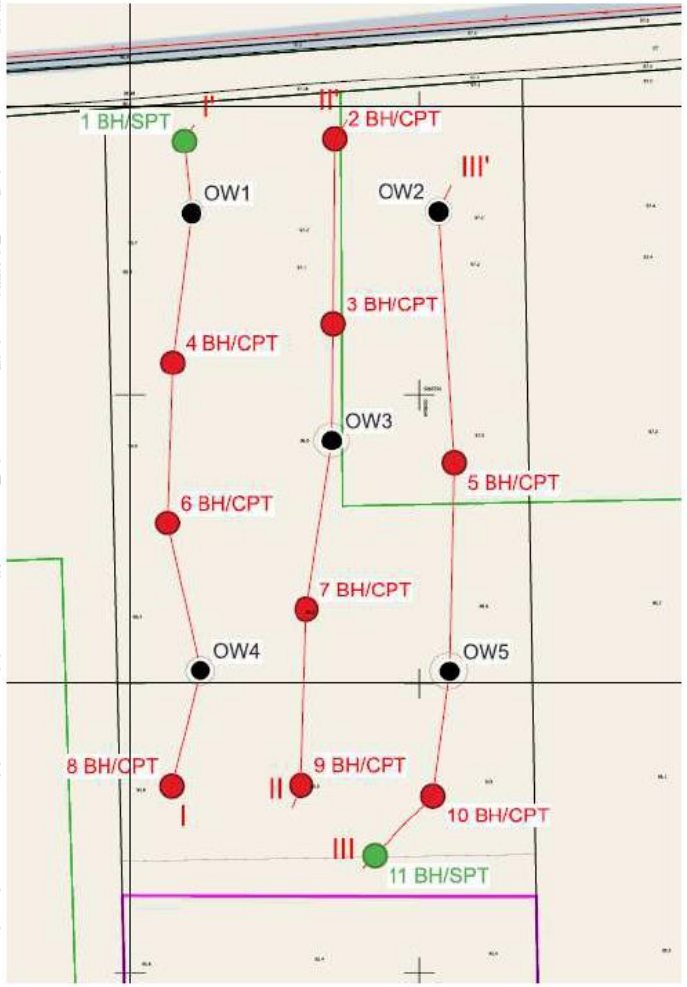
- **zmiana bardzo istotna!**

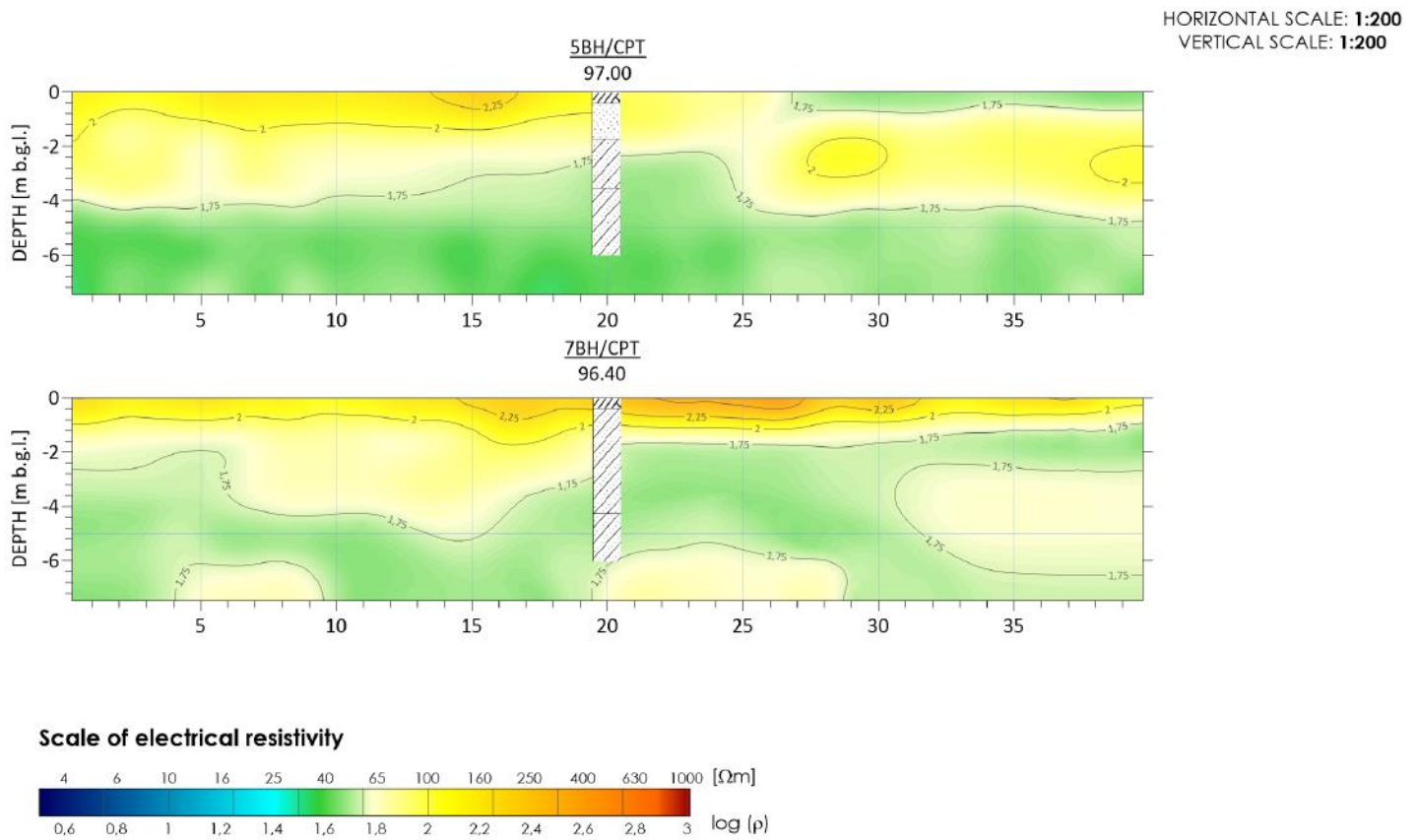
WNIOSEK:

