Politechnika Śląska

KONFERENCJA
LINIE I STACJE ELEKTROENERGETYCZNE

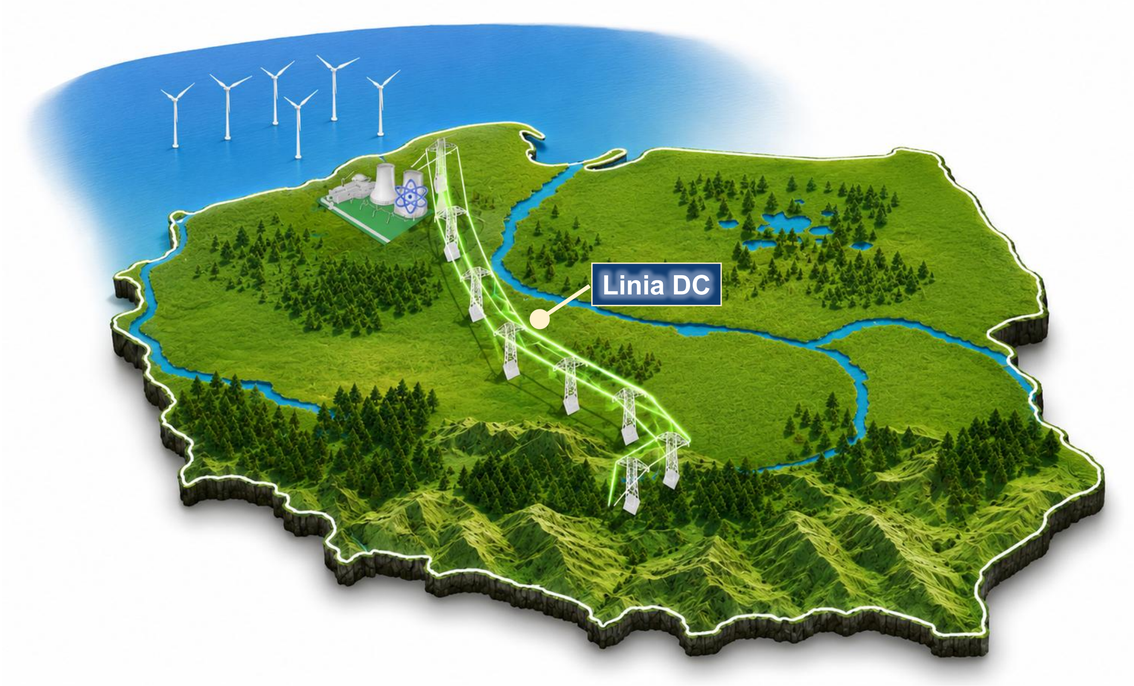
WISŁA 21-22.10.2026 R.

UCZELNIA BADAWCZA
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

Analiza pola elektrycznego i hałasu w otoczeniu napowietrznych linii HVDC

Agnieszka Dziendziel · Politechnika Śląska, PSE Innowacje
Henryk Kocot · Politechnika Śląska

Nowe wyzwania związane z wprowadzeniem technologii HVDC do KSE



CO PRZED NAMI

- Zmiana struktury wytwarzania
- Konieczność wyprowadzenia mocy z EJ i MFW
- Nowe wyzwania związane z zapewnieniem bezpieczeństwa pracy SEE

WNIOSEK

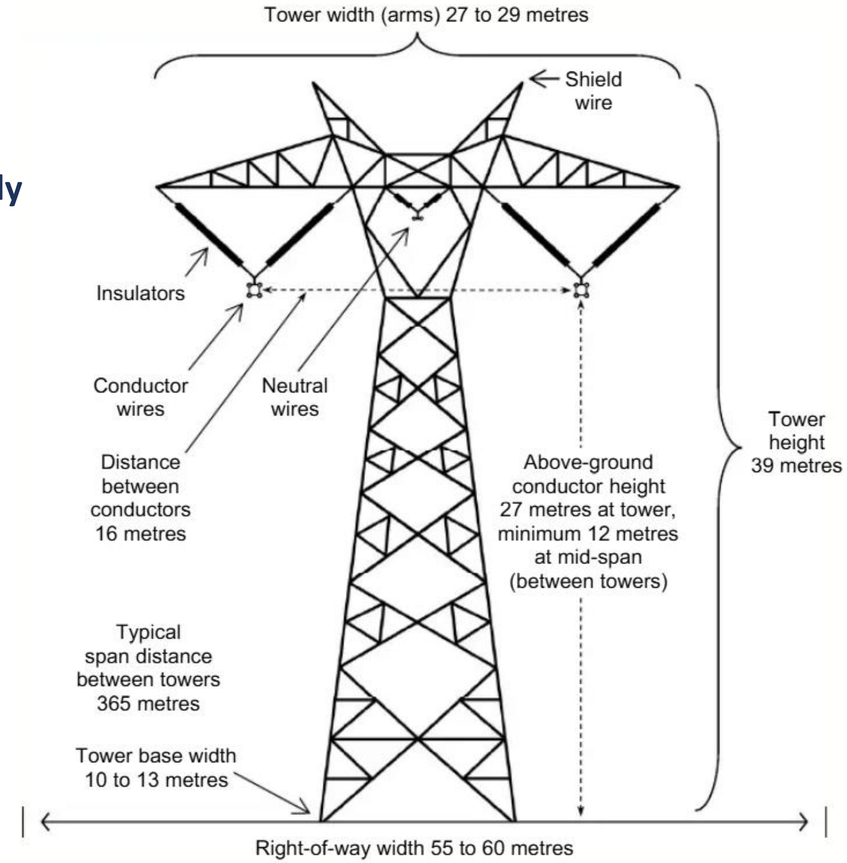
- Otwarcie się na technologię HVDC
- Brak doświadczeń krajowych w zakresie projektowania i eksploatacji napowietrznych układów HVDC (wiedza know-how)
- Brak przepisów i regulacji prawnych (technicznych i środowiskowych)

PARAMETRY LINII NAPOWIETRZNEJ HVDC
według PRSP na lata 2027-2036

- Połączenia: **Krzemienica – Byczyna**, **Krzemienica** – nowa stacja w rejonie **Dziadowej Kłody**
- Łączna moc **4 GW** (2×2 GW)
- Długość: **665 km**
- **Technologia**: układ bipolarny z przewodem powrotnym (DMR)

LINIE NAPOWIETRZNE HVDC NA ŚWIECIE

Projekt	Kraj	Napięcie	DMR	Moc	Długość	Typ	Rok
SunZia HVDC	USA	± 525 kV	tak	3,0 GW	885 km	VSC	2025
Western Alberta Transmission Line	Kanada	± 500 kV	tak	1,0 GW	350 km	VSC	2015
Eastern Alberta Transmission Line	Kanada	± 500 kV	tak	1,0 GW	485 km	VSC	2015
Pacific DC Intertie	USA	± 500 kV	nie	3,1 GW	1362 km	LCC	1970
Nelson River Bipole 1	Kanada	± 500 kV	nie	1,8 GW	895 km	LCC	1972
Nelson River Bipole 2	Kanada	± 500 kV	nie	1,8 GW	937 km	LCC	1978
Intermountain HVDC	USA	± 500 kV	nie	2,4 GW	785 km	LCC	1986
Square Buttle HVDC	USA	± 500 kV	nie	0,5 GW	756 km	LCC	1977
Cahora Bassa HVDC	Mozambik	± 533 kV	nie	1,9 GW	1414 km	LCC	1979



Rys. *Konstrukcja słupa kratowego linii DC ±500 kV zastosowanego we wschodniej Albercie*

Istotną kwestią przy projektowaniu przesyłowych linii napowietrznych jest m. in. identyfikacja rozkładu natężenia pola elektrycznego i hałasu w ich otoczeniu

