

## ZAŁĄCZNIK NR 3 DO UZUPEŁNIENIA RAPORTU

**StW – PRACOWNIA PROJEKTOWO – MONTAŻOWA RADIA I TV**

mgr inż. Stanisław Wojciech Wierzbicki

NIP 584-000-70-01

☎/fax 0-58 554-54-35, 0-503-455-413

e-mail: pracowniastw@poczta.onet.pl

80-299 Gdańsk, ul. Kpt. K.Maciejewicza 9   konto bankowe: PKO BP S.A. nr 33 1020 1811 0000 0902 0016 6959



ANALIZA OBLICZENIOWA I OCENA ODDZIAŁYWANIA  
PÓŁ ELEKTROMAGNETYCZNYCH (PEM) PLANOWANEJ  
FARMY FOTOWOLTAICZNEJ „PRZYBRDA” O MOCY DO 400 MW  
W OBRĘBIE BIAŁA, GMINA BIAŁY BÓR, POWIAT SZCZECINECKI,  
WOJEWÓDZTWO ZACHODNIOPOMORSKIE

**Obiekt:** Farma fotowoltaiczna „Przybrda” o mocy elektrycznej do 400 MW, działki nr 16/1, 276, 277, 278/42, 279, obręb Biała, gmina miejsko – wiejska Biały Bór, powiat szczecinecki, województwo zachodniopomorskie

**Zlecniodawca:** Biuro Projektów i Wdrożeń Proekologicznych „PROEKO”  
80 – 280 Gdańsk ul. Szymanowskiego 2 lok.12

**Opracował:**

Biegły – rzeczoznawca SEP NOT,  
Ministra Środowiska i Wojewody Pomorskiego  
w zakresie ocen oddziaływania PEM i hałasu na środowisko



Biegły Ministra Ochrony Środowiska  
mgr inż. Stanisław W. Wierzbicki  
upr. nr 1246/98 MOŚ, ZNiL W-wa

– Gdańsk – maj – 2024 r. –

### Zawartość opracowania

#### A. CZĘŚĆ OPISOWA I GRAFICZNA

Analiza obliczeniowa i ocena oddziaływania pola elektromagnetycznego (PEM) planowanej farmy fotowoltaicznej „Przybrda” o mocy do 400 MW, działki nr 16/1, 276, 277, 278/42, 279, obręb Biała, gmina miejsko – wiejska Biały Bór, powiat szczecinecki, województwo zachodniopomorskie

#### B. RYSUNKI W OPARCIU O PLAN ZAGOSPODAROWANIA TERENU (PZT)

1. Rozkład oddziaływań pól elektromagnetycznych (PEM) urządzeń i instalacji PV oraz podziemnej linii kablowej 15 kV (30 kV) planowanej Farmy „Przybrda” na ortofotomapie PZT

Rys. W–1 (str. 58)

2. Oddziaływanie pól elektromagnetycznych (PEM) urządzeń i instalacji PV planowanej Farmy „Przybrda” wraz z odległościami do chronionej zabudowy mieszkaniowej na ortofotomapie PZT terenu obrębu Biała

Rys. W–2 (str. 59)

3. Wyniki analiz skumulowanych oddziaływań pól elektromagnetycznych (PEM) planowanej Farmy „Przybrda” wraz z innymi źródłami interakcji PEM na tle obrębu Biała.

Rys. W–3 (str. 60)

## SPIS TREŚCI

|        |                                                                                                                                                                        |    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I.     | CZĘŚĆ OGÓLNA                                                                                                                                                           |    |
| 1.     | Stadium i temat opracowania .....                                                                                                                                      | 4  |
| 2.     | Zakres opracowania .....                                                                                                                                               | 4  |
| 3.     | Lokalizacja obiektu .....                                                                                                                                              | 4  |
| 4.     | Zlecniodawca.....                                                                                                                                                      | 4  |
| 5.     | Podstawa opracowania .....                                                                                                                                             | 4  |
| 6.     | Uzgodnienia .....                                                                                                                                                      | 5  |
| II.    | CZĘŚĆ TECHNICZNA                                                                                                                                                       |    |
| 1.     | Cel opracowania.....                                                                                                                                                   | 5  |
| 2.     | Przepisy prawne – wymagania ochrony środowiska w zakresie oddziaływania PEM.....                                                                                       | 6  |
| 3.     | Człowiek w naturalnym środowisku elektromagnetycznym Ziemi.....                                                                                                        | 7  |
| 4.     | Planowane przedsięwzięcie – farma fotowoltaiczna „Przybrda” o mocy do 400 MW .....                                                                                     | 8  |
| 4.1.   | Wprowadzenie – rozwój elektrowni fotowoltaicznych PV .....                                                                                                             | 8  |
| 4.2.   | Charakterystyka przedsięwzięcia – planowana farma fotowoltaiczna „Przybrda” –<br>główne cechy procesów technologicznych.....                                           | 9  |
| 4.2.1. | Lokalizacja terenu planowanej farmy fotowoltaicznej „Przybrda” .....                                                                                                   | 9  |
| 4.2.2. | Projekt Farmy „Przybrda” - plan zagospodarowania terenu (PZT) .....                                                                                                    | 10 |
| 4.2.3. | Tereny otoczenia farmy fotowoltaicznej „Przybrda” .....                                                                                                                | 10 |
| 4.2.4. | Charakterystyka urządzeń i instalacji farmy „Przybrda” .....                                                                                                           | 11 |
| 4.2.5. | Postęp technologiczny w fotowoltaice PV a wpływ na środowisko .....                                                                                                    | 16 |
| 4.2.6. | Zabezpieczenia instalacji PV – ochrona przed przepięciami i zwarciami .....                                                                                            | 17 |
| 5.     | Ustawowe dopuszczalne wielkości graniczne PEM środowiska Farmy „Przybrda”.....                                                                                         | 19 |
| 5.1.   | Podstawowe określenia i definicje.....                                                                                                                                 | 19 |
| 5.2.   | Dopuszczalne ustawowe wielkości poziomów pól elektromagnetycznych (PEM)<br>w środowisku .....                                                                          | 20 |
| 5.3.   | Sprawdzanie dotrzymania wielkości dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku ....                                                                                        | 21 |
| 5.4.   | Najwyższe dopuszczalne natężenia PEM szkodliwe dla zdrowia w środowisku pracy....                                                                                      | 24 |
| 6.     | Analiza wpływu PEM w zakresie częstotliwości $f=50$ Hz na zdrowie ludzi i środowisko .....                                                                             | 24 |
| 7.     | Pole elektromagnetyczne w bliskim otoczeniu człowieka – porównawcze wielkości PEM .....                                                                                | 25 |
| 8.     | Ustawowa ocena kwalifikacji przedsięwzięcia – budowa elektrowni fotowoltaicznej PV .....                                                                               | 28 |
| 9.     | Przykładowe badania i pomiary środowiskowe wykonane w obiektach OZE – elektrownie<br>fotowoltaiczne: projektowana Bożepole oraz eksploatowana Gdańsk Przejazdowo ..... | 28 |
| 9.1.   | Eksploatowana elektrownia fotowoltaiczna Grupy Energa Gdańsk Przejazdowo<br>– analiza i ocena badań pomiarów PEM i temperatury.....                                    | 28 |
| 9.2.   | Elektrownia fotowoltaiczna PV Bożepole – analiza i ocena badań PEM .....                                                                                               | 31 |
| 9.3.   | Wnioski z badań i pomiarów PEM obu elektrowni Gdańsk Przejazdowo i Bożepole .....                                                                                      | 31 |
| 10.    | Metodologia analizy i oceny zasad wariantowych obliczeń poziomów PEM<br>Farmy „Przybrda” .....                                                                         | 32 |
| 10.1.  | Założenia do symulacji programu komputerowego APEM/2000 prognozy<br>rozkładów PEM .....                                                                                | 32 |
| 10.2.  | Główne źródła oddziaływań PEM planowanej Farmy „Przybrda” .....                                                                                                        | 35 |
| 10.3.  | Wnioski z symulacji badań i komputerowych obliczeń i pomiarów poziomu PEM.....                                                                                         | 44 |
| 11.    | Skumulowane oddziaływania PEM obrębu Biała.....                                                                                                                        | 48 |
| 12.    | Propozycje monitoringu oddziaływania Farmy „Przybrda” .....                                                                                                            | 52 |
| 13.    | Analiza możliwych konfliktów społecznych w zakresie PEM.....                                                                                                           | 53 |
| 14.    | Podsumowanie i wnioski ostateczne .....                                                                                                                                | 54 |
| 15.    | Źródła informacji i literatura .....                                                                                                                                   | 56 |

