



Politechnika
Wrocławska

Piknik Odnawialnych Źródeł Energii (OZE)

Interakcje pomiędzy mikroinstalacją PV a jej otoczeniem dla zaburzeń o częstotliwościach powyżej 9 kHz - fizyka zjawisk, drogi sprzęgania, źródła oddziaływań, możliwe reakcje i plan eksperymentu

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wydział Elektroniki
Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki
Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej (LKE)

dr inż. Zbigniew Jóskiewicz

mgr inż. Artur Florek

mgr inż. Monika Szafrńska

Wrocław, 16 czerwca 2021 r.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Agenda

- Podstawowe aspekty EMC
- Przykładowa instalacja PV
- Rzeczywistość instalacyjna
- Plan eksperymentu

Podstawowe aspekty EMC

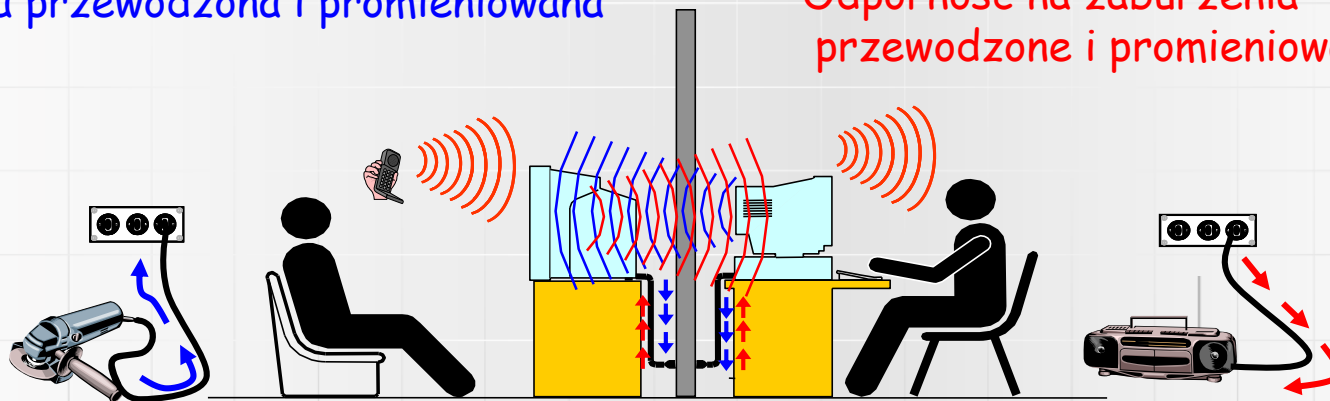
Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) odnosi się do :

- **Emisji zaburzeń elektromagnetycznych** – tj. braku lub ograniczonego poziomu wytwarzanych przez urządzenie niezamierzonych zaburzeń elektromagnetycznych, które mogłyby zakłócić pracę innych urządzeń () w danym środowisku
– niskie poziomy emisji - *ochrona widma elektromagnetycznego i radiowych urządzeń odbiorczych*
- **Odporności na zaburzenia elektromagnetyczne** – tj. zdolności do normalnego funkcjonowania w obecności zamierzonych i niezamierzonych zaburzeń, które w danym środowisku są obecne lub mogą wystąpić.

Te dwa zasadnicze elementy podlegają sprawdzeniu w odniesieniu do przewodzonych i promieniowanych zaburzeń elektromagnetycznych – umowna granica zależy od rodzaju badań to 30MHz / 80 MHz / 230 MHz