CZĘŚĆ 1

Pole elektryczne napowietrznej linii HVDC

POROWNANIE CECH POLA AC I DC

Cecha	PE AC	PE DC
Charakter pola	Zmienne w czasie (50 Hz)	Stałe w czasie
Kierunek pola	Zmienia się 100 razy na sekundę (50 Hz)	Stały kierunek
Efekt jonizacji powietrza	Niewielki	Wyraźny (ciągła emisja jonów)
Wpływ pogody na wartość natężenia pola	Niewielka zależność	Istotna zależność
Odczuwanie pola	Indukowanie bardzo słabych prądów w ciele człowieka, możliwość odczuwania mikroiskrzeń przy dotyku metalowych przedmiotów	Elektryzowanie włosów i odzieży, gromadzenie ładunków na izolowanych obiektach, sporadyczne wyładowania elektrostatyczne
Spodziewane wartości natężenia pola	Zwykle 1÷10 kV/m	Zwykle 5÷30 kV/m

WYTYCZNE DLA AC

Składowa elektryczna:

- w miejscach dostępnych dla ludzi: **10 kV/m**
- dla terenów pod zabudowę mieszkalną: **1 kV/m**

REKOMENDACJA DLA DC

Składowa elektryczna (**zalecane**):

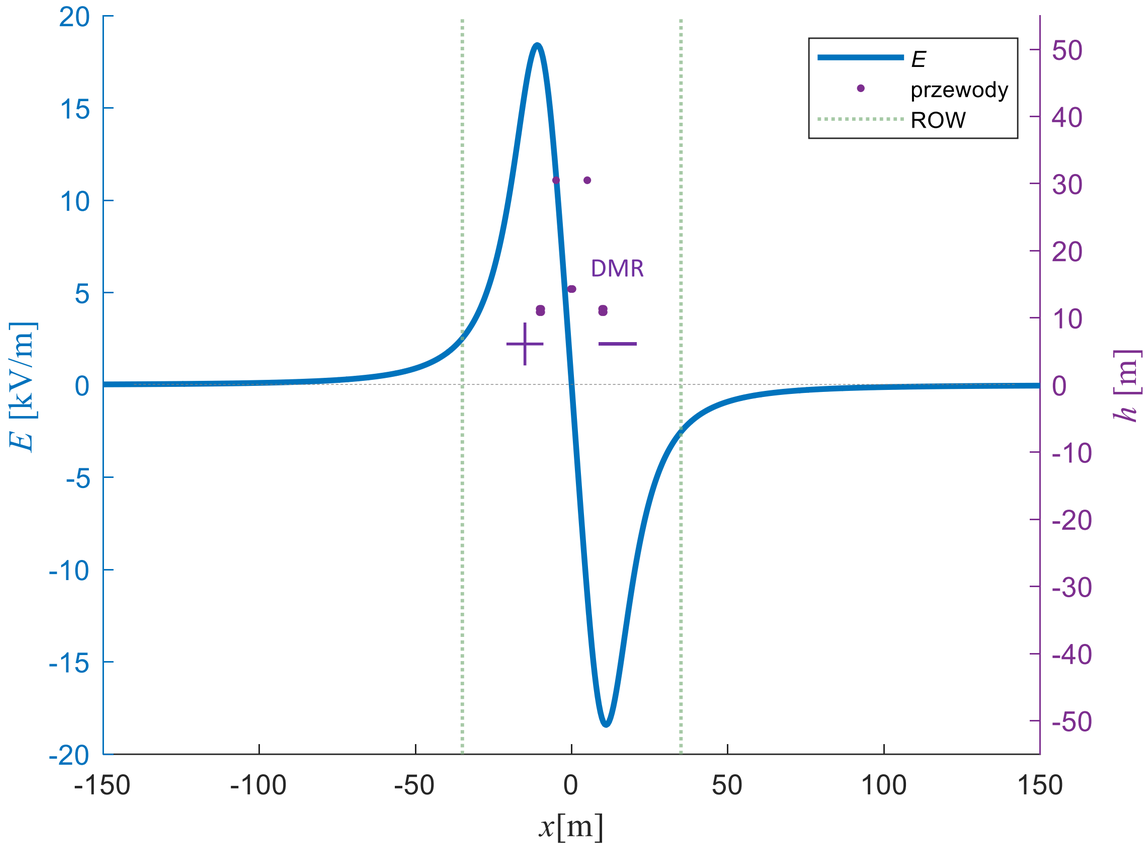
- w miejscach dostępnych dla ludzi: **25 kV/m**
- prąd jonowy: **100 nA/m^2**

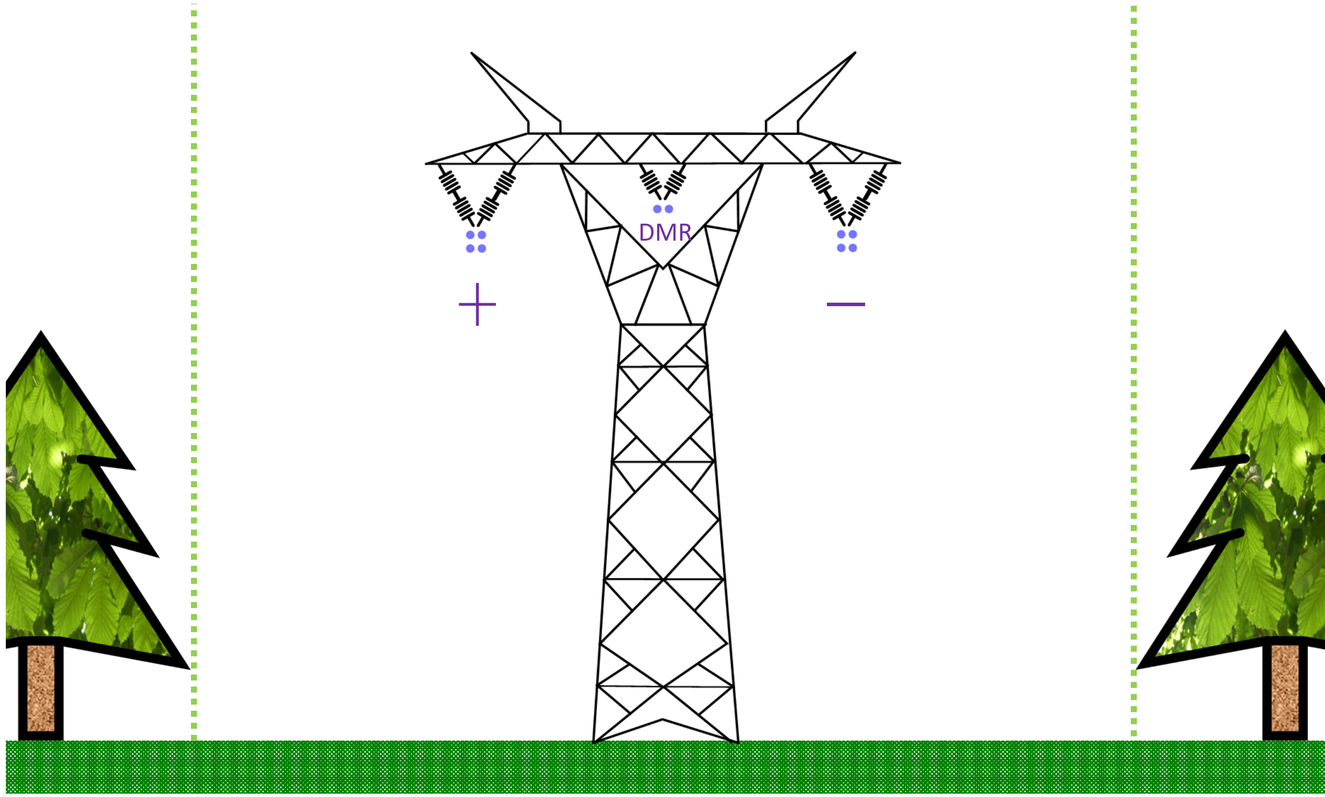
Kraj	Poziom E, kV/m	Uwaga
Norwegia	30	wewnątrz ROW
Korea	25	wewnątrz ROW
Brazylia	40 / 10	wewnątrz / na granicy ROW
Francja	40 / 10	wewnątrz / na granicy ROW
USA	7÷10 / 1÷5	wewnątrz / na granicy ROW
Japonia	8,1	wewnątrz ROW (dla AC: 3 kV/m)