# I. CZEŚĆ OGÓLNA

## 1. Stadium i temat opracowania

Analiza obliczeniowa i ocena oddziaływania pola elektromagnetycznego (PEM) planowanej farmy fotowoltaicznej „Przybrda”, moc do 400 MW, działki 16/1, 276, 277, 278/42, 279, obręb Biała, gmina miejsko-wiejska Biały Bór, pow. szczecinecki, województwo zachodniopomorskie.

## 2. Zakres opracowania

Zakres opracowania, analiz obliczeń PEM i dokumentacji zgodny z podstawą prawną [I.5.] i obowiązującymi przepisami norm, ustaw, rozporządzeń [II.2.] i ustaleniami ze Zleceniodawcą.

## 3. Lokalizacja obiektu

Farma fotowoltaiczna „Przybrda” o mocy do 400 MW, działki nr 16/1, 276, 277, 278/42, 279, obręb Biała, gmina Biały Bór, powiat szczecinecki, województwo zachodniopomorskie. Szczegóły wg załączników: tabel i rys.: W-1, W- 2 i W- 3.

## 4. Zleceniodawca

Biuro Projektów i Wdrożeń Proekologicznych „PROEKO”  
80–280 Gdańsk ul. Szymanowskiego 2, lok.12.

## 5. Podstawa opracowania

- 5.1. Zlecenie Nr 1/04/2024 z dnia 28.04.2024 r. zawarte ze Zleceniodawcą w dniu 30.04.2024 r.,
- 5.2. Wezwanie nr WST-K.4221.27.2024.MGN RDOŚ w Szczecinie Wydział Spraw Terenowych w Koszalinie z dnia 4.04.2024 r. – pkt. 6 wzywa do określenia zasięgu PEM Farmy „Przybrda”,
- 5.3. Plan Zagospodarowania Terenu (PZT) na podkładzie ortofotomapy i mapy ewidencyjnej terenu planowanej farmy fotowoltaicznej „Przybrda” o mocy do 400 MW,
- 5.4. Materiały projektowe Farmy „Przybrda” wg pkt. 3. Zlecenia Nr 1/04/2024 z dnia 28.04.2024 r.: parametry elektryczne przykładowych urządzeń, mapa rozmieszczenia planowanych innych farm fotowoltaicznych i istniejącej farmy wiatrowej „Biały Bór”, zestawienie planowanych farm fotowoltaicznych dostępne w BiP gminy Biały Bór, mapa i zestawienie tabelaryczne min. odległości zabudowy mieszkaniowej, zagrodowej i rekreacyjnej od Farmy „Przybrda”,
- 5.5. Strategia Rozwoju Gminy Biały Bór na lata 2019-2025 – Załącznik do Uchwały Nr XLIV/308/2018 Rady Miejskiej w Białym Borze z dnia 26.10.2018 roku,
- 5.6. Program ochrony środowiska dla gminy Biały Bór na lata 2022–2026 z perspektywą do 2030 roku. Uchwała nr XLVI/317/2022 Rady Miejskiej w Białym Borze z dnia 30.09.2022 r.
- 5.7. Analiza i ocena na przykładzie oddziaływania pola elektromagnetycznego (PEM), hałasu i temperatury planowanej elektrowni fotowoltaicznej PV Bożepole Wielkie o mocy do 10 MW wraz z techniczną infrastrukturą elektroenergetyczną w dniu 19.06.2017 r.,
- 5.8. Projektowana elektrownia PV Bożepole – raport OŚ dot. analiz obliczeń PEM i hałasu, 2018 rok,
- 5.9. Raport o oddziaływaniu na środowisko planowanej Farmy „Przybrda” o mocy do 400 MW, działki nr 16/1, 276, 277, 278/42, 279, obręb Biała, gmina miejsko – wiejska Biały Bór, powiat szczecinecki, województwo zachodniopomorskie, PROEKO Gdańsk, 2024,
- 5.10. Własne badania i pomiary PEM, wizualizacje fotograficzne na przykładzie eksploatowanej od 10 lat elektrowni PV Gdańsk Przejazdowo w dniach: 4.11.2014 r. oraz 19.06.2017 r.,
- 5.11. Raporty OŚ StW dot. analiz badań i pomiarów środowiska wykonane w wielu obiektach OZE – elektrownie fotowoltaiczne PV i wiatrowe z lat 1991 – 2023 wykorzystane w opracowaniu,
- 5.12. Symulacje komputerowe analiz obliczeń składowych E i H PEM w oparciu o program cyfrowy: APEM/2000 – opis, tabele wyników obliczeń oraz obrazy graficzne na wykresach i mapach,
- 5.12. Normy elektroenergetyczne – obiekty i instalacje elektroenergetyczne:
  - PN-E-05100-1: 1998 – Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Uwaga: norma wycofana przez PKN, może być stosowana jako zbiór zasad wiedzy, o którym mowa w art. 5 ustawy Prawo budowlane,

- PN-EN 50341-1: 2005 – Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV”. Część I: Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne – nie określa wartości dopuszczalnych poziomów PEM, powołuje się na normatywne warunki krajowe (NNA).
  - PN-EN 50341-3:2002/AC:2007. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV. Część 3: Zbiór normatywnych warunków krajowych (NNA),
  - PN - IEC 833: 1997. Pomiar pól elektrycznych częstotliwości przemysłowej,
  - PN-EN 50341-2:2002/AC:2007. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV. Część 2: Wykaz normatywnych warunków krajowych (NNA),
  - N-SEP-E-004 – Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Projektowanie i budowa,
- 5.13. Normy – bezpieczeństwo i higiena pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym:
- PN-74/T-06260. Źródła promieniowania elektromagnetycznego. Znaki ostrzegawcze,
  - PN-T-06580-1. Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Terminologia,
  - PN-T-06580-3. Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości 0 Hz do 300 GHz. Metody pomiaru i oceny natężenia pola na stanowisku pracy.
- 5.14. PN-EN 61215-1:2017-01 i -05 – wersje angielskie. Moduły fotowoltaiczne PV do zastosowań naziemnych. Kwalifikacja konstrukcji i aprobaty typu – Część 1, 2: Wymagania dotyczące badań.