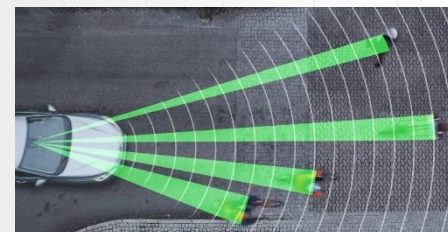
Emisja przewodzona i promieniowana

Odporność na zaburzenia przewodzone i promieniowane

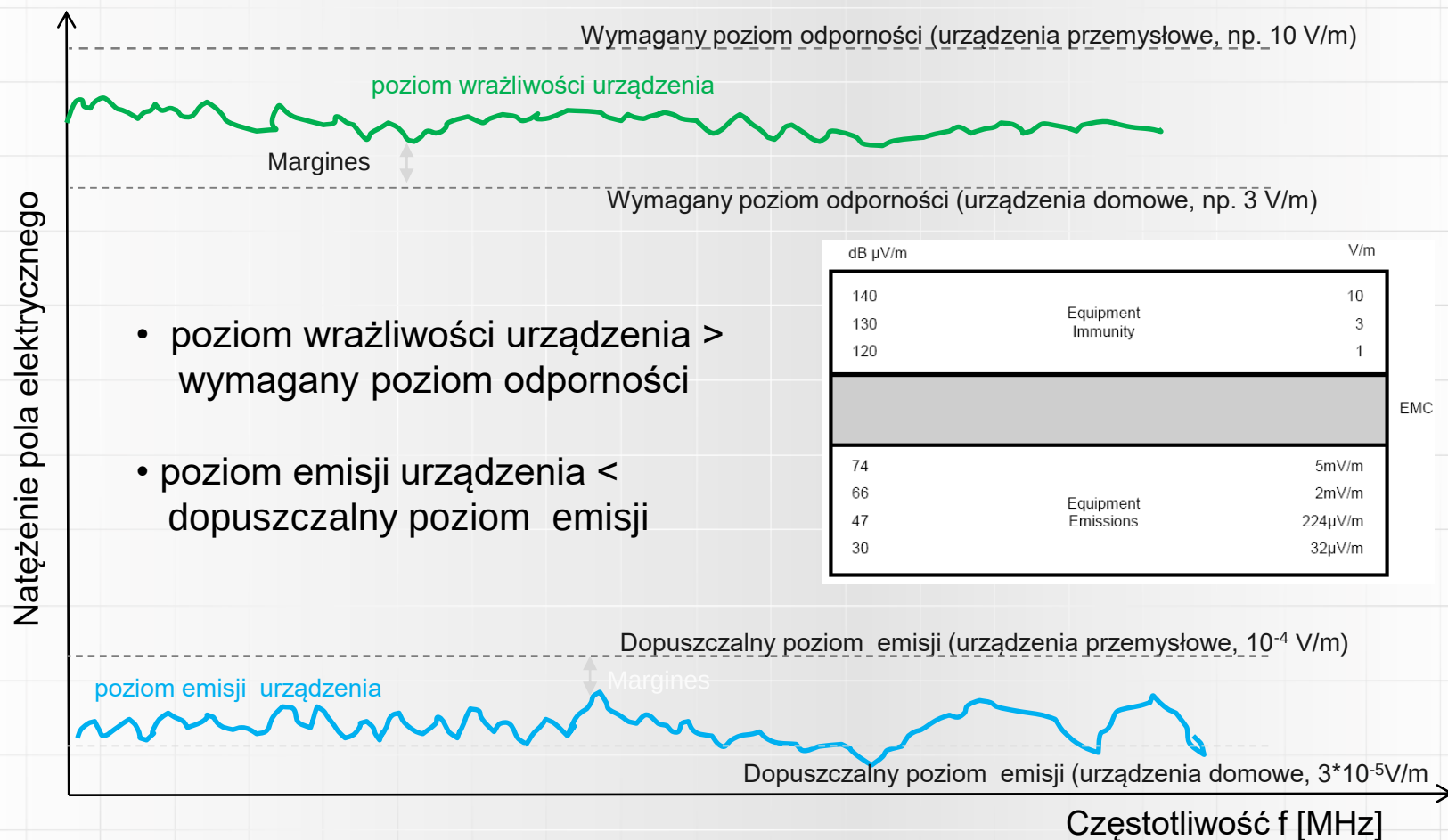


Źródła pola elektromagnetycznego

- Naturalne
- Sztuczne (działalność człowieka)
 - Transmisja informacji (celowo)
 - Nadajniki radiowe (TV, radio, linie radiowe, systemy bezprzewodowe – BT, SRD, WLAN, systemy komórkowe – stacje bazowe i terminale)
 - Systemy sterowania (np. samolotów, nawigacyjne)
 - Transmisja (PLC)
 - Radary (lotnictwo, motoryzacja)
 - NEMP, LEMP, HPM, e-bomby
 - Zakłócenia przemysłowe (EMI)
 - niezamierzone – man-made
 - efekt działania różnych urządzeń elektrycznych i elektronicznych, np. silniki samochodów, urz. cyfrowe, linie energetyczne i przełączenia
 - Zamierzone (diatermie, itp.)



Spełnienie wymagań EMC w określonym środowisku na przykładzie zaburzeń promieniowanych

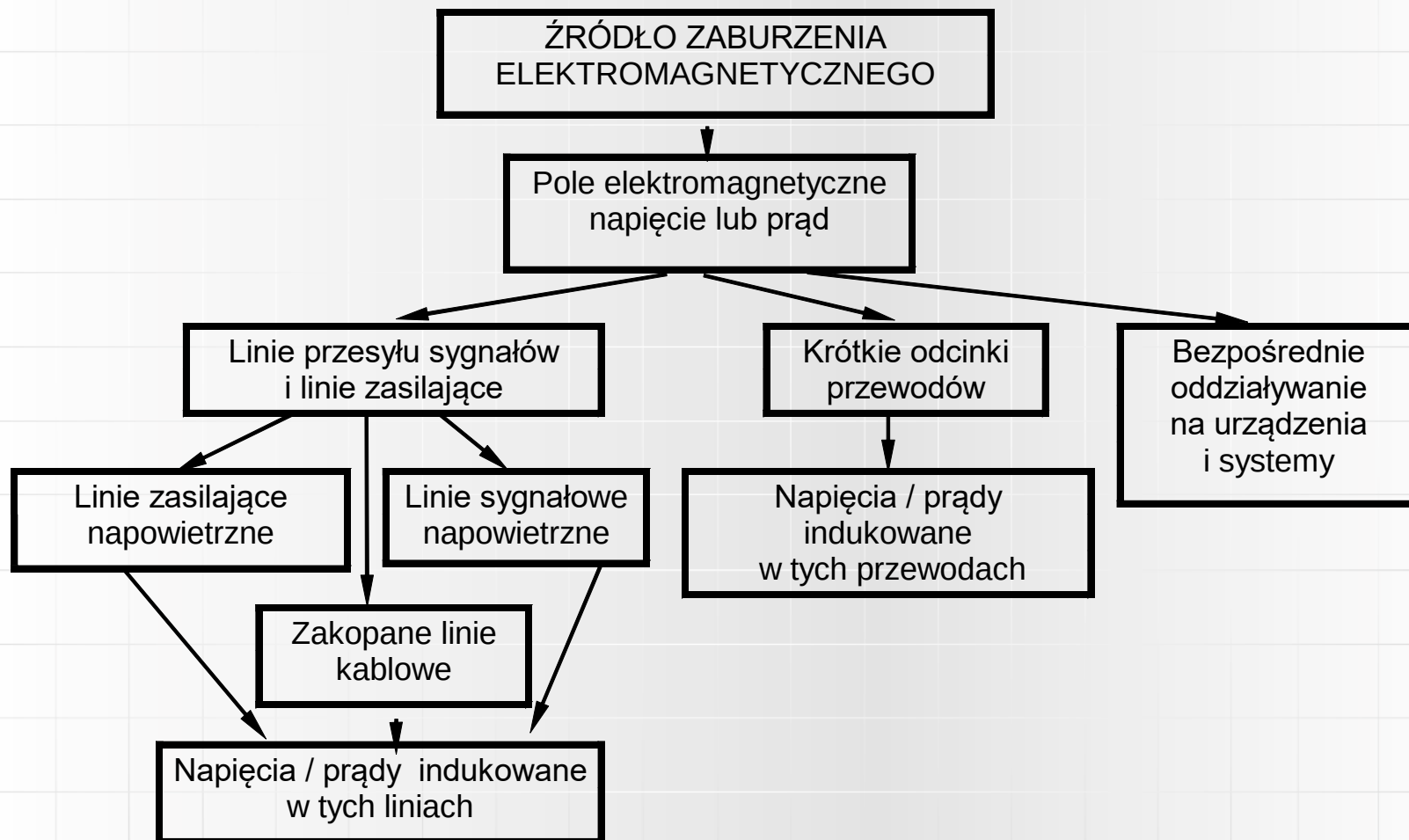


Analogiczne zróżnicowanie wymagań poziomów emisji i odporności występuje dla zaburzeń przewodzonych