Rozkład pola elektrycznego pod liniami napowietrznymi AC i DC

Natężenie pola elektrycznego na powierzchni gruntu

$(E = E_y\ , E_x\ = 0)$



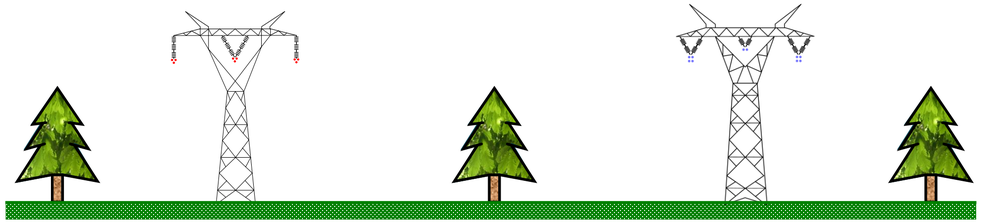


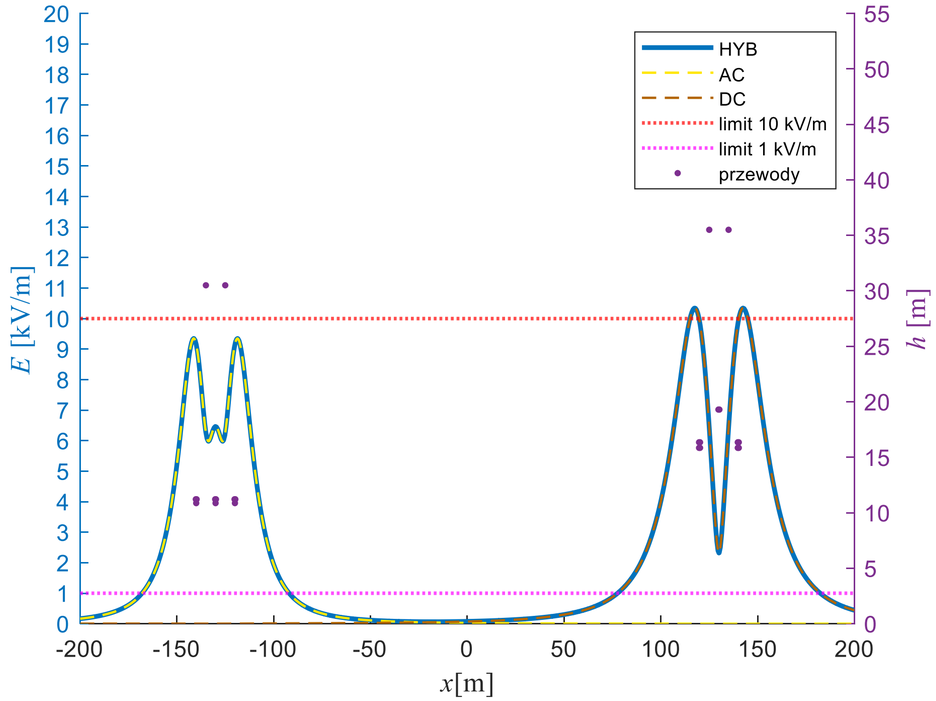
Prowadzenie linii HVDC w sąsiedztwie linii HVAC jest również spotykane. W tym przypadku pole elektryczne, które znajduje się w obszarze oddziaływania takiego układu jest złożeniem dwóch pól – **korytarz hybrydowy**.



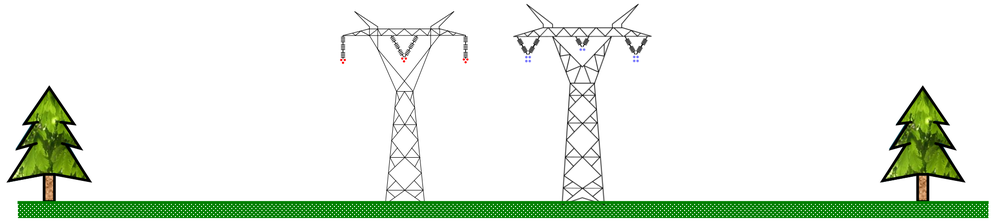
Rozkład pola elektrycznego pod liniami napowietrznymi AC i DC