## 6. Uzgodnienia

Przed przystąpieniem do realizacji niniejszych prac na podstawie zlecenia [I.5.1] dokonano:

- uzgodnień z koordynatorem i autorem przedmiotowego raportu oraz planu zagospodarowania terenu (PZT) dr. hab. Maciejem Przewoźniakiem – Biuro Projektów i Wdrożeń Proekologicznych PROEKO w Gdańsku nt. zakresu i przedmiotu niniejszych prac w aspekcie wpływu pola elektromagnetycznego (PEM) planowanej farmy fotowoltaicznej „Przybrda” o mocy do 400 MW na zabudowę mieszkaniową obrębu Biała,
- ustalenia i zmiany dot. urządzeń PV z projektantem mgr inż. Piotrem Kwiatkowskim.

## II. CZĘŚĆ TECHNICZNA

### 1. Cele opracowania

Celem niniejszego opracowania określone na podstawie wymagań ustaw i przepisów prawnych [II.2] oraz ustaleń ze Zleceniodawcą i Projektantem jest analiza wyników obliczeń i ocena stanu oddziaływania pól elektromagnetycznych (PEM) planowanej farmy fotowoltaicznej „Przybrda” o mocy do 400 MW obręb Biała, ze szczególnym uwzględnieniem chronionej zabudowy mieszkaniowej i miejsc dostępnych dla ludności oraz zachowania standardów jakości środowiska w zakresie:

- ▲ spełnienia wymagań pkt. 6 wezwania nr WST-K.4221.27.2024.MGN Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Szczecinie Wydział Spraw Terenowych Koszalin z dnia 4.04.2024 r. – określenie zasięgu pól elektromagnetycznych wokół planowanej farmy fotowoltaicznej Przybrda na etapie użytkowania przedsięwzięcia, również w ujęciu skumulowanym i udowodnienia, że zostaną zachowane dopuszczalne wartości natężenia pola elektromagnetycznego (PEM) w miejscach dostępnych dla ludności,
- ▲ standardów emisji PEM od urządzeń fotowoltaicznych PV i instalacji elektrycznych,
- ▲ określenie stopnia i metod spełnienia wymagań ochrony środowiska, z uwzględnieniem stanu współczesnej wiedzy i metod badań PEM, dostępności i możliwości technicznych,
- ▲ wariantowa implementacja obliczeń symulacji programu APEM/2000, badań i pomiarów in situ na przykładzie użytkowanej elektrowni PV w Gdańsku Przejazdowo i projektowanej Bożepole,
- ▲ sposoby rozwiązań ograniczeń i zapobiegania potencjalnie negatywnych oddziaływań na chronioną zabudowę mieszkaniową są zbędne, gdyż dotrzymano ustawowe dopuszczalne wielkości  $E$  [kV/m] i  $H$  [A/m] i brak jest skumulowanych oddziaływań PEM. Zatem zachowano istniejące standardy jakości środowiska w zakresie emisji PEM obrębu Biała.

Podane cele zrealizowano w oparciu o prace archiwalne, analizy i empiryczne badania terenowe PEM in situ na podstawie doświadczeń z wykonanych pomiarów w latach 2014 – 2018 [II.9], a także oceny obliczeń wariantowej implementacji informatycznej PEM do wdrożonych nowoczesnych rozwiązań użytkowych instalacji i urządzeń PV oraz instalacji elektroenergetycznych jak:

- ⬇️ ogniwa i panele PV, inwertery, kontenerowe stacje transformatorowe, kontenerowe magazyny energii dla instalacji PV o dużej sprawności konwersji i stabilności, np. ogniwa wielozłączowe tzw. tandemowe lub multijunction devices oraz stosujące koncentratory promieniowania,
- ⬇️ implementacja postępu nowych technologii przetwarzania energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną to nie tylko rozwój samych urządzeń o wyższej sprawności i niższej cenie, ale także rozwój rozwiązań systemowych,
- ⬇️ nowe systemy III generacji bazujące na technologiach CPV (ang. Concentrated Photovoltaics) – skupianie promieni słonecznych na absorberze, stanowiącym ogniwo PV. Wykorzystanie sprawdzonej technologii kosmicznej do konstrukcji multizłączowego ogniwa, składającego się z kilku ogniw z półprzewodników o różnej przerwie energetycznej, gdzie koncentratory promieniowania redukują koszty systemu przez zastąpienie powierzchni pokrytej kosztownymi ogniwami tańszymi elementami skupiającymi promieniowanie słoneczne,
- ⬇️ wariantowa implementacja informatyczna w postaci symulacji programu komputerowego PEM/2000 stanowi proces przekształcania opisu systemu lub programu na dany obiekt PV i instalacji, gdzie działający program zapisano w konkretnym języku informatycznym, będący efektem m.in. wdrożenia systemu operacyjnego. Jest to powiązanie z formalną prezentacją zapisu zbiorów pojęć (ang. concept) i relacji między nimi definiowany jako ontologia pojęć. Zapis tworzy schemat pojęciowy, który jako opis dziedziny wiedzy (PEM, hałas), jednocześnie służy jako podstawa do wnioskowania o właściwościach opisanych ontologią opartą o konkretne dane i strukturę. Cechą implementacji jest korzystanie ze skomplikowanego systemu pamięci segmentowanej wirtualnej obsługiwanej programowo, umożliwiającą uruchamianie aplikacji o rozmiarach dostępnych pamięci operacyjnej systemu komputera.

Niniejsze opracowanie, niejako ekspertyza techniczno-środowiskowa, stanowi specjalistyczny załącznik pomocny do podjęcia decyzji administracyjnej, na wezwanie nr WST-K.4221.27.2024.MGN Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Szczecinie Wydział Spraw Terenowych w Koszalinie dla określenia wymagań i oceny wpływu planowanej Farmy „Przybrda” w zakresie potencjalnych oddziaływań PEM na środowisko, ze szczególnym uwzględnieniem zachowania standardów emisji i dopuszczalnych wartości natężenia PEM w bezpośrednim otoczeniu zabudowy mieszkaniowej oraz w miejscach dostępnych dla ludności, także w ujęciu skumulowanym obiektów obrębu Biała.

## 2. Przepisy prawne – wymagania ochrony środowiska w zakresie oddziaływania PEM

Od dnia 1.05.2004 roku polskie prawodawstwo w zakresie ochrony środowiska dostosowywano do wymagań Unii Europejskiej, czego przejawem jest rozszerzenie polskiego systemu prawnego.