Podział zaburzeń rozprzestrzenianie

- **Przewodzone** (conducted) z zaburzeniem emitowanym przez urządzenie lub wnikałym do urządzenia w postaci:
 - Energii (mocy)
 - Napięcia:
 - napięcia różnicowe (symetryczne, common mode UCM)
 - napięcia wspólne (niesymetryczne, differential mode UDM)
 - napięcia asymetryczne (assymetric mode UAsym)
 - Prądu:
 - prądy różnicowe (symetryczne, common mode ICM)
 - prądy wspólne (niesymetryczne, differential mode IDM)

Oddziaływanie zaburzeń EM



Klasyfikacja zaburzeń EM

- Bezpośrednie:
 - Bezpośrednie sprzężenie zaburzenia z urządzeniem, elementem lub obwodem
 - Typowe dla wszystkich typów sprzężeń
- Pośrednie:
 - Sprzężenie zaburzenia z zamianą pośrednią na inny rodzaj zaburzenia – sprzężenie bezpośrednie w wyniku, którego oddziaływania dochodzi do wystąpienia zaburzenia w urządzeniu, elemencie lub obwodzie, np.
 - Wyładowanie piorunowe (do ziemi, między chmurami) i wytworzenie pola EM oddziałującego pośrednio na okablowanie lub obudowę urządzenia
 - Wyładowanie elektrostatyczne do obudowy szafy telekomunikacyjnej i wytworzenie pola EM oddziałującego pośrednio na okablowanie lub urządzenia zainstalowane wewnątrz szafy

Podstawowe źródła problemów z EMC

- Podstawowe problemy z EMC są wprost związane z:
 - generacją energii elektromagnetycznej (zaburzeń elektromagnetycznych) – występowaniem nadawcy lub źródeł zaburzeń elektromagnetycznych
 - transmisją energii elektromagnetycznej – występowaniem kanału/drogi sprzężenia energii elektromagnetycznej pomiędzy nadajnikiem a receptorem/odbiornikiem (może być pożądane lub nie)
 - odbiorem energii elektromagnetycznej – występowaniem receptora/odbiornika, w którym zachodzi proces przetwarzania tej energii, skutkujący zamierzonym (dla odbiornika) oraz niezamierzonym (dla ofiary) zachowaniem receptora/odbiornika



Rodzaje sprzężeń

Sprzężenia związane są ze wzajemnym oddziaływaniem na odległość ładunków. Wyróżnia się następujące sprzężenia:

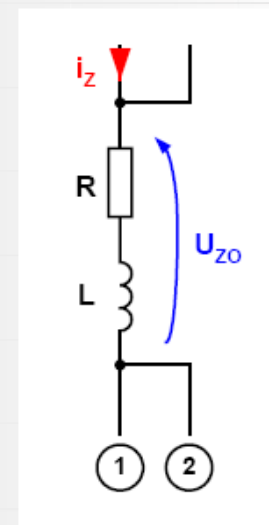
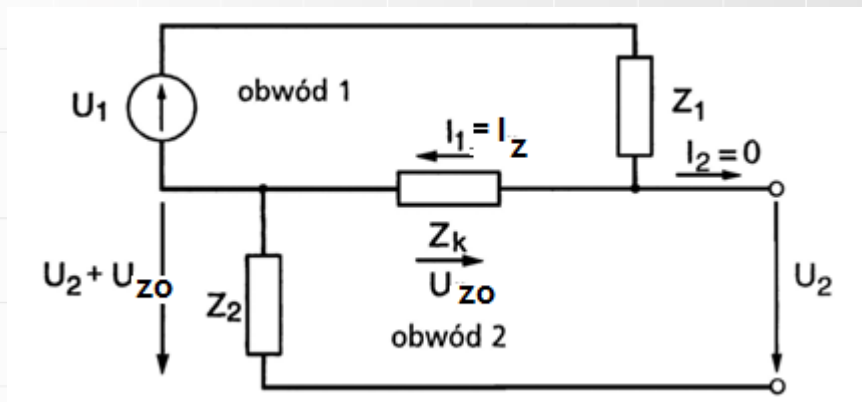
- **Przewodzone** – przepływ prądu poprzez medium przewodzące (przewód zasilający interfejsowy, wejście antenowe, uziemienie, przewód powrotny)
- **Promieniowane:**
 - **Elektromagnetyczne** – sprzężenie EM pomiędzy elementami, które mogą pełnić funkcję anteny, usytuowanymi w odległości co najmniej kilku długości fali (λ), gdzie istnieje związek $Z=E/H$ (w jednym z elementów musi płynąć prąd zmienny)
 - **Indukcyjne** – w polu bliskim ($d < \lambda$), gdzie dominuje składowa pola magnetycznego H
 - **Pojemnościowe** - w polu bliskim ($d < \lambda$), gdzie dominuje składowa pola elektrycznego E



Przenikanie zaburzeń

Sprężenia galwaniczne

- Jeżeli źródło zaburzeń i obiekt zakłócany są połączone bezpośrednio przewodami, np. przyłączone do tej samej sieci zasilającej lub linii transmisji sygnałów, wtedy zachodzi sprzężenie przez przewodzenie (sprężenie galwaniczne).



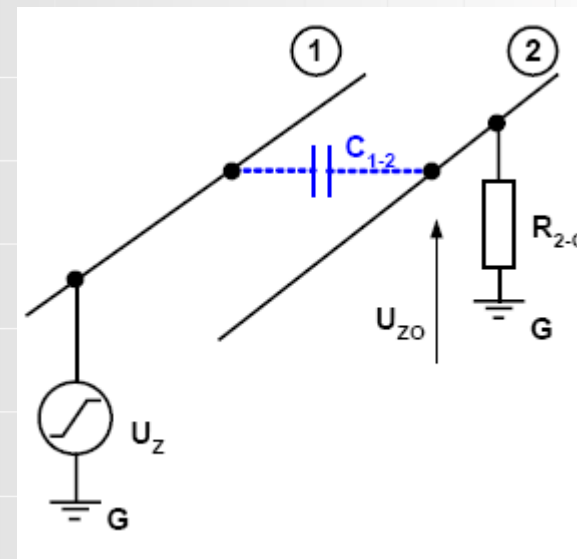
$$\Delta U_{zo} \approx i_z R + L \frac{di_z}{dt}$$