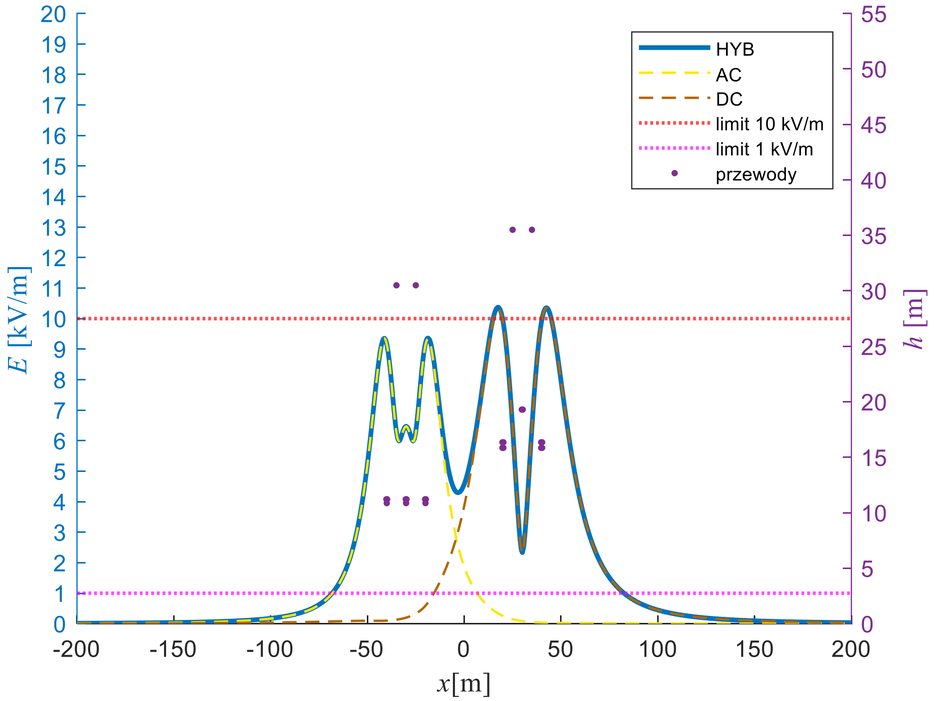
…linie biegną w swoim sąsiedztwie





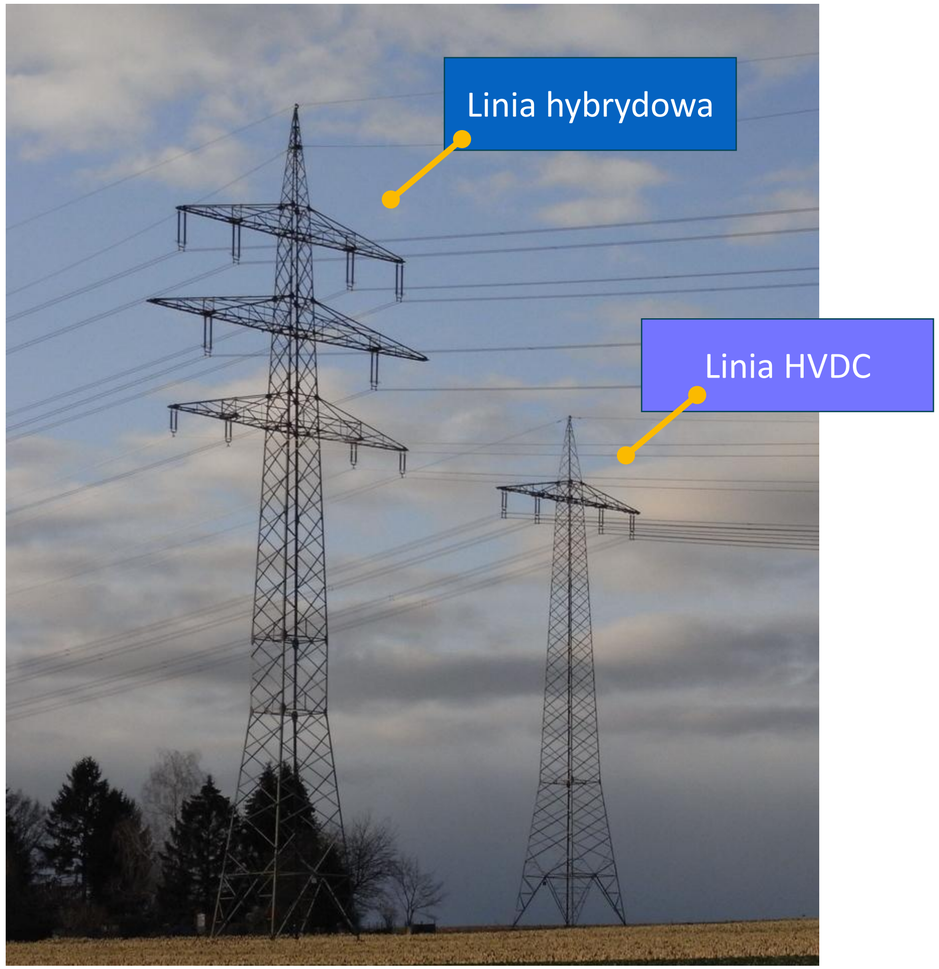
…i jeszcze bliżej

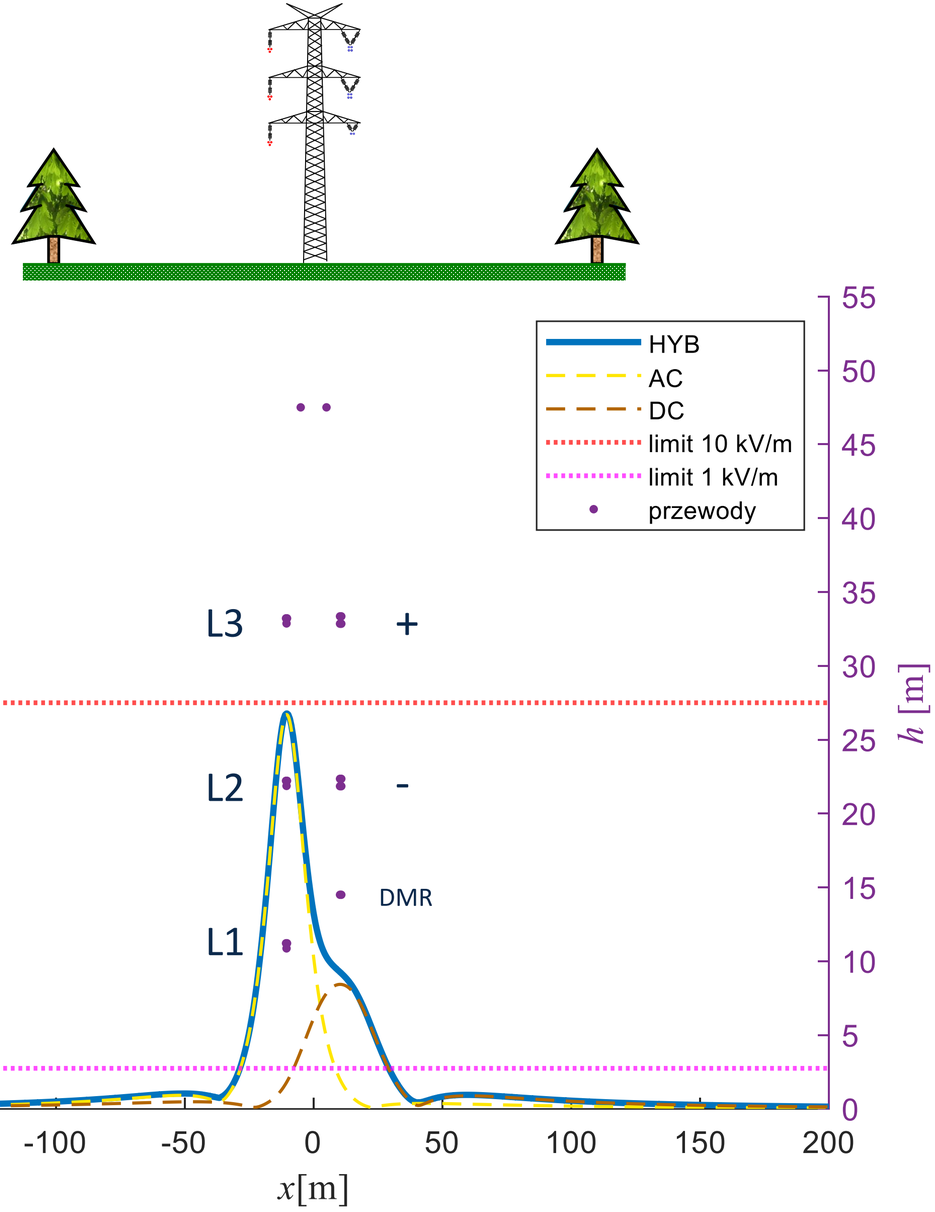




Rozkład pola elektrycznego pod liniami napowietrznymi AC i DC

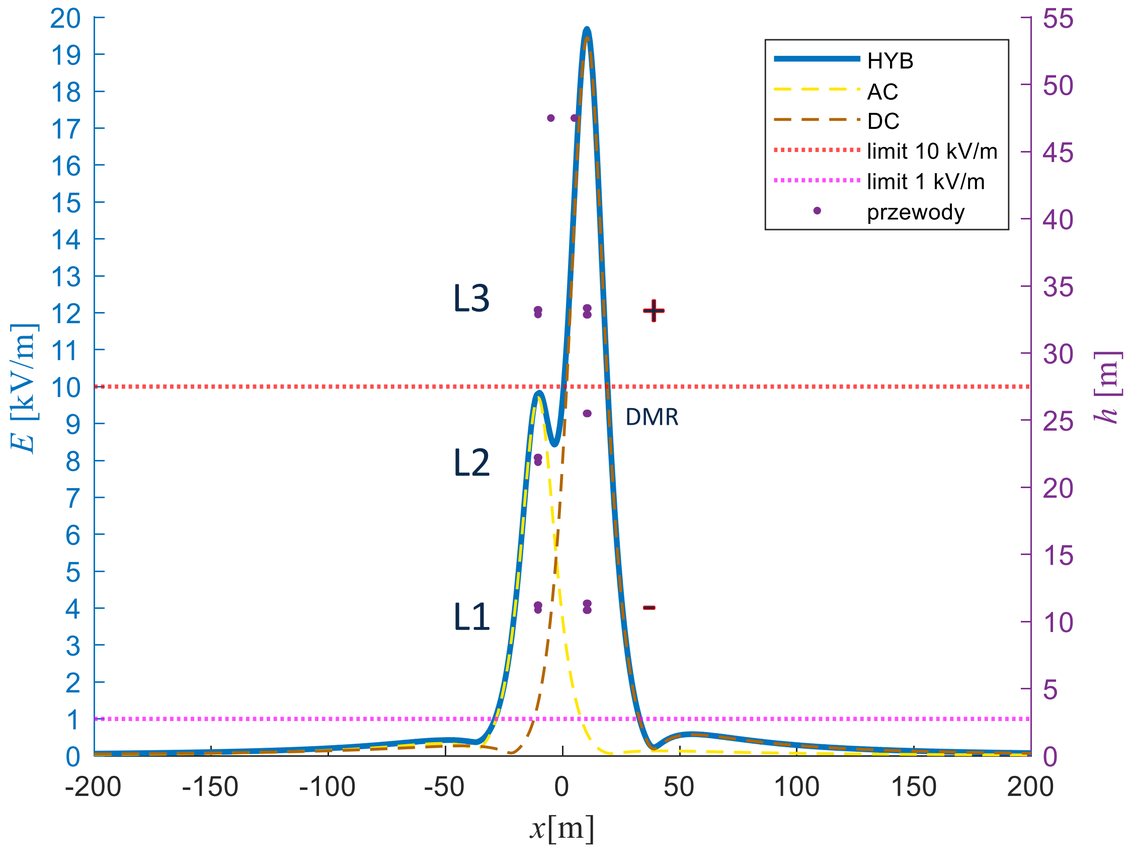
…aż trafiają na wspólną konstrukcję wsporczą – ***linia hybrydowa***