Wymagania ochrony środowiska w zakresie oddziaływań pola elektromagnetycznego (PEM) elektrowni fotowoltaicznej PV wytyczają obowiązujące przepisy prawne, z których najważniejsze to:

- 2.1. Ustawa – Prawo ochrony środowiska z dnia 27.04.2001 r. późn. zm. [Dz.U.2001 Nr 62, poz.627; Obwieszczenie Marszałka Sejmu RP dnia 29.09.2021 r. poz.1973 – tekst jednolity],
- 2.2. Ustawa z dnia 7.07.1994 r. – Prawo budowlane [Obwieszczenie Marszałka Sejmu RP z dnia 20.12.2021, Dz. U. 2021 poz.2351, 2022 poz.88] – tekst jednolity,
- 2.3. Ustawa – Prawo energetyczne oraz ustawa – Prawo ochrony środowiska z późn. zm. [Dz. U. 2005 Nr 62, poz. 952, 2007 Nr 115, Obwieszczenie Marszałka Sejmu RP z dnia 4.04.2019 r. jednolity tekst – Prawo energetyczne Dz.U.2019 poz. 755, 1435, 1495, 1520, 1524, 1556],
- 2.4. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12.11.2007 r. ws. zakresu i sposobu prowadzenia okresowych badań PEM w środowisku [Dz. U. Nr 221, poz. 1645],
- 2.5. Ustawa z dnia 3.10.2008 r. o udostępnieniu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko [Dz. U. 2018 poz. 2081, 2019 poz. 630, 1501, 1589, 1712 i 1815 [Obwieszczenie Marszałka Sejmu RP z dnia 21.12.2021 r. jednolity tekst – Dz. U. 2021 poz. 2373, 2389],
- 2.6. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2.02.2011 r. ws. badań i pomiarów szkodliwych dla człowieka w środowisku pracy (Dz. U. 2011 nr 33, poz. 166),
- 2.7. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16.06.2011 r. ws. wymagań pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku (Dz. U. 2011 Nr 140, poz. 824 z późn. zm.),

- 2.8. Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20.02.2015 r., Obwieszczenie Marszałka Sejmu RP dnia 29.11.2018 – tekst jednolity [Dz. U. 2018 poz. 2389, 2245, 2019 poz.1495,1524, 2020],
- 2.9. Rozporządzenie MRPiPS z dnia 29.06.2016 r. ws. bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole elektromagnetyczne [Dz. U. 2016 poz. 950],
- 2.10. Rozporządzenie MRPiPS z dnia 12.06.2018 r. ws. najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [Dz. U. 2018 poz. 1286] – wdraża dyrektywę Komisji UE 2017/164 dnia 31.01.2017 r. wg dyrektywy Rady 98/24/WE,
- 2.11. Rozporządzenie RM z dnia 3.10.2008 r. ws. przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko i jego ochronę oraz ocenach oddziaływania na środowisko [Dz. U. 2018 poz.2081, 2019 poz. 1839 wersja od 13.09.2023 r.] – dyrektywa PEiR 2011/92/UE z dnia 13.12.2011 r.,
- 2.12. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17.12.2019 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów PEM [Dz. U. 2019 poz. 2448], zmiany tekstu jednolitego ustawy POŚ [Dz. U. 2019 r. poz.1396, 1495, 1501, 1579, 1680, 1712, 1815, 2087, 2166. z późn. zm.],
- 2.13. Ustawa z dnia 24.07.2015 r. o przygotowaniu i realizacji strategicznych inwestycji w zakresie sieci przesyłowych [Dz. U. 2015, poz.1265, 1753, Dz. U. 2021, poz.922 z dnia 20.04.2021],
- 2.14. Obwieszczenie MRPiPS z dnia 11.01.2018 r. ws. jednolitego tekstu w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na PEM [Dz. U. 2018 poz.331] z załącznikiem Rozporządzenia MRPiPS z dnia 29.06.2016 r.,
- 2.15. Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 17.02.2020 r. ws. sposobów sprawdzania dotrzymania dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku [Dz. U. 2020 poz. 258],
- 2.16. Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 15.12.2020 r. ws. zakresu i sposobu prowadzenia okresowych badań poziomów PEM w środowisku [Dz. U. 2020 poz. 2311],
- 2.17. Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 7.09.2021 r. ws. wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji,
- 2.18. Obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 21.11.2022 r. ws. sposobów sprawdzania dotrzymania dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku – jednolity [Dz.U. 2022 poz. 2630],
- 2.19. ICNIRP Dyrektywa nr 1999/519/EC z dnia 12.07.1999 r. dotyczy limitów ekspozycji na PEM w szerokim zakresie częstotliwości  $f = 0 - 300$  GHz oraz klimatu akustycznego w chronionych terenach zabudowy mieszkalnej i w miejscach publicznych,
- 2.20. Dyrektywa 2009/28/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23.04.2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.

### 3. Człowiek w naturalnym środowisku elektromagnetycznym Ziemi

Procesy elektromagnetyczne są nierozdzielnie związane z rozwijającym się na przestrzeni milionów lat wszechświatem. Należą do licznych, niezwykle istotnych i zasadniczych zjawisk, które tworzyły i tworzą nadal naturalne środowisko elektromagnetyczne Ziemi, będąc jego immanentną i integralną częścią. Należy zauważyć, iż promieniowanie elektromagnetyczne występujące w formie pola elektromagnetycznego (PEM) istniało o wiele wcześniej niż na Ziemi pojawił się człowiek.

Źródłem naturalnego środowiska elektromagnetycznego, w którym człowiek żyje „od zawsze”, związanego z budową Ziemi i otaczającą ją atmosferą są: Słońce, Ziemia i zjawiska atmosferyczne. W tym aspekcie trzeba mieć świadomość, iż mamy do czynienia z podstawowymi interakcjami:

- ✦ z polem magnetycznym naturalnym Ziemi, tzw. polem geomagnetycznym, którego wartość jest funkcją szerokości geograficznej; na obszarze Polski natężenie tego pola wynosi  $H_z \approx 38$  A/m,
- ✦ z polem elektrycznym naturalnym Ziemi, które jest efektem różnicy potencjałów pomiędzy jonosferą a ujemnie naładowaną powierzchnią Ziemi, gdzie typowa wielkość natężenia pola elektrycznego przyjmuje wartości  $E_z = 100 \div 150$  V/m, przy czym podczas gęstej mgły może dochodzić do  $E_z = 2$  kV/m, a podczas burzy nawet do  $E_z = 20$  kV/m.
- ✦ z wyładowaniami elektrycznymi powstającymi m.in. w wyniku różnicy potencjałów  $U$  między chmurą a powierzchnią Ziemi.

Rozróżniamy następujące pola i promieniowania elektromagnetyczne [14.19], jak:

- ✧ promieniowanie jonizujące – wywołując jonizację z atomu lub cząsteczki elektrycznie obojętnej uczyni jon, więc cząstkę naładowaną. Najprostszym sposobem jonizacji jest wybitie elektronu z danego atomu/cząsteczki. Wtedy promieniowanie o odpowiednio dużej częstotliwości  $f$  [Hz] czyli

dużej energii pojedynczych fotonów, np. rentgenowskie czy ultrafioletowe, jest jonizujące. Wtedy np. promieniowanie rentgenowskie czy promieniowanie gamma, ma wystarczająco dużą energię, aby uszkodzić struktury molekularne, np. DNA;

- ✱ promieniowanie niejonizujące – jego energia nie wystarcza na wywołanie jonizacji, przez co tego typu oddziaływanie promieniowania z materią nie ma charakteru chemicznego, lecz co najwyżej cieplny. Nie powoduje tworzenia lub niszczenia wiązań chemicznych, lecz może powodować nagrzewanie się materii, w tym ciała ludzkiego. Źródła promieniowania dzieli się na naturalne i sztuczne źródła PEM (elektrosmog). Do nich należą m.in. fale radiowe, TV i mikrofale.