U_{zo} - napięcie zakłócające
 Z_k - impedancja sprzężenia

Przenikanie zaburzeń

Sprężenia pojemnościowe

- Jest efektem występowania zmiennego pola elektrycznego pomiędzy przewodnikami/przewodami prowadzonymi w niewielkiej odległości, z których każdy może być traktowany jako okładka kondensatora.
- W przypadku sprzężenia pojemnościowego, następuje przepływ prądu, którego wartość jest równa:
 - $I = U_z / (Z_C + Z_R)$
- Powoduje to powstanie na impedancji $Z_R = R_{2-G}$ napięcia zakłóceń o wartości:
 - $U_{zo} = U \cdot Z_R / (Z_C + Z_R)$



$$U_{zo} \approx R_{2-G} \cdot C_{1-2} \frac{du_z}{dt}$$

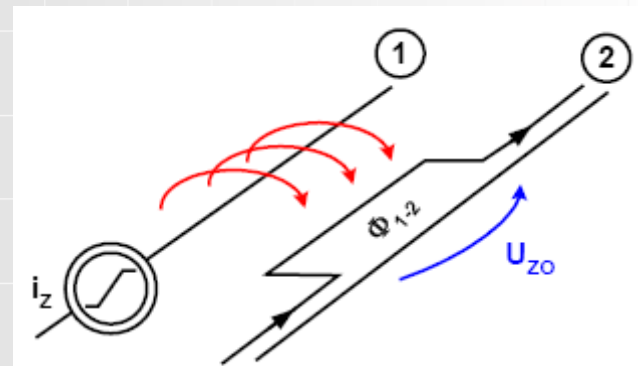
$$\text{dla } u_z(t) = U_z^{(m)} \sin \omega_z t$$

$$U_{zo} \approx \omega_z \cdot R_{2-G} \cdot C_{1-2} \cdot U_z^{(m)}$$

Przenikanie zaburzeń

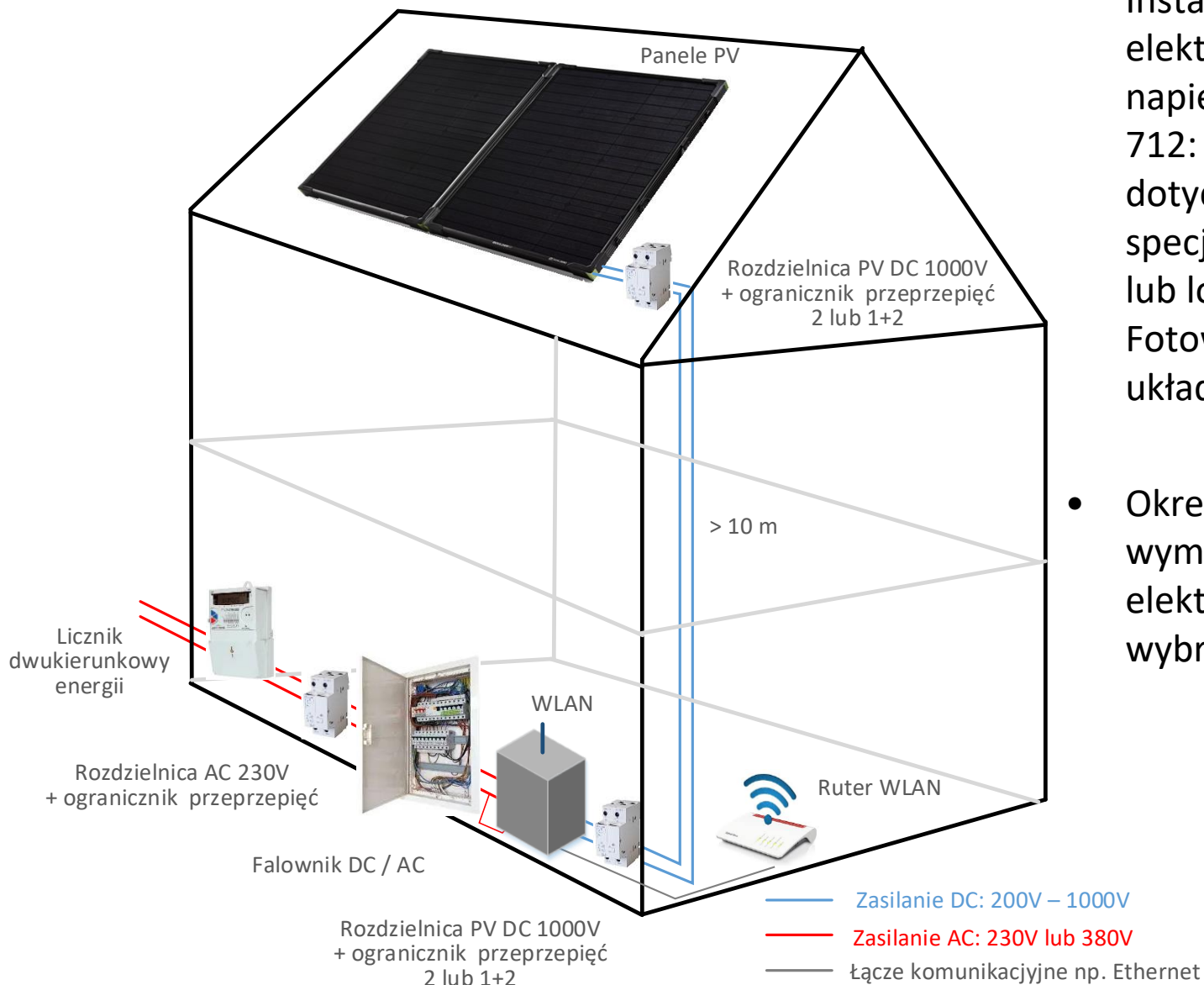
Sprężenia indukcyjne

- Prąd płynący w przewodzie będącym źródłem zakłóceń wytwarza pole magnetyczne. Pole to przenika przez pętlę, którą tworzy przewód zakłócaný wraz z przewodem powrotnym.
- Zmiana strumienia magnetycznego skojarzonego indukuje w pętli siłę elektromotoryczną U_{zo}
- Zmniejszenie wpływu zakłóceń można osiągnąć przez osłabienie pola magnetycznego, ograniczanie pola powierzchni pętli i odpowiedni dobór kąta przenikania pola przez pętlę.