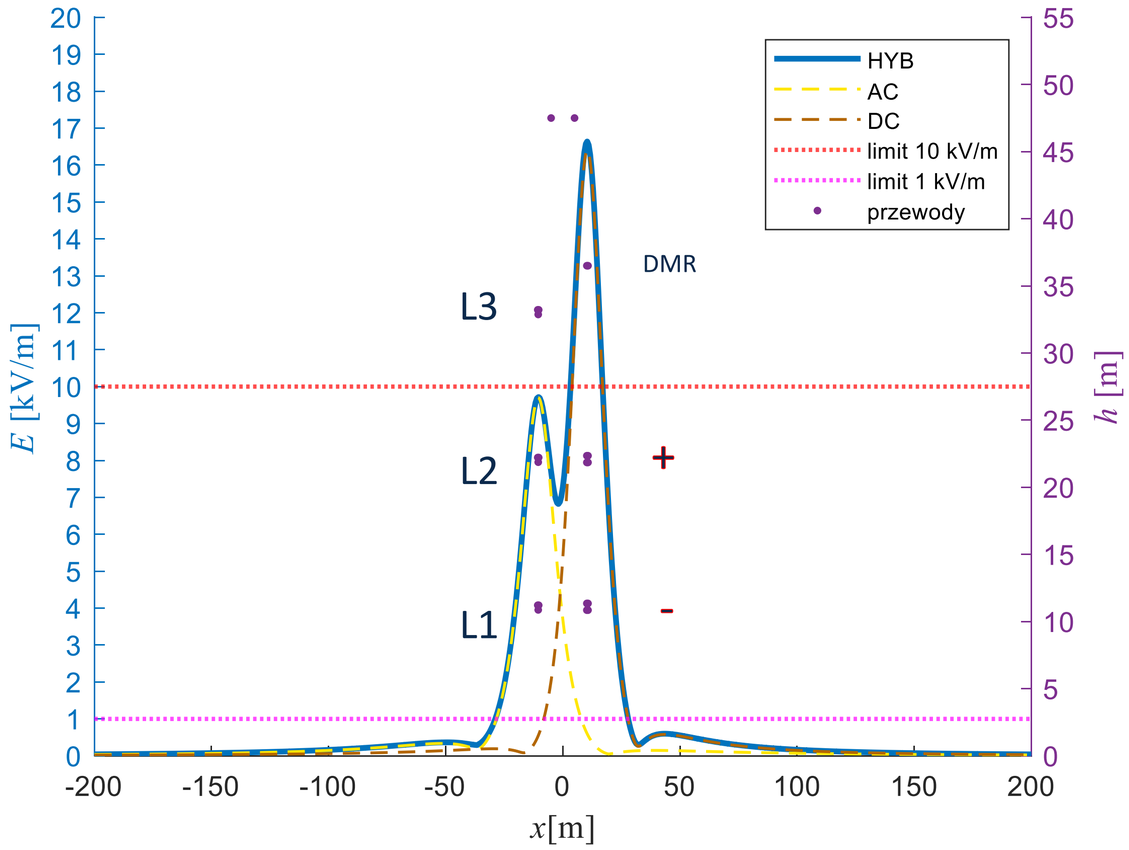




Rozkład pola elektrycznego pod liniami napowietrznymi AC i DC

…jednak gdyby zamienić położenie biegunów i DMR…





Rozkład pola elektrycznego pod liniami napowietrznymi AC i DC

N O W E W Y Z W A N I A

- Wypracowanie przepisów krajowych dot. dopuszczalnego poziomu natężenia pola elektrycznego w otoczeniu przesyłowych linii HVDC
- Zdobycie doświadczenia eksploatacyjnego w zakresie zjawisk wynikających z działania przesyłowych linii HVDC
- Pole DC jest bardziej złożone i czułe na warunki atmosferyczne (prąd jonowy)
- Odczuwanie pola AC i DC jest inne

Weak anthropogenic electric fields affect honeybee foraging

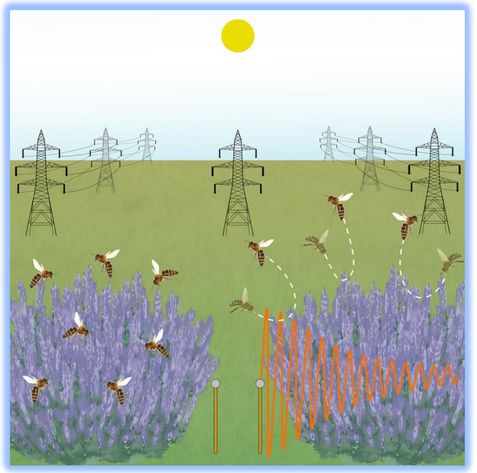
Victoria J. Mallinson, Fraser A. Woodburn, Liam J. O'Reilly, iScience, https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112550

C E L I O B I E K T B A D A Ń

Na obszarach łąk miejskich Autorzy przeprowadzili badania, których **celem** było wykazanie wpływu ELF-EMF pochodzących od linii przesyłowych AC i DC na zachowanie się **pszczół miodnych** podczas żerowania.

Przedmiotem publikacji jest elektrorecepcja, czyli wykrywanie i wrażliwość na pola elektryczne w najbliższym otoczeniu.

Elektrorecepcja jest silnie rozwinięta u stawonogów, które wykorzystują swój system sensoryczny do wykrywania pól pochodzących od kwiatów w celu żerowania.



W Y N I K I B A D A Ń I W N I O S K I



- mediana liczby lądowań pszczół na kwiatach została **zmniejszona** o 70,8% i 52,6% na kwiatach, przy których manipulowano odpowiednio poziomem PE **AC** i **dodatnim DC** w porównaniu z kwiatem kontrolnym,
- **nie zaobserwowano różnicy** w liczbie lądowań w przypadku traktowania otoczenia kwiatu **ujemnym PE DC** (zmiana 0%).



Skoro już jesteśmy przy polu elektrycznym….

CZĘŚĆ 2

Hałas napowietrznej linii HVDC

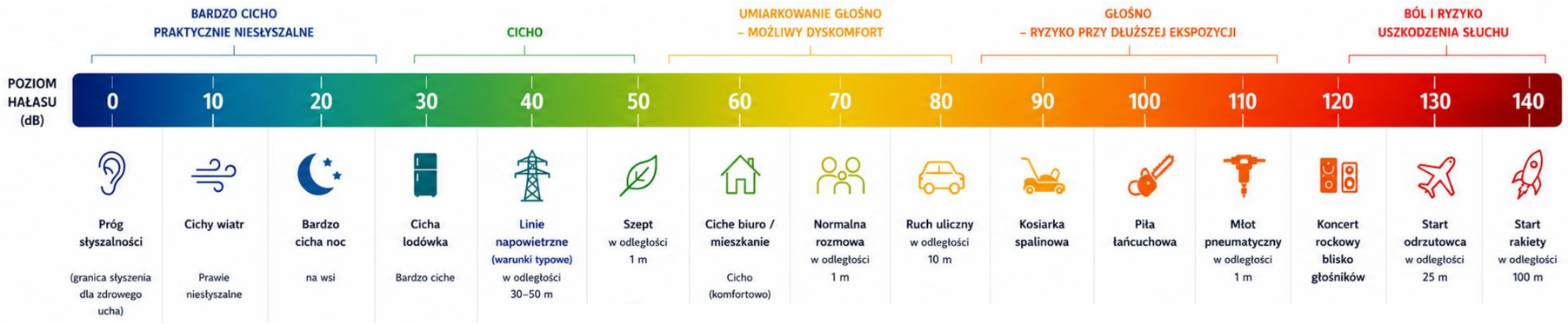
PORÓWNANIE CECH HAŁASU OD LN AC I DC

Cecha	hałas AC	hałas DC
Główne źródło hałasu	Wyładowanie koronowe AC	Wyładowanie koronowe DC
Dominujące zjawisko	Zmiana polaryzacji 100 razy/s	Stała emisja jonów
Zmienność w czasie	Pulsująca, silna składowa 100 Hz i harmoniczne	Brak częstotliwości sieciowej
Kiedy słyszalny	Brzydka pogoda – deszczowa	Ładna pogoda – sucha
Charakter dźwięku	Brzęczenie, buczenie, syczenie, trzaskanie	Stały szum, jednostajne syczenie
Uciążliwość subiektywna	Często bardziej zauważalna Opisywany jako: „Bzzzzzzzzzzzzzzzz…”	Często mniej irytująca przy tym samym poziomie dB(A) Opisywany jako: „Sssssssssssssss…”