<u>konieczne są pomiary rezystywności gruntu w miejscu instalacji z uwzględnieniem uwarstwienia!</u>

PROJEKT LPS – BESS 60 MW

Rezystywność na podstawie badań gruntu:





WNIOSEK:

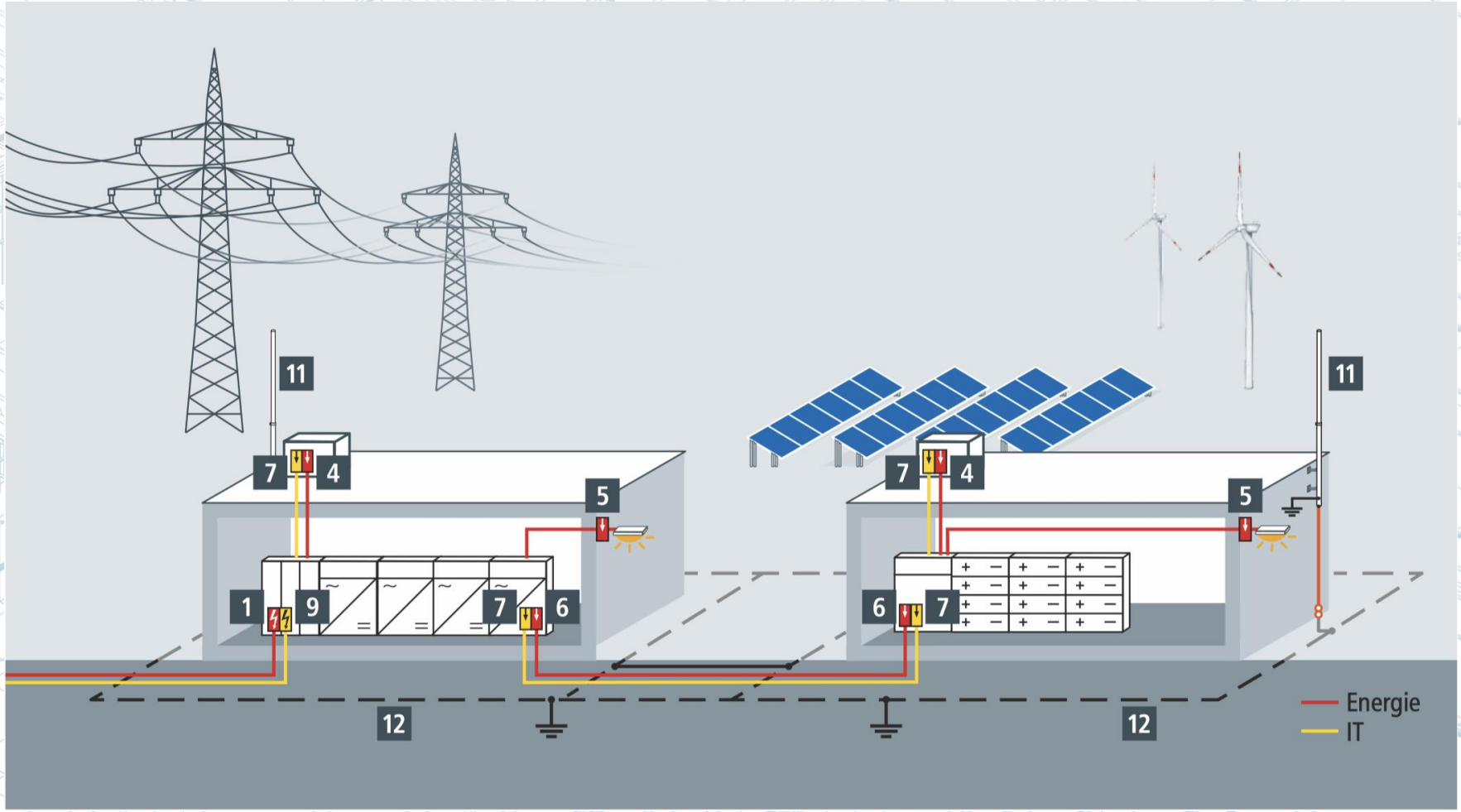
Wykonać pomiary metodą Wenera dla różnych rozstawów sond pomiarowych!