Ważną granicę umowną między promieniowaniem jonizującym a niejonizującym wyznacza próg między światłem widzialnym a ultrafioletem czyli długość fali  $\lambda$  [m] lub równoważna częstotliwość  $f$ :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300 \cdot 10^8}{f} \quad [\text{m}] \quad \text{lub} \quad f = \frac{c}{\lambda} = \frac{300 \cdot 10^8}{\lambda} \quad [\text{Hz}] \quad [1]$$

$$\lambda \approx 380 \text{ nm} = 380 \cdot 10^{-9} \quad [\text{m}] \quad \text{lub} \quad f \approx 8 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 800 \text{ 000} \quad [\text{GHz}] \quad [2]$$

Ze względu na duży stopień trudności zrozumienia zawiłych zagadnień PEM i promieniowania elektromagnetycznego w obiektach elektroenergetycznych, w tym w planowanej Farmie „Przybrda”, przedstawiono szerzej tematy w aspekcie oddziaływań na chronione środowisko mieszkańców i miejsc dostępnych dla ludności. Są to ważne i niezbędne analizy właśnie ze względu na uzyskanie decyzji środowiskowej i coraz częściej występujące tzw. konflikty społeczne, związane z ewentualnymi protestami niektórych grup mieszkańców przeciw nowej inwestycji OZE i jej rzekomym „szkodliwym oddziaływaniom PEM i hałasu” na otoczenie. Dlatego zagadnienia te wymagają szerszych wyjaśnień przekonywujących podczas spotkań z protestującymi w gminach, którzy je kontestują i zwalczają, będąc nieraz nie świadomi znaczenia i korzyści dla nich samych z dostaw do gospodarstw tańszej energii ekologicznej. Podają fałszywe mity, co może wpływać negatywnie na przedłużanie się terminów realizacji oraz wzrostu kosztów przedsięwzięć. Autor nin. opracowania przy wielu swoich pracach i raportach OŚ dla potrzeb inwestycji OZE, przekonał się nieraz o absurdalności mitów przeciwników, biorąc udział w łagodzeniu konfliktów społecznych, tłumacząc i obalając ich wymyślone opinie o szkodliwości OZE na zdrowie ludzi. Autor działając przedstawiał inżynierskie kontrargumenty techniczne i środowiskowe w formie wyników analiz i pomiarów hałasu i PEM w eksploatowanych przez lata obiektach w Polsce i Europie. I to pomagało i zdało egzamin. A zatem warto tematy rozszerzać i demonstrować mocne wywoły analiz obliczeń, wykresy, tabele i rysunki.

W obszarze promieniowania niejonizującego efekt kumulacji i szkodliwości nie występuje, podobnie jak w polu elektromagnetycznym planowanej Farmy „Przybrda” czyli wokół urządzeń i instalacji fotowoltaicznych o częstotliwościach  $f = 50 \text{ Hz}$ , gdzie PEM nie niszczy struktury atomowej materii i nie jest groźne dla ludzi ani fauny. Ponadto tu zachodzi polaryzacja czyli zjawisko uporządkowania kierunku drgań fal poprzecznych i wektorów natężenia pola elektrycznego  $E$  i magnetycznego  $H$ . Natomiast w innym obszarze promieniowania o charakterze jonizującym występuje groźne zjawisko kumulacji dawki, co jest niszczące dla organizmów żywych, ludzi i fauny.

Większość z całego spektrum fal elektromagnetycznych nie jest przez człowieka wystarczająco dostrzegana. Człowiek został przez naturę wyposażony w dwa „detektory fal elektromagnetycznych”: oko i skórę. Oko pozwala człowiekowi na dostrzeganie tych fal w zakresie światła widzialnego, a różne częstotliwości  $f$  [Hz] tych fal pozwalają np. odbierać barwy otaczających nas przedmiotów. Natomiast skóra jest wrażliwa m.in. na promieniowanie podczerwone – cieplne. Fale o pozostałych długościach  $\lambda$  [m] nie są przez człowieka widziane ani wyczuwane, choć są równie rzeczywiste.

#### 4. Planowane przedsięwzięcie – farma fotowoltaiczna „Przybrda” o mocy do 400 MW

##### 4.1. Wprowadzenie – rozwój elektrowni fotowoltaicznych PV

Fotowoltaika PV to dziedzina nauki i techniki zajmująca się przetwarzaniem energii światła słonecznego na energię elektryczną czyli generowaniem prądu elektrycznego przy wykorzystaniu zjawiska fotowoltaicznego PV. Oznacza to wytwarzanie energii elektrycznej ze źródła odnawialnego (OZE), za jakie w czasowej mikroskali uważa się Słońce. Mimo stosunkowo jeszcze znacznych

kosztów, inwestycje fotowoltaiczne obecnie mają coraz większe zastosowanie, w porównaniu do powszechnie stosowanych źródeł konwencjonalnych energii z dwóch zasadniczych powodów:

- ⚙ ekologicznych, gdzie sozologia (ochrona środowiska) ma większe znaczenie niż ekonomia,
- ⚙ praktycznych, bo promieniowanie słoneczne jest prawie wszędzie dostępne.

Pionierami fotowoltaiki PV byli uczeni, w 1886 r. Heinrich Hertz odkrył wyładowanie elektryczne między dwoma elektrodami zachodzące łatwiej, gdy na jedną z nich pada promieniowanie nadfioletowe. Potem Philipp Lenard fizyk, laureat Nagrody Nobla 1905 r. wykazał, iż dzięki naświetlaniu tym promieniowaniem ułatwiane jest zachodzenie tego wyładowania, bo pod wpływem tego promieniowania następuje emisja elektronów z powierzchni katody. Zjawisko uwalniania przez światło elektronów z powierzchni rozmaitych substancji nazwano zjawiskiem fotoelektrycznym.

Rozwój tej nowej dziedziny, jak wielu innych innowacji, zawdzięczamy przede wszystkim rozwijającej się ciągle technice kosmicznej, gdzie z wielkim powodzeniem szeroko zastosowano ogniwa fotowoltaiczne PV. Ta gałąź produkcji dalej dynamicznie rozwija się i należy przypuszczać, iż w bliskiej przyszłości będzie coraz powszechniej stosowana. Ogniwa grupowane w zespoły i panele PV charakteryzują następujące elementy tej ekologicznej gałęzi przemysłu, w tym m.in.:

- podstawowym surowcem do produkcji ogniw jest krzemowy element krystaliczny,
- pojedyncze ogniwo może wygenerować prąd o mocy do 10 W,
- ogniwa są najczęściej produkowane w panelach o powierzchni do 1,0 m<sup>2</sup>,
- główne zalety – bezobsługowość, duża żywotność (gwarantowana na 25 lat), stosowane jako wszechstronne i powszechne źródło zasilania samodzielnych urządzeń np. boi sygnalizacyjnych, instalacji elektrycznych, oświetlenia ulic i obiektów, także oddalonych od sieci energetycznych,
- wady i sprawność – powszechnie krytykowane jako jeszcze mało wydajne. Jednak z badań prowadzonych przez instytuty badawcze i z programów badawczo – rozwojowych wytwórców modułów i dostawców urządzeń wynika, że wydajność stale rośnie. Obecnie wynosi do 18 %, a np. efektywność telefonów komórkowych od 10 % do nawet 45 % notowane w laboratoriach badawczych. Telefony komórkowe, które zapewniają wyższe wydajności, korzystają z wielu półprzewodnikowych technologii, ale zbyt drogie, aby je wdrożyć na większą skalę. Niemniej programy rozwojowe wielu wiodących producentów modułów PV są coraz bardziej skuteczne. Innowacyjne i nowatorskie technologie są opracowywane w laboratoriach uczelni oraz w ramach programów rozwoju przedsiębiorstw solarnych. Obecne rozwiązania koncentrują się na zapewnieniu sprawności PV do 50 % na poziomie komórkowym i ponad 20 % w modułach,
- zasilanie w elektronice użytkowej – kalkulatory, oświetlanie znaków drogowych, lampy ogrodowe, układy telemetryczne w stacjach pomiarowo – rozliczeniowych gazu ziemnego, ropy naftowej oraz energii elektrycznej, automatyki przemysłowej i pomiarowej, a także produkcji energii w pierwszych elektrowniach słonecznych czy urządzeń użytku domowego,
- szkodliwość fotowoltaiki dla zdrowia ludzi i organizmów żywych – to mit. Panele PV zbudowane są z materiałów w całości podlegających utylizacji. Krzem krystaliczny, aluminium, szkło i niewielkie ilości tworzywa sztucznego mogą być w 100 % utylizowane. Konstrukcje, na których ustawiane są panele, buduje się ze stali nierdzewnej lub ocynkowanej oraz z aluminium.

#### 4.2. Charakterystyka przedsięwzięcia – planowana farma fotowoltaiczna „Przybrda” – główne cechy procesów technologicznych

##### 4.2.1. Lokalizacja terenu planowanej farmy fotowoltaicznej „Przybrda”

Planowana farma o mocy do 400 MW wraz z techniczną infrastrukturą elektroenergetyczną, działki nr 16/1, 276, 277, 278/42, 279, obręb Biała, gmina Biały Bór, pow. szczecinecki, województwo zachodniopomorskie zlokalizowana jest w terenie o strukturze i charakterystyce:

- (1) maksymalna powierzchnia terenu po zainwestowaniu obręb Biała  $\Rightarrow S_{\max} = 222,31$  ha, w tym:
  - działka ewid. nr 16/1  $\Rightarrow S = 49,42$  ha,
  - działka ewid. nr 276  $\Rightarrow S = 41,96$  ha,
  - działka ewid. nr 277  $\Rightarrow S = 32,19$  ha,
  - działka ewid. nr 278/42  $\Rightarrow S = 53,19$  ha,
  - działka ewid. nr 279  $\Rightarrow S = 55,04$  ha, razem pow. działek  $S_c = 231,80$  ha.
- (2) wolne tereny od lokalizacji urządzeń PV pozostaną w użytkowaniu jak dotychczas w rolniczym,

- (3) powierzchnia terenu 222,31 ha przeznaczona pod zainwestowanie – panele PV, kontenerowe stacje transformatorowe, opcjonalnie magazyny energii, konstrukcje wsporcze, dojazdy technologiczne, ogrodzenie,
- (4) lokalizację przedsięwzięcia z wynikami analiz PEM na tle otoczenia na przeglądowej mapie przedstawiają rys. W-1, rys. W-2, rys. W-3.

#### 4.2.2. Projekt Farmy „Przybrda” - plan zagospodarowania terenu (PZT)

Dla przedmiotowego terenu ww. działek o powierzchni do 222,31 ha wraz z otoczeniem obrębu Biała, podano szczegóły wyników analiz PEM według ortofotomapy i ewidencyjnej PZT na rysunkach:

- Rys. W-1. Rozkład oddziaływań pól elektromagnetycznych (PEM) urządzeń i instalacji PV oraz podziemnej linii kablowej 15 kV (30 kV) planowanej Farmy „Przybrda” na ortofotomapie PZT,
- Rys. W-2. Oddziaływanie pól elektromagnetycznych urządzeń i instalacji planowanej Farmy „Przybrda” wraz z odległościami do chronionej zabudowy mieszkaniowej na ortofotomapie PZT terenu obrębu Biała
- Rys. W-3. Wyniki analiz skumulowanych oddziaływań pól elektromagnetycznych (PEM) planowanej Farmy „Przybrda” wraz z innymi źródłami interakcji PEM na tle obrębu Biała.

Wyszczególnione rysunki PZT opisują i pokazują szczegóły składników i elementów planowanej Farmy „Przybrda” wraz z zagospodarowaniem terenu, z których najważniejsze to:

- ⊗ granice terenów lokalizacji przedsięwzięcia i zarazem przebiegi ich ogrodzeń,
- ⊗ oznaczenia i symbole elementów przedsięwzięcia jak:
  - panele, inwertery i stringi fotowoltaiczne na konstrukcjach wsporczych,
  - kontenerowe stacje transformatorowe ST i magazyny energii KME (opcjonalnie),
  - ekwidystanty od linii brzegowej, granic terenów leśnych,
  - wjazdy na teren przedsięwzięcia, zielen izolacyjno-krajobrazowa,
  - inne planowane elektrownie fotowoltaiczne B, C, D, E (rys. W-3) oraz zespoły turbin wiatrowych „Biały Bór”,
  - drogi gminne i krajowe DK20 i DK25, linia kolejowa Miastko – Szczecinek.

#### 4.2.3. Tereny otoczenia farmy fotowoltaicznej „Przybrda”

Na terenach w otoczeniu planowanej Farmy „Przybrda” znajdują się miejscowości z zabudową mieszkalną i rekreacyjną, drogi, linie elektroenergetyczne nn, lasy, grunty rolne, linia kolei oraz wody – jezioro, w kierunkach geograficznych:

- ↻ od północy w odległościach od działki nr 16/1 farmy – grunty orne i ekosystemy leśne – bory sosnowe, droga gminna 249 m oraz 198 m napowietrzna linii nn na działkach 253/15, 256, 11/2 na trasie d. PGR Białka (zabudowa, staw) – m. Biała (zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna); na północ farma odległa jest 4,5 km do miasta Biały Bór, w terenach użytkowanych rolniczo,
- ↻ od zachodu w najbliższych odległościach od działek nr 16/1 i 279 farmy – grunty orne i lokalnie użytki zielone oraz tereny zainwestowane m. Biała i m. Przybrda, które łączy droga krajowa DK 20; w odległości 196 m przyłącze napowietrzne linii nn na trasie m. Biała (zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna) – m. Przybrda (zabudowa mieszkaniowa jedno- i wielorodzinna),
- ↻ od południa w najbliższych odległościach od działki nr 277 farmy – bezpośrednio ekosystemy leśne – bory sosnowe na sandrze i w niewielkim zakresie agrocenozy (grunty orne i użytki zielone); droga gminna na trasie m. Jeziernik (zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna i rekreacyjna) – m. Przybrda (zabudowa mieszkaniowa jedno- i wielorodzinna) oraz dalej linia kolejowa Miastko – Szczecinek,
- ↻ od wschodu w najbliższych odległościach od działki nr 278/42 farmy – pas gruntów ornych o szerokości 90–130 m, za nim ekosystemy leśne (bór sosnowy) na zboczu rynny jez. Bielsko i ekosystem jeziora (w minimalnej odległości 110 m),
- ↻ szczegóły odległości wg rys. W-2 wraz z obrazem graficznym wpływu PEM na środowisko.