SUBIEKTYWNE ZAKRESY POZIOMU HAŁASU GENEROWANEGO PRZEZ LN

Poziom uporczywości	wg CIGRE, dB	wg EPRI, dB	Komentarz
Niski	< 52	< 52,5	poziom restrykcyjny
Średni	52 ÷ 58	52,5 ÷ 59	poziom najczęściej stosowany
Wysoki	58 <	59 <	poziom dopuszczalny dla obszarów mniej wrażliwych

Limity hałasu akustycznego pod liniami napowietrznymi



STOSOWANE LIMITY HAŁASU W WYBRANYCH KRAJACH

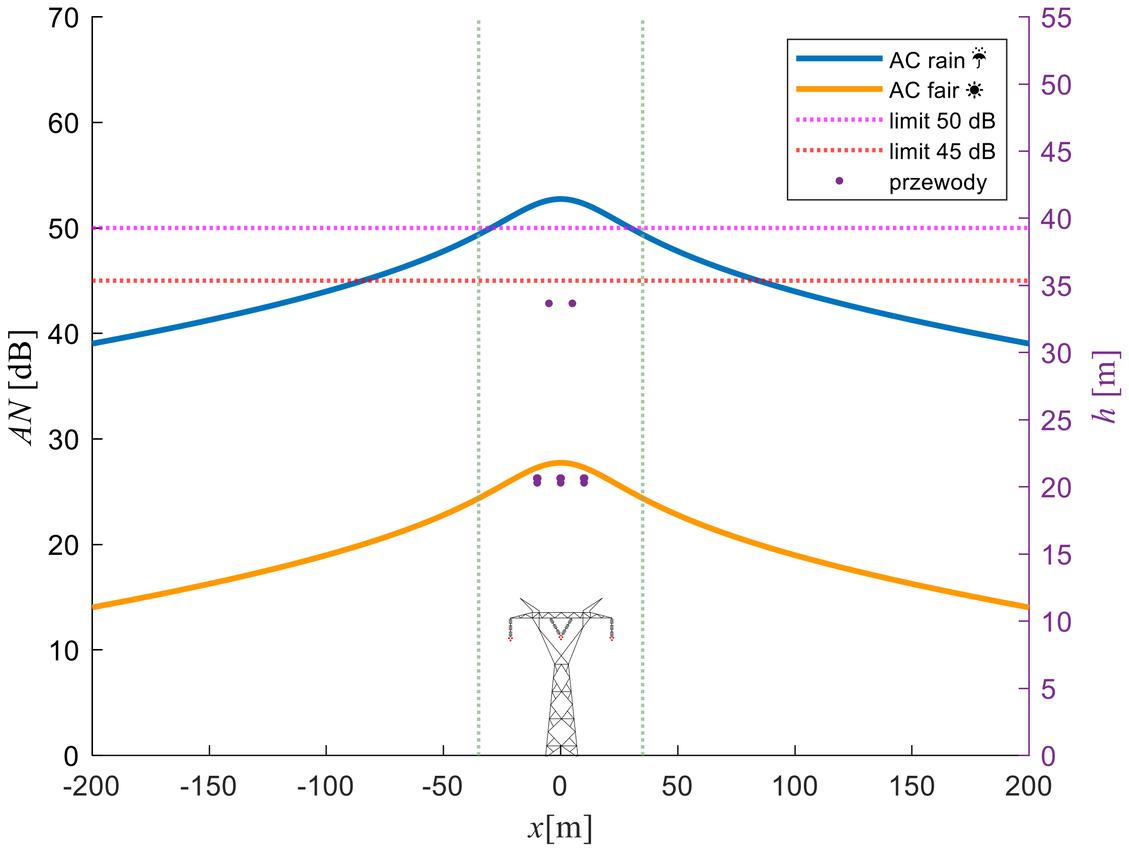


Kraj	Poziom L, dB	Uwaga
Polska	40÷50	w zależności od terenu i pory dnia, podczas deszczu
Norwegia	45÷55	w zależności od terenu
Kanada	50÷55	podczas deszczu (L_{50}), na granicy ROW
Korea	50	podczas deszczu (L_{50})
Niemcy	35÷55	w zależności od terenu
Brazylia	50	na granicy ROW
Francja	45÷55/50÷60	w zależności od terenu i pory dnia
USA	53/58	podczas deszczu/podczas silnego deszczu
Japonia	50	podczas deszczu

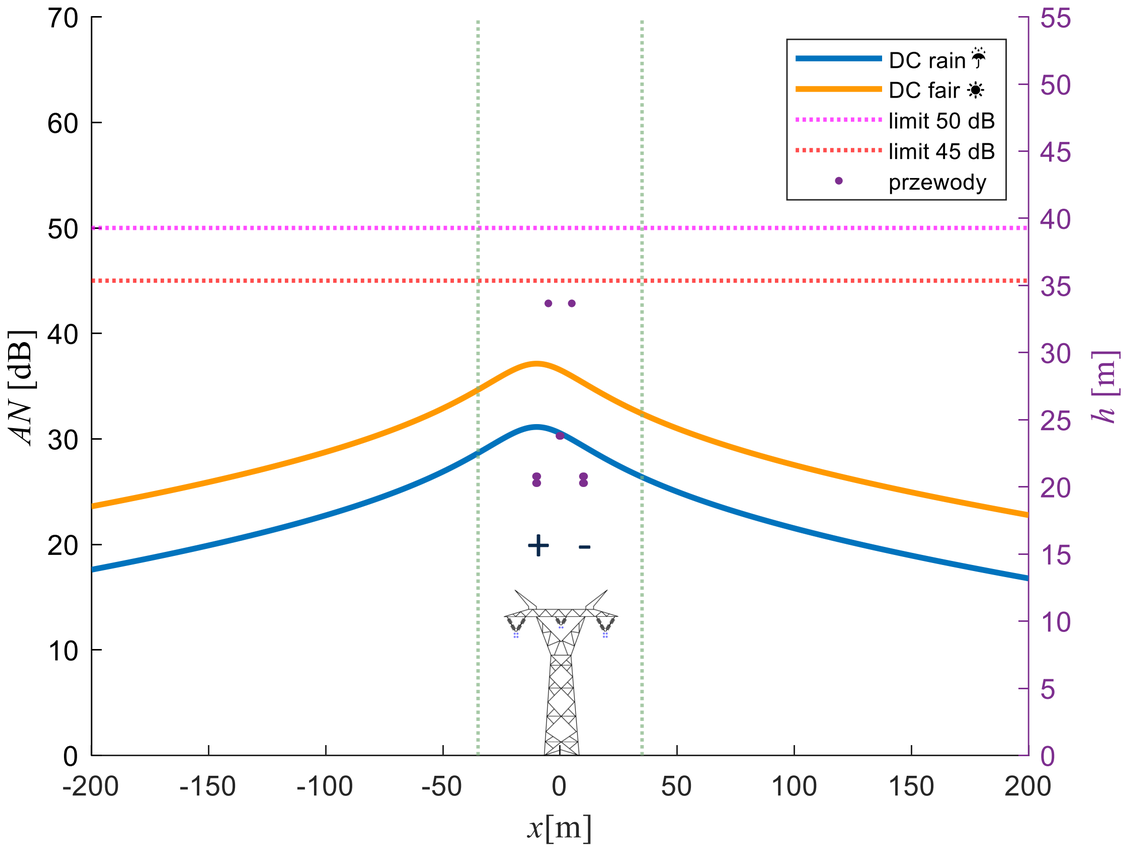
Kraj	Poziom L, dB	Uwaga
Polska	-	-
Norwegia	42	podczas ładnej pogody
Kanada	42	podczas ładnej pogody
Korea	45	podczas ładnej pogody
Niemcy	35÷70	podczas ładnej pogody; w zależności od terenu i pory dnia
Brazylia	42	podczas ładnej pogody
Francja	42	podczas ładnej pogody
USA	45÷55	podczas ładnej pogody
Japonia	45÷70	warunki suche; w zależności od terenu i pory dnia