$$U_{zo} \approx \frac{d\Phi_{1-2}}{dt} = M_{1-2} \frac{di_z}{dt}$$

Przykładowa instalacja PV

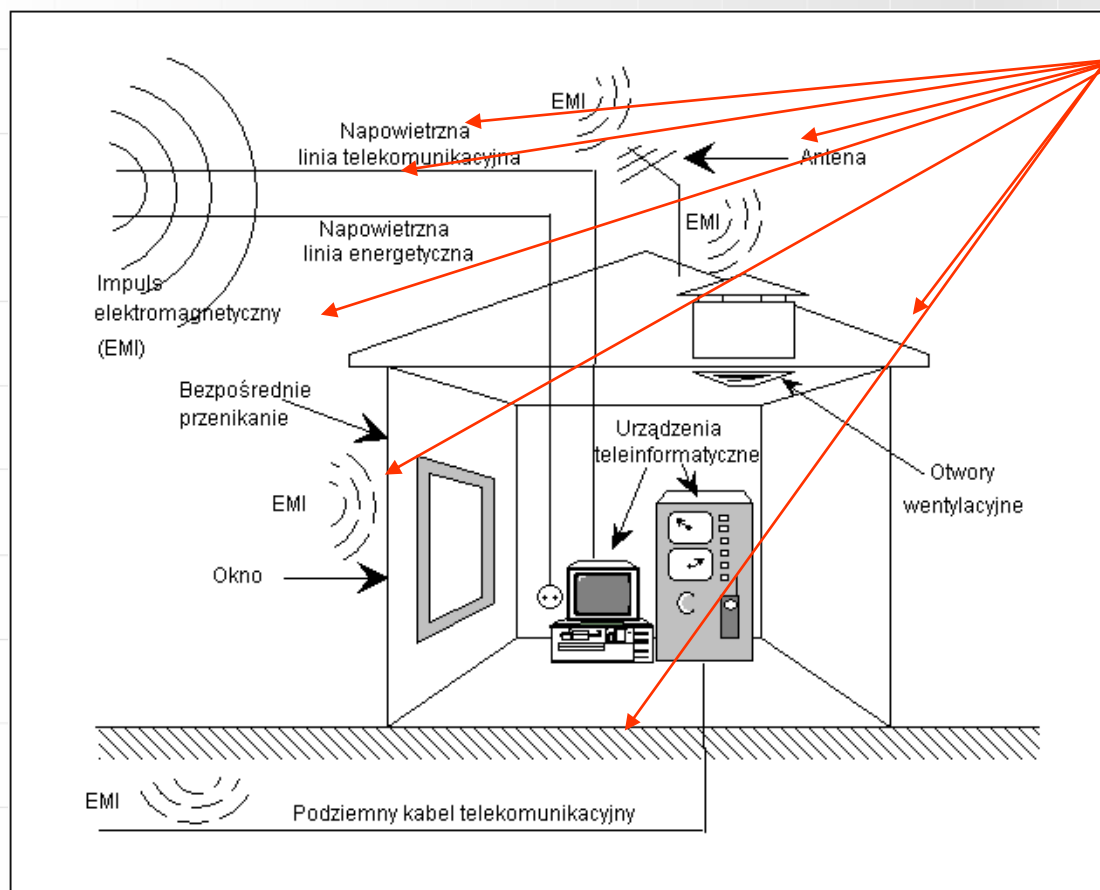


- PN-HD 60364-7-712:2016-05 - Instalacje elektryczne niskiego napięcia -- Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji -- Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania
- Określono wymagania elektryczne i tylko wybrany aspekt EMC

Interakcje pomiędzy mikroinstalacją PV a jej otoczeniem

- Falownik – potencjalne źródło zaburzeń (porty: AC, DC, sterowanie) i podatne urządzenie (elektronika, port sterowania)
- To instalacja – przyłączone długie (co najmniej kilkumetrowe) przewody do portów DC i AC oraz ew. sterowania
 - b. dobre przestrzenne sprzężenie z otoczeniem – różnymi elementami, którym sprzyjają błędy instalatorów
- Może skutecznie oddziaływać na inne sieci w budynku:
 - Zasilania NN, transmisji danych (Ethernet, PLC), alarmowa, telemetryczną, telesterowania, sensoryczną, inteligentny dom i budynek, ...
 - urządzenia podłączone bezpośrednio do tych sieci
 - Urządzenia użytkowane w otoczeniu (radiowe, z wyświetlaczami dotykowymi)
- Może być podatny na zaburzenia inne inż. przepięcia – ograniczniki chronią (o ile są zamontowane, i to poprawnie) tylko przed określonymi rodzajami zaburzeń (pochodne wyładowań piorunowych) i mają określoną żywotność