PROJEKT LPS – BESS 60 MW

ETAP 5 – LPS wewnętrzny (ochrona przeciwprzepięciowa)

SPD Typu 1

SPD Typu 2



Na granicy każdej strefy LPZ konieczne jest wyrównanie potencjałów – skoordynowana ochrona przeciwprzepięciowa

PROBLEMY PRAKTYCZNE

Najczęściej popełniane błędy:

- Brak pełnej analizy ryzyka i obliczeń odstępu separującego.
- Brak obliczeń R_{uz} w projekcie i zalecenie, że po wykonaniu robót należy zmierzyć uzyskaną wartość R_{uz} a w przypadku uzyskania zbyt dużej wartości pogrążyć dodatkowe uziomy pionowe.
- Brak wyników pomiarów rzeczywistej wartości rezystywności gruntu – posługiwanie się tabelami lub informacjami z odwiertów może prowadzić do dużych błędów w określeniu projektowanej wartości R_{uz}.
- Brak połączeń pomiędzy uziomami różnych obiektów na obszarze inwestycji.
- Brak ochrony odgromowej zewnętrznej.
- Brak kompleksowej ochrony przed przepięciami.

PODSUMOWANIE

- ✓ BESS to obiekt wysokiego ryzyka – tylko profesjonalne przygotowanie dokumentacji projektowej, zawierającej wszystkie wymagane elementy jest gwarancją bezpieczeństwa;
- ✓ Instalacja odgromowa musi być zawsze projektowana kompleksowo – ważna jest ochrona zewnętrzna, uziemienie, ale także ochrona wewnętrzna, czyli wyrównanie potencjałów i ochrona przed skutkami przepięć. Prawidłowa koordynacja tych wszystkich elementów decyduje o skuteczności ochrony obiektu!
- ✓ Celem ochrony nie jest wyłącznie przejęcie i odprowadzenie prądu piorunowego do ziemi, ale również ograniczenie różnic potencjałów i przepięć, aby przy ich wystąpieniu magazyn zachował zdolność do monitorowania własnego stanu, bezpiecznego odłączenia, alarmowania oraz realizacji funkcji ochronnych;
- ✓ Ochrona odgromowa to układ środków wzajemnie uzupełniających się, obejmujących zarówno ochronę zewnętrzną, jak i wewnętrzną, w tym wyrównanie potencjałów oraz ochronę urządzeń elektrycznych i elektronicznych przed oddziaływaniami LEMP;
- ✓ Konieczne jest wprowadzenie specjalizacji w zakresie ochrony odgromowej – PKOO SEP podjął działania w tym zakresie i wprowadza specjalistyczne kursy.

POLSKI KOMITET OCHRONY ODGROMOWEJ

Stowarzyszenie Elektryków Polskich

ul. Świętokrzyska 14A, 00-950 Warszawa, tel. (0-22) 556 43 09

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

mgr inż. Jerzy Ustarbowski

kom. 509-681-907, mail: jerzy.ustarbowski@bud-el.pl