Metoda EPRI (*The Electric Power Research Institute*): $L50$ **(average)**

To co znamy: **hałas AC**

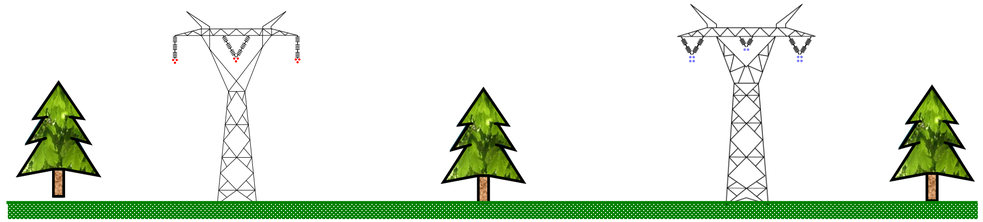


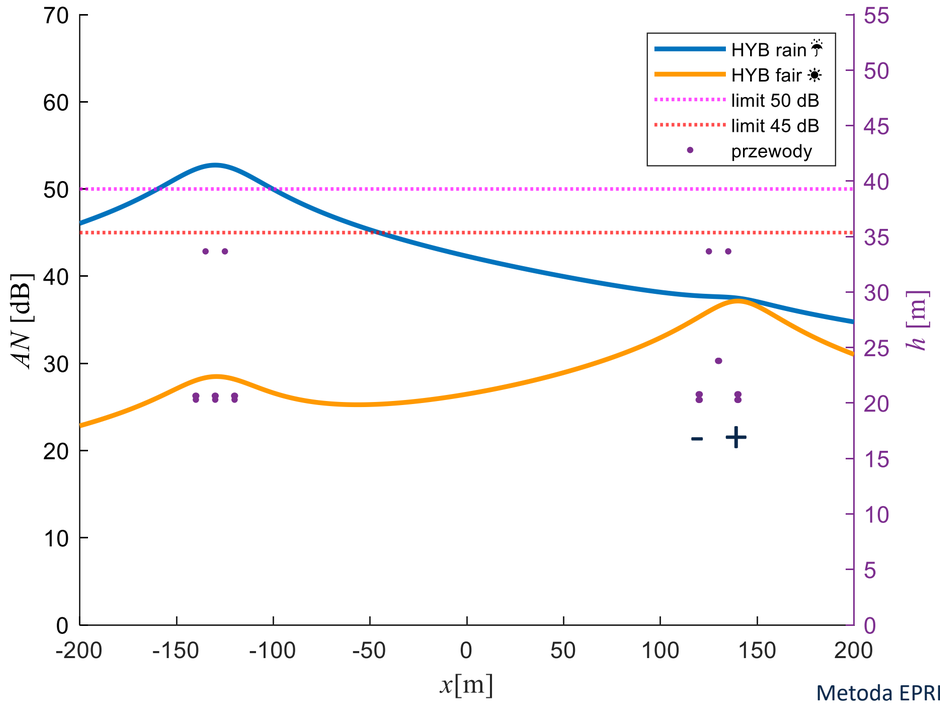
To co przed nami: **hałas DC**



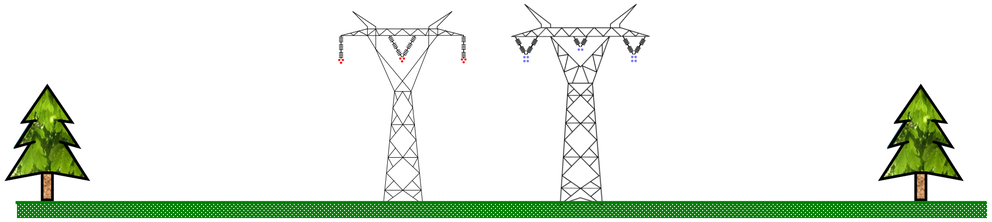
Hałas pod liniami napowietrznymi AC i DC