Oddziaływanie zaburzeń

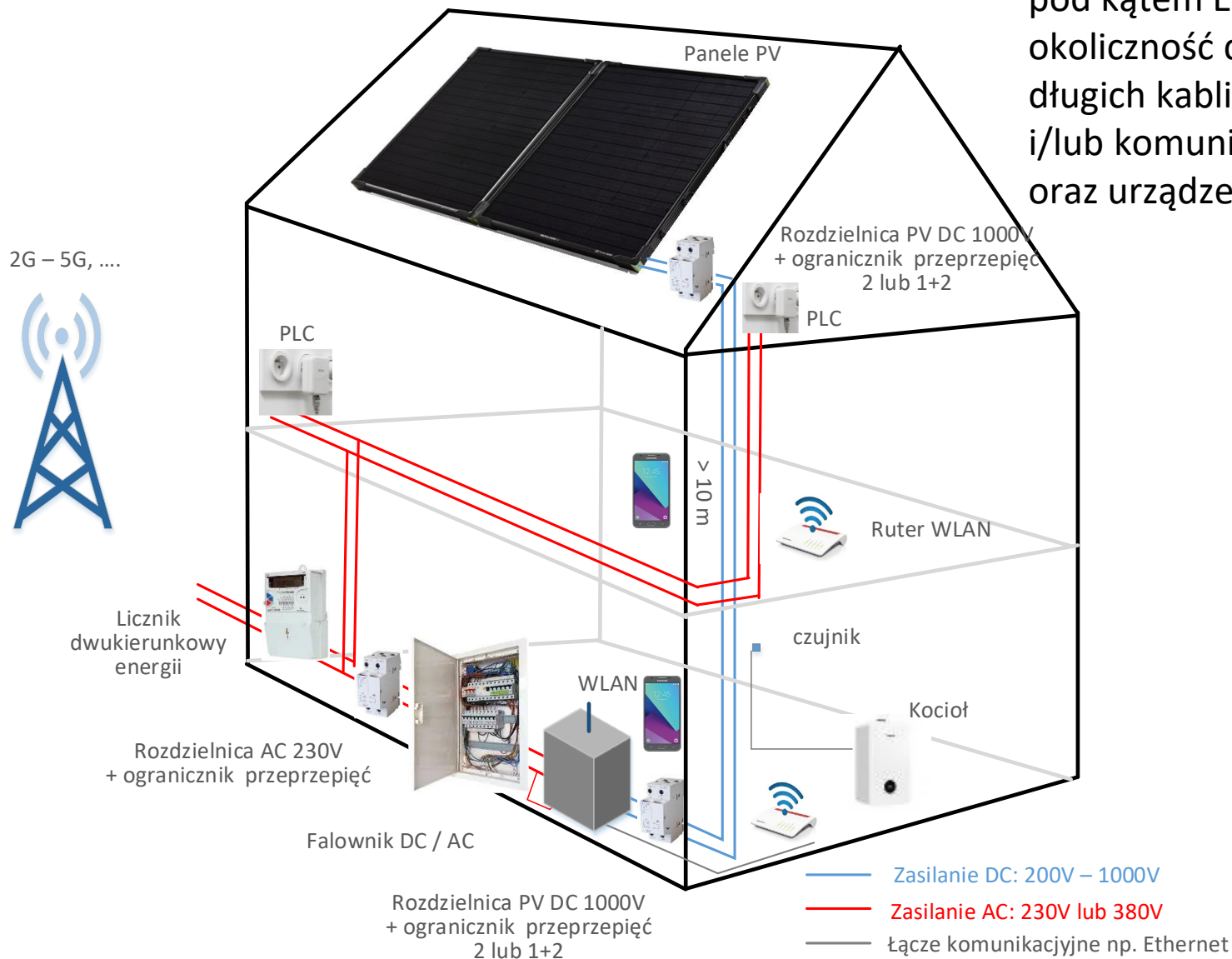


- Drogi i źródła zaburzeń
- Tłumienie ścian 5 – 35 dB – zależnie od konstrukcji
- Klatka Faradaya – tłumienie 50 – 100 dB

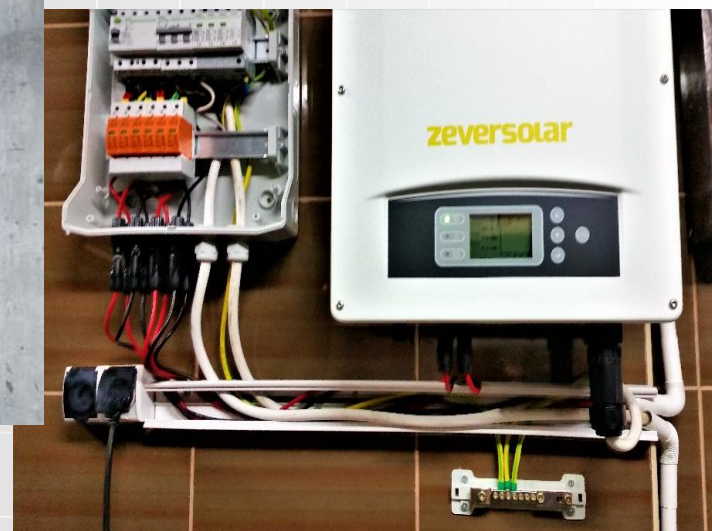


Interakcje pomiędzy mikroinstalacją PV a jej otoczeniem

Czy był falownik badany
pod kątem EMC na a
okoliczność dołączenia
długich kabli do portu DC
i/lub komunikacyjnych
oraz urządzeń radiowych?



Przykłady instalacji – znalezione w sieci



Czy poprawne? Dla elektryka? Z punktu widzenia EMC?

Planowane pomiary falowników

Celem pomiarów jest wyznaczenie i porównanie poziomów emisji oraz sprawdzenie efektów oddziaływania wybranych zaburzeń na pracę falowników, w wybranych warunkach. Nie będą to testy potwierdzające spełnienie wymagań w zakresie EMC.



Planowane pomiary falowników

Norma	Zakres badań	Uwagi
EN 55016-2-1	Emisja zaburzeń przewodzonych 9kHz-30 MHz	Rozszerzenie zakresu od 9 kHz (nie wymagane dla tego typu urządzeń) zamiast 150 kHz z uwagi na możliwość zakłócania transmisji PLC oraz urządzeń z wyświetlaczami dotykowymi <i>Problem ograniczonych poziomów napięć dla sieci sztucznych czy odprzegających przy padaniu na porcie DC. Nieznany poziom zaburzeń emulatora paneli PV</i>
EN 55016-2-3	Emisja zaburzeń RF (30 MHz - 1000 MHz lub 6000 MHz)	Emisja promieniowana falownika nie przekracza częstotliwości 100 MHz). Wyświetlacze, moduły komunikacyjne (m.in. LAN, moduły radiowe itp.) oraz użycie gotowych systemów mikroprocesorowych i błędy instalatorsko implementacyjne są zwykle źródłem zaburzeń elektromagnetycznych do i powyżej 1 GHz. Używanie komponentów ze znakiem CE bez weryfikacji pomiarowej.
EN 61000-4-3	Badanie odporności na promieniowane pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej	Badanie dla wyższych poziomów natężeń pól em w pasmach pracy urządzeń nadawczych systemów radiowych (wzorem rozwiązań stosowanych w normie dla urządzeń medycznych PN-EN 60601-1-2)

Planowany zakres badań falowników

Norma	Zakres badań	Uwagi
EN 61000-4-4	Badanie odporności na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych, BURST	Przede wszystkim dla przyłączy DC (w niektórych instalacjach z uwagi na długość przewodów oraz środowisko pracy, konieczne są również takie testy, z uwzględnieniem sposobu sprzęgania zaburzeń <i>Problem ograniczonych poziomów napięć dla sieci sztucznych czy odsprzęgających przy padaniu na porcie DC. Nieznany poziom zaburzeń emulatora paneli PV</i>
EN 61000-4-6	Badanie odporności na zaburzenia przewodzone, indukowane przez pola o częstotliwości radiowej	Zarówno dla przyłączy AC oraz DC na częstotliwościach ISM i radio amatorskie zastosowania <i>Problem ograniczonych poziomów napięć dla sieci sztucznych czy odsprzęgających przy padaniu na porcie DC. Nieznany poziom zaburzeń emulatora paneli PV</i>
EN 61000-4-31	Badanie odporności przyłączy zasilania prądem przemiennym na szerokopasmowe zaburzenia przewodzone	Propozycja dodatkowych testów. Zalecane ze względu na możliwość instalacji szerokopasmowych modemów PLC (BPL) <i>Problem ograniczonych poziomów napięć dla sieci sztucznych czy odsprzęgających przy padaniu na porcie DC. Nieznany poziom zaburzeń emulatora paneli PV</i>