Warunkiem zapewnienia skutecznej ochrony przed potencjalnym oddziaływaniem planowanej Farmy „Przybrda” w zakresie emisji PEM na chronione tereny zabudowy mieszkaniowej,

jednorodzinnej, wielorodzinnej, i indywidualnej rekreacyjnej, jest właściwa lokalizacja źródeł PEM – urządzeń i instalacji elektroenergetycznej infrastruktury technicznej i zasilającej, w tym stacje transformatorowe, inwertery, stringi, magazyny energii wraz z instalacją chłodzenia i wentylacji. Ten wymóg zrealizowano, poprzez możliwe odsunięcie urządzeń i instalacji od granic farmy, z dala od terenów chronionej zabudowy w miejscowościach Białka, Biała, Przybrda i Jeziernik. Ponadto na terenie farmy nie będzie zlokalizowana abonencka stacja elektroenergetyczna GPZ 15/110 kV lub GPZ 30/110 kV, najbliższa jest oddalona na dużą odległość 1,7 km poza teren planowanego obiektu. GPZ ma odbierać energię elektryczną generowaną w farmie, wprowadzając ją do KSE. Tym samym odległe GPZ od przedsięwzięcia nie wpłynie na kumulowanie synergicznych oddziaływań PEM w obrębie Biała.

#### 4.2.4. Charakterystyka urządzeń i instalacji Farmy „Przybrda”

##### (1) Cele i zasada pracy przedsięwzięcia PV

- ✎ celem pracy farmy jest przetwarzanie energii światła słonecznego na energię elektryczną czyli na generowaniu prądu elektrycznego przy wykorzystaniu zjawiska fotowoltaicznego PV,
- ✎ zasada pracy przedsięwzięcia – planowana farma ma pracować na napięciu niskim nn i średnim SN. Prąd wychodzący z paneli PV do inwerterów i stringów ma wartość niskiego napięcia nn – takie jak spotykane powszechnie w domach mieszkalnych, przedsiębiorstwach czy biurach. Prąd generowany i płynący z inwerterów do transformatorów ma wartości napięcia  $U \approx 600$  V, a więc również jest to niskie napięcie, dalej z transformatora do miejsca przyłączenia do elektroenergetycznej linii kablowej SN o napięciu  $U = 15 - 30$  kV do GPZ SN/110 kV i do Krajowej Sieci Elektroenergetycznej (KSE). Na ogół linie SN biegną często w pobliżu zabudowy mieszkalnej, czasem przez działki lub tuż przy domach. Nie generują one uciążliwości, bo to prąd o natężeniu  $I$  [A] około 100 razy mniejszy niż ten płynący w liniach wysokiego napięcia 110 kV. Tym samym nie może on w żaden sposób oddziaływać znacząco na zdrowie i życie człowieka ani fauny. Należy koniecznie podkreślić, iż promieniowanie elektromagnetyczne jest tu niejonizujące o różnych wartościach opisanych w normach. Nie może ono napromieniować ludzi, fauny, żadnych przedmiotów, żywności, otoczenia ani domów mieszkalnych czy gruntów rolnych itp., przekraczając ustawowe wielkości dopuszczalne. Sytuacja taka jest zupełnie jasna, podobnie jak linie elektroenergetyczne biegnące np. poprzez grunty rolne z uprawami powodowałyby napromieniowanie rosnącej pod nimi flory, co jak wiadomo nie ma miejsca. Przedmioty powszechnego użytku – pralka, radio i TV, kuchenka elektryczna czy lodówka, także są źródłem promieniowania elektromagnetycznego niejonizującego (EPN) i przechowuje się w niej żywność, która z tego powodu jest świeższa i nie psuje się. Podobnie elektrownia fotowoltaiczna PV też nie generuje EPN o znaczących wielkościach, w tym także mikrofalowego – rodzaju EPN o długości fali  $\lambda$  [m] pomiędzy podczerwienią, a falami ultrakrótkimi, zaliczanymi do fal radiowych. W przypadku planowanego przedsięwzięcia nie wystąpią takie zjawiska o znaczących wielkościach przekraczających natężenie pól elektrycznych  $E_0$  [kV/m] i pól magnetycznych  $H_0$  [A/m] dla miejsc dostępnych dla ludności. Prąd płynący przez przewodniki, kable, panele PV, falowniki stringowe zwane inwerterem czy transformatory mają taką samą charakterystykę elektroenergetyczną, jak ten płynący w sieci KSE,
- ✎ planowana farma wraz z niezbędną techniczną infrastrukturą elektroenergetyczną, zbudowana będzie sukcesywnie czyli w 16 krokach realizacyjnych, z których każdy będzie obejmować budowę zespołu paneli fotowoltaicznych o łącznej mocy do 25 MW, podłączonych do kontenerowych stacji transformatorowych (ST) nn/SN,
- ✎ praca zespołu PV powoduje emisję elektromagnetycznego promieniowania niejonizującego (EPN), której źródłem są układy wytwarzania, przesyłania i rozdziału energii elektrycznej, a także jej odbiorniki. Transformatory przetworzą niskie napięcia (nn) na średnie (SN) 15 kV lub 30 kV. Zatem na terenie farmy będą eksploatowane urządzenia i instalacje PV przetwarzające prąd niskich napięć (nn/0,4 kV) oraz podziemna linia kablowa 15 kV typ XUHAKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> lub 30 kV typ XUHAKXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> do przesyłowej elektroenergetycznej stacji GPZ SE 15/110 kV lub SE 30/110 kV poza terenem farmy i dalej do KSE. Szczegóły oddziaływań podziemnej linii kablowej przedstawiono w wariantowej analizie obliczeń na

wykresach 1 – 1 do 4 – 4 i tabelach 13 – 20 [II.10.3]. Na terenie farmy wszystkie linie kablowe niskiego (nn) i średniego napięcia (SN), oprócz przewodów nn prowadzonych po konstrukcji nośnej paneli, będą wykonane i prowadzone jako podziemne,