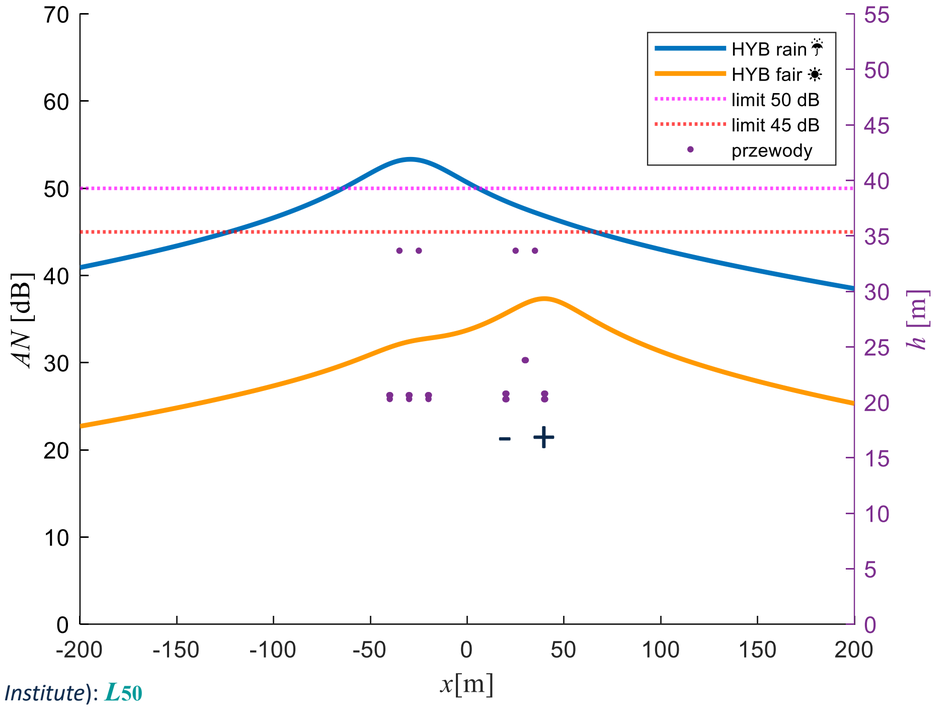
…linie biegną w swoim sąsiedztwie





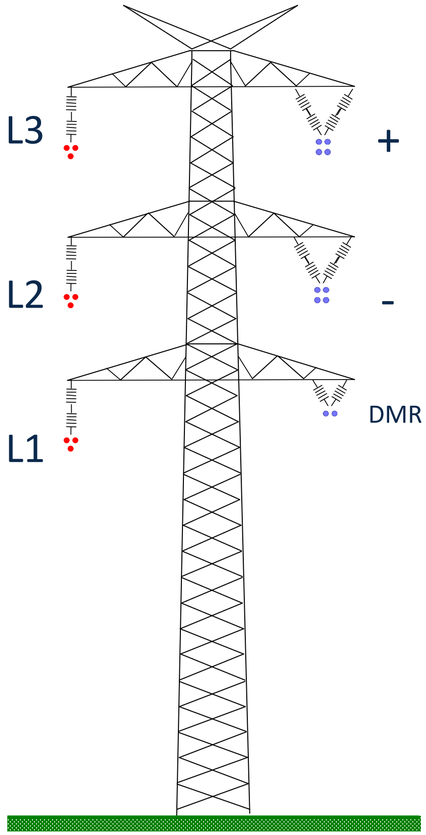
…i jeszcze bliżej

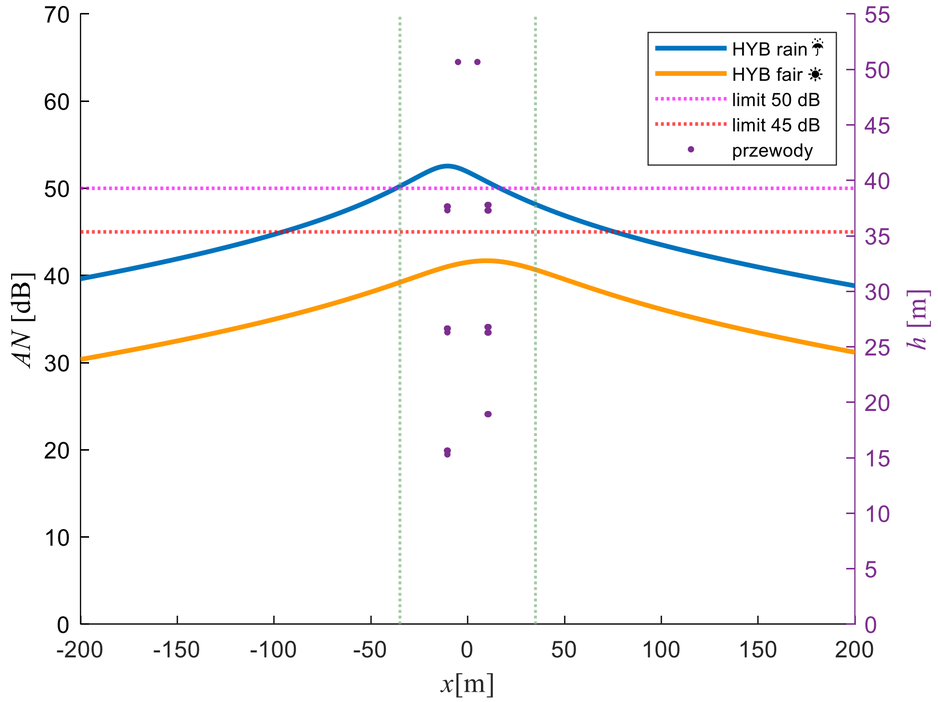




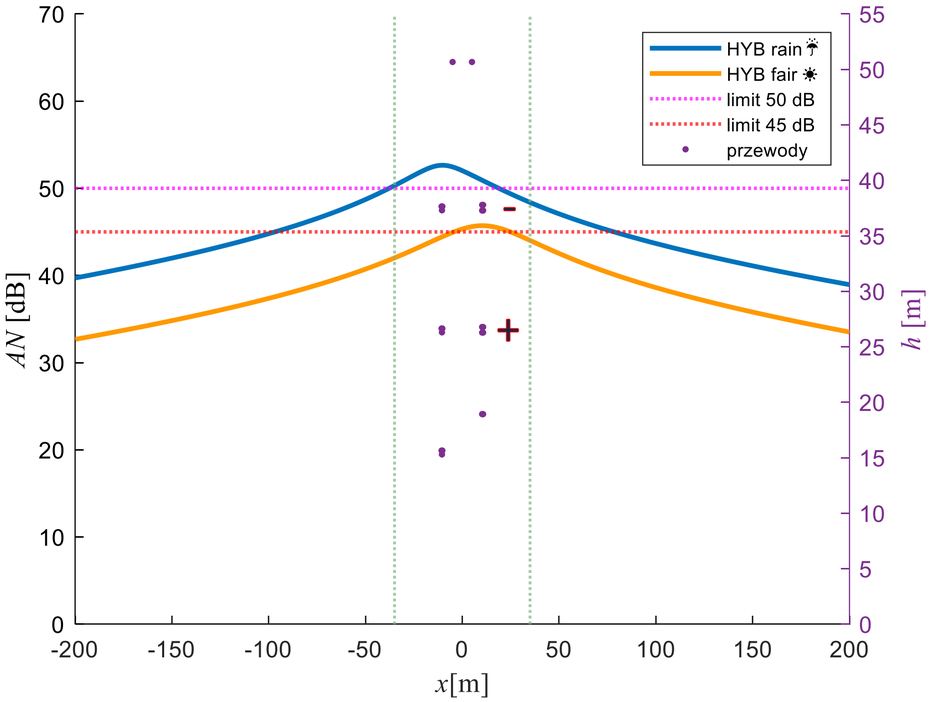
Metoda EPRI (*The Electric Power Research Institute*): L_{50}

Metoda EPRI (*The Electric Power Research Institute*): $L50$ (average)



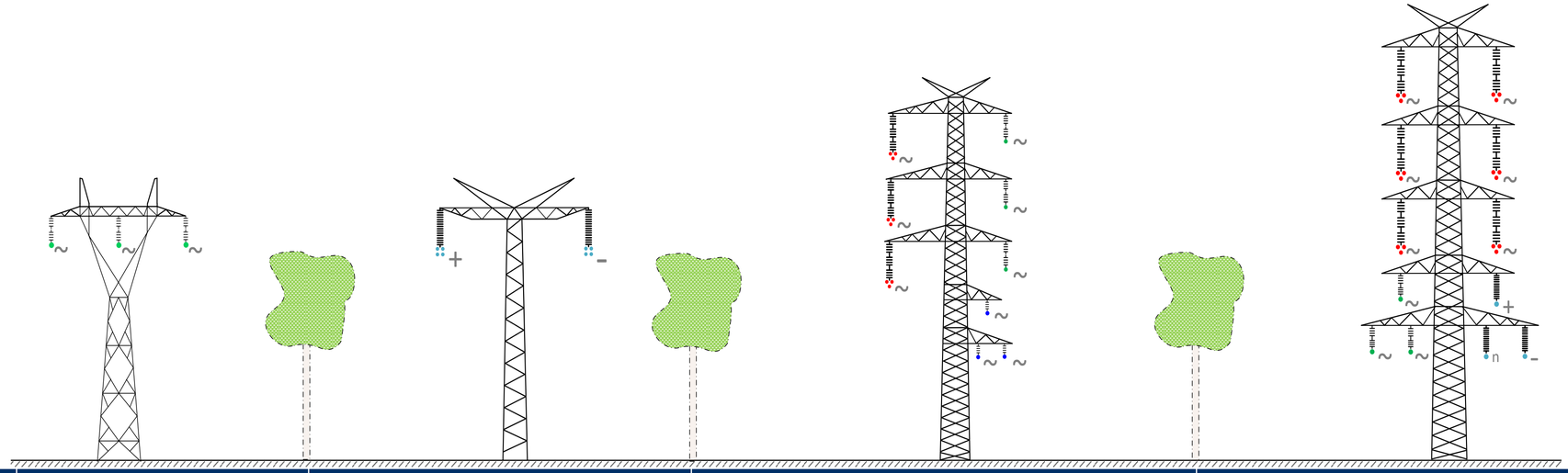


…gdyby zamienić biegunowości przewodów



Porównanie

Legenda	
Znaczny wzrost	↑
Niewielki wzrost	↗
Bez znaczących zmian	≈
Niewielki spadek	↘
Znaczący spadek	↓



Cecha	LN HVAC	LN HVDC	WWLN	LN HVAC/HVDC
Krajowe przepisy i normy dot. LN	odniesienie	nie zdefiniowano	jak dla LN HVAC	nie zdefiniowano
Natężenie pola elektrycznego	odniesienie	↑	≈	↗
Natężenie pola magnetycznego	odniesienie	≈	≈	↗
Hałas	odniesienie	↓	↗	↑
Wpływ na krajobraz	odniesienie	↘	↘	↘
Obawy opinii publicznej	odniesienie	↑	↗	↑

Podsumowanie

- *Dziś*: wybrane elementy analiz dot. natężenia pola elektrycznego oraz hałasu słyszalnego w otoczeniu napowietrznych linii HVDC i linii hybrydowych
- Obecnie brak doświadczeń oraz wytycznych krajowych odnoszących się do zjawisk i skutków pracy linii napowietrznych HVDC i hybrydowych
- Znane są sposoby, umożliwiające kreowanie poziomu natężenia pola elektrycznego i hałasu generowanego przez LN, np. poziom generowanego przez LN hałasu zależy od:
  - natężenia pola na powierzchni przewodów,
  - odległości między przewodami w wiązce,
  - geometrii słupa tj. odległości pomiędzy poszczególnymi przewodami roboczymi,

przy czym tego typu działania należy przewidzieć na etapie projektowania linii.



Dziękujemy za uwagę

Dr inż. **Agnieszka Dziendziel**

Politechnika Śląska · agnieszka.dziendziel@polsl.pl

PSE Innowacje · agnieszka.dziendziel@pse.pl

Dr hab. inż. **Henryk Kocot**, prof. PŚ

Politechnika Śląska · henryk.kocot@polsl.pl



VII Konferencja *Linie i stacje elektroenergetyczne*
Wisła, 21-22 października 2026 r.

Politechnika Śląska

UCZELNIA BADAWCZA

PSE Innowacje