Planowany zakres badań falowników

Norma	Zakres badań	Uwagi
EN 61000-4-16	Badanie odporności na asymetryczne zaburzenia przewodzone w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 150 kHz	Sugestia wykonania testu z uwagi na coraz częstsze zastosowanie komunikacji PLC do systemów sterowania urządzeń (np. liczników), brak wymagań w normie przedmiotowej EN IEC 62920 <i>Problem ograniczonych poziomów napięć dla sieci sztucznych czy odsprzęgających przy padaniu na porcie DC. Nieznany poziom zaburzeń emulatora paneli PV</i>
EN 61000-4-19	Badanie odporności przyłączy energetycznych prądu przemiennego na przewodzone zaburzenia symetryczne i sygnalizację w zakresie częstotliwości od 2 kHz do 150 kHz	Sugestia wykonania testu z uwagi na coraz częstsze zastosowanie komunikacji PLC do systemów sterowania urządzeń (np. liczników), brak wymagań w normie przedmiotowej EN IEC 62920 <i>Problem ograniczonych poziomów napięć dla sieci sztucznych czy odsprzęgających przy padaniu na porcie DC. Nieznany poziom zaburzeń emulatora paneli PV</i>

Przykłady wyników pomiarów emisji zaburzeń przewodzonych

Konwerter turbiny wiatrowej



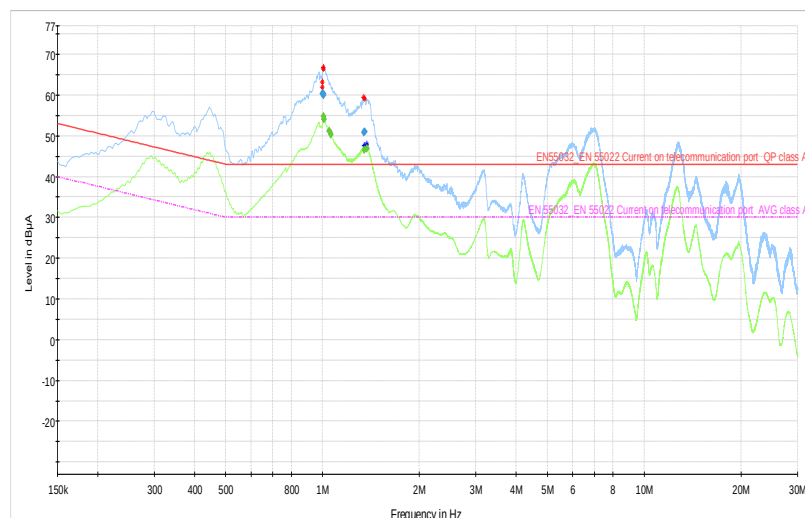
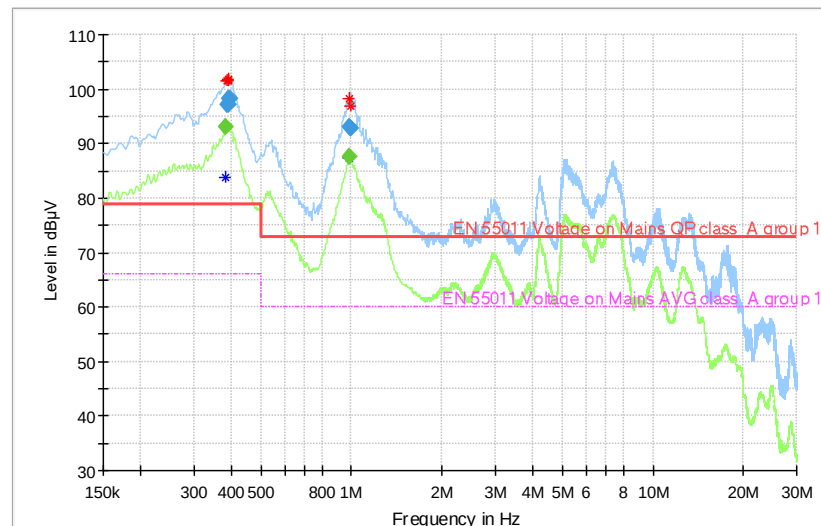
AC power supply port



Ethernet port

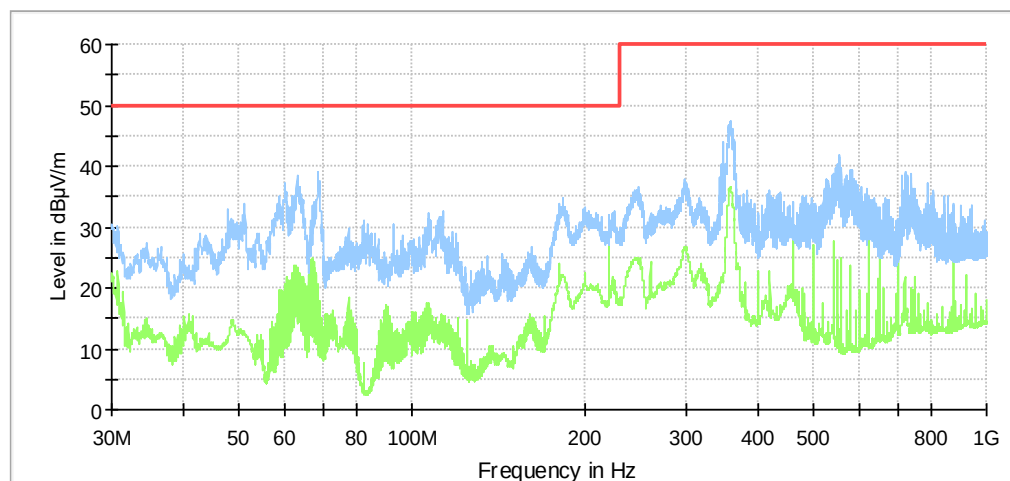
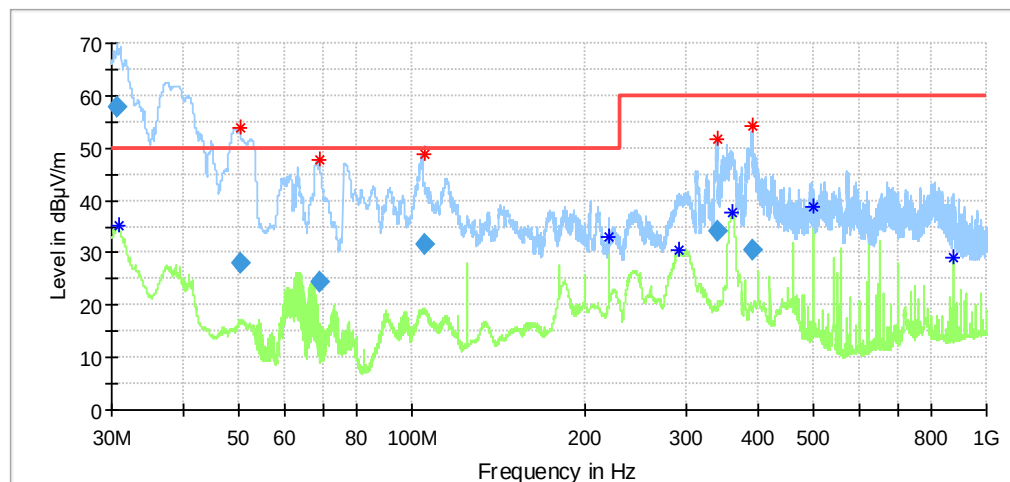
Linia ciągła niebieska
Linia ciągła zielona
Romby niebieskie
Romby zielone

– wstępne wyniki det. PEAK
– wstępne wyniki det. AVG
– końcowe wyniki det. QP
– końcowe wyniki det. AVG



Przykłady wyników pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych

Konwerter turbiny wiatrowej



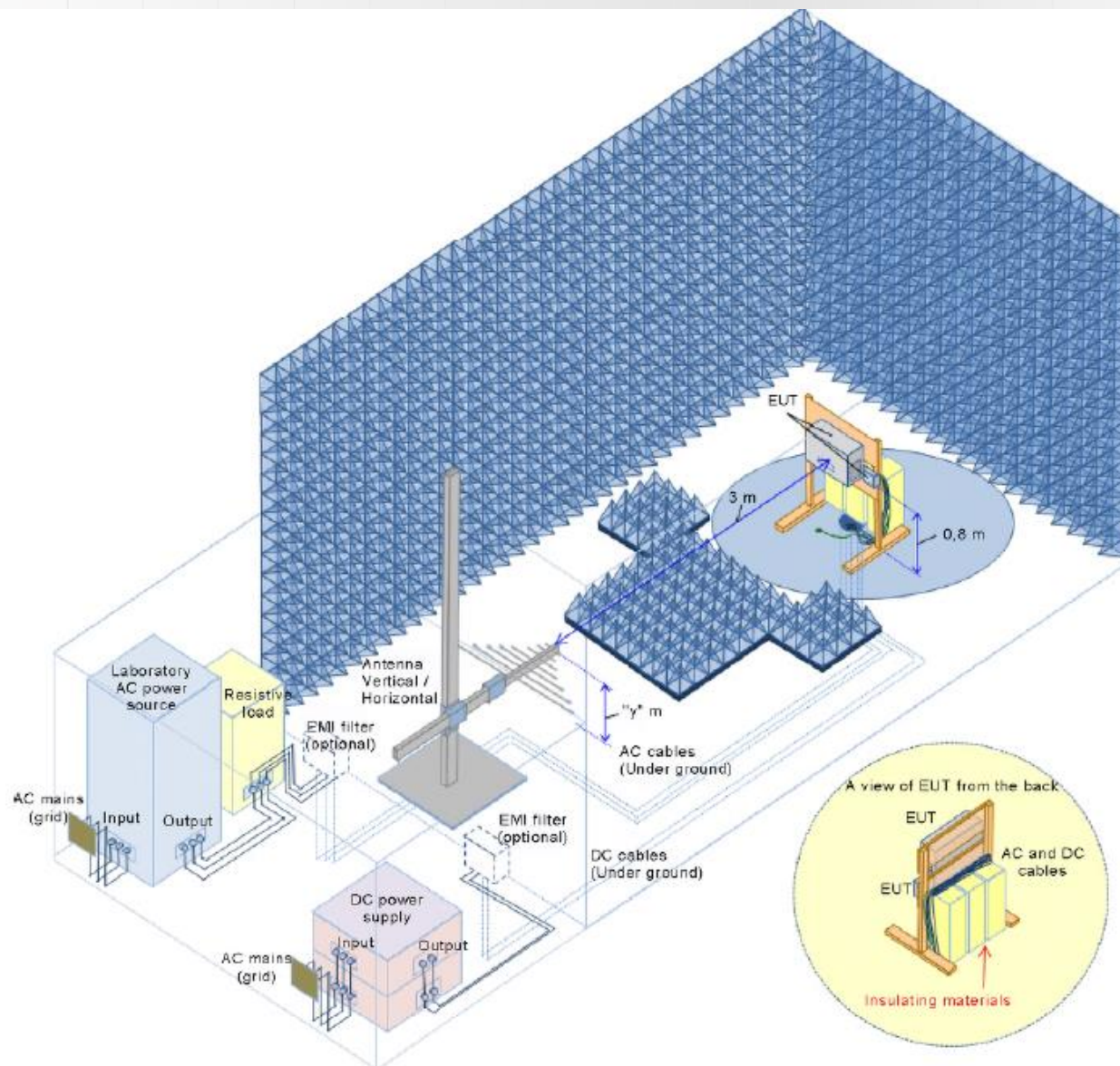
Linia ciągła niebieska – wstępne wyniki det. PEAK

Linia ciągła zielona – wstępne wyniki det. AVG

Romby niebieskie – końcowe wyniki det. QP

Romby zielone – końcowe wyniki det. AVG

Scenariusze pomiarowe



Rysunek A.3 z normy przedmiotowej EN IEC 62920:2017

Dziękuję za uwagę

dr inż. Zbigniew Jóskiewicz, zbigniew.joskiewicz@pwr.edu.pl

mgr inż. Artur Florek, artur.florek@pwr.edu.pl

mgr inż. Monika Szafrńska, monika.szafranska@pwr.edu.pl

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wydział Elektroniki

Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki

Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej (LKE)