- ✎ string – to wydzielony obwód elektryczny, który składa się z połączonych szeregowo paneli PV. Sposób montażu modułów sprawia, że napięcie na zaciskach stringa jest sumaryczną wartością napięć wszystkich paneli w obwodzie. Przykładowo, mając 20 modułów generujących napięcie  $U = 35 \text{ V}$  na wyjściu jest napięcie  $U = 750 \text{ V}$  na zacisku stringa. Poprawny montaż i łączenie modułów w string jest jedną z najważniejszych zasad. Stringi mają duże zastosowanie w instalacjach PV w przypadku modułów połączonych szeregowo, które najczęściej stosujemy. Zatem stringi w falowniku to inaczej połączenia szeregowo,
- ✎ falownik stringowy zwany inwerterem odpowiada za zamianę prądu stałego w prąd zmienny dla potrzeb zasilania odbiorców. Wytwarzana energia stała powstaje w panelach PV, z tego powodu niezbędne jest urządzenie ją przetwarzające czyli inwerter,
- ✎ system on-grid – w celu uzyskania optymalnego najwyższego napięcia szeregu modułów, co wpływa na wzrost sprawności instalacji PV, najczęściej stosowane są w elektrowniach PV działających w zewnętrznej Krajowej Sieci Elektroenergetycznej (KSE). Podłączenie paneli PV do sieci KSE polega na doprowadzeniu okablowania zmiennoprądowego z falownika do rozdzielni nn, by odebrać całą potencjalną moc wygenerowaną przez instalację PV. Energia elektryczna wyprodukowana przez elektrownię PV w pierwszej kolejności zasili zewnętrznych odbiorców. W sytuacji nadwyżek energia zostaje przekazana do KSE lub kontenerowych magazynów energii (KME). Niektórzy twierdzą, iż wadą systemu on-grid jest uzależnienie się od KSE, do której są podpięte. Oznacza to, że awaria sieci KSE odbije się także na eksploatacji elektrowni PV, gdyż ze względów bezpieczeństwa, instalacja PV odcięta od sieci nie wytwarza energii elektrycznej. W przypadku planowanej Farmy „Przybrda” awaria sieci KSE nie wpłynie znacząco na problemy pracy i generacji energii, gdyż posiada ona kontenerowe magazyny energii (KME), które zabezpieczają jej stałą pracę i pełne dostawy energii elektrycznej,
- ✎ system on-grid nieprzyłączony do sieci KSE – określony jako system wyspowy, który polega na podłączeniu instalacji PV do akumulatora KME, magazynujący nadwyżki produkowanej energii. Zaletą tego systemu jest pełne uniezależnienie się od sieci dystrybucyjnej. Ma to niebagatelne znaczenie w sytuacji, gdy chcemy zasilć energią elektryczną obiekt zlokalizowany w miejscu, gdzie nie ma dostępu do KSE lub jest bardzo utrudniony. Energia czerpana z akumulatorów KME stanowi ogromną zaletę również, gdy zasilanie sieciowe charakteryzuje się częstymi awariami i przerwami w dostawach prądu. Niestety, instalacja wyspowa jest zdecydowanie bardziej kosztowna aniżeli podłączona do KSE. Akumulatory wytwarzane z wykorzystaniem specjalnych technologii, które mają za zadanie zapewnić im odpowiednią wytrzymałość. Takie wykonanie powoduje jednak, że urządzenia te są bardzo drogie. Kolejną wadę stanowi fakt, iż każdy z systemów on-grid powinien zostać specjalnie optymalnie zaprojektowany. Tworząc projekt systemu on-grid należy brać pod uwagę m.in. sumaryczną moc urządzeń PV podłączonych pod dany system, ich czas pracy oraz jak długo będą one pracowały czerpiąc energię wyłącznie z akumulatorów. Na podstawie takich danych dobierana jest ilość i pojemność akumulatorów, ich technologia i moc inwertera. Przyłączenie do tego układu nieplanowanych dodatkowych urządzeń może doprowadzić do nieprawidłowej pracy całego systemu, a w skrajnych przypadkach awarii i uszkodzenia akumulatorów lub falownika,
- ✎ wybór systemu – który najlepszy, w sytuacji kiedy nie mamy problemu z dostępem do sieci KSE rozsądniejszą opcją jest wybór i postawienie na system on-grid, gdyż korzyści z wykorzystania nadmiarowej energii z elektrowni PV poza godzinami jej dostępności w stosunku do bardzo dużej ceny akumulatorów KME są niewielkie. Jednak, jeśli mówimy o zasilaniu obiektów charakteryzujących się niewielkim lub okresowym zużyciem energii, które mają utrudniony dostęp do KSE, wtedy warto rozważyć inwestycję z wyborem na system on-grid,
- ✎ występuje polaryzacja jako zjawisko uporządkowania kierunku drgań fal poprzecznych lub uporządkowanie wektorów natężenia pola elektrycznego  $E$  [kV/m] i magnetycznego  $H$  [A/m],
- ✎ z punktu widzenia oceny oddziaływań PEM planowanej farmy „Przybrda” na środowisko wprowadzone zmiany na etapie uzgodnień i analiz środowiskowych na otaczające tereny zabudowy mieszkalnej dotyczące wyboru optymalnej lokalizacji urządzeń i instalacji PV oraz

ich systemów pracy przedsięwzięcia mają istotnie znaczenie na wpływy synergiczne farmy na najbliższe sąsiedztwo. Ważne są: optymalizujące parametry elektryczne i jakość transformatorów i inwerterów PV z punktu widzenia generowania PEM i hałasu, zwiększenie odległości od chronionych terenów czyli zachowanie standardów jakości środowiska w zakresie ustawowych dopuszczalnych wielkości natężenia pól elektrycznych  $E_0 = 1$  [kV/m] i pól magnetycznych  $H_0 = 60$  [A/m] dla terenów zabudowy mieszkaniowej oraz dopuszczalnych wartości  $E_0 = 10$  [kV/m] i  $H_0 = 60$  [A/m] dla miejsc dostępnych dla ludności.

Zbiornicze zestawienie minimalnych odległości  $d_{\min}$  [m] licząc od granicy terenu planowanej Farmy „Przybrda”, oznaczonych na ortofotomapie PZT do najbliższej chronionej zabudowy mieszkaniowej wg oznaczeń stref A, B, C, D, E. Szczegóły odległości  $d_{\min}$  [m] podano niżej tabela 1 i graficznie rys. W–2.

Tabela 1

| Ustawowe wartości dopuszczalne poziomów natężenia pól elektrycznych $E_0 = 1$ [kV/m] i magnetycznych $H_0 = 60$ [A/m] dla ochrony zabudowy mieszkaniowej oraz dla miejsc dostępnych dla ludności $E_0 = 10$ [kV/m] i $H_0 = 60$ [A/m] wyznaczone na podstawie załącznika do Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 17.12.2019 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów PEM [Dz. U. 2019 poz. 2448], zmiany tekstu jednolitego ustawy POŚ [II.2.12] |                                                                               |              |             |                                          |              |             |                                             |              |             |                                                                       |              |             |                                         |              |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|------------------------------------------|--------------|-------------|---------------------------------------------|--------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|-----------------------------------------|--------------|-------------|
| Strefy zabudowy mieszkaniowej – jednorodzinna, wielorodzinna i indywidualna rekreacyjna                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Najbliższe granice ogrodzenia terenu Farmy „Przybrda” od zabudowy mieszkalnej |              |             | Kontenerowe stacje transformatorowe – ST |              |             | Kontenerowe modułowe magazyny – KME energii |              |             | Inwertery i panele (stringi) string – to wydzielony obwód elektryczny |              |             | Podziemna linia kablowa 15 kV lub 30 kV |              |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $d_{\min}$ [m]                                                                | $E_0$ [kV/m] | $H_0$ [A/m] | $d_{\min}$ [m]                           | $E_0$ [kV/m] | $H_0$ [A/m] | $d_{\min}$ [m]                              | $E_0$ [kV/m] | $H_0$ [A/m] | $d_{\min}$ [m]                                                        | $E_0$ [kV/m] | $H_0$ [A/m] | $d_{\min}$ [m]                          | $E_0$ [kV/m] | $H_0$ [A/m] |
| <b>A.</b> kierunek E do jeziora Bielsko – dwa domy jednorodzinne                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 24<br>25                                                                      | 1<br>10      | 60          | 140                                      | 1<br>10      | 60          | 710                                         | 1<br>10      | 60          | 80                                                                    | 1<br>10      | 60          | $\geq$<br>130                           | 1<br>10      | 60          |
| <b>B.</b> kierunek SE do m. Jeziernik – rekreacyjna i jednorodzinna                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 157                                                                           | 1<br>10      | 60          | 380                                      | 1<br>10      | 60          | 1050                                        | 1<br>10      | 60          | 320                                                                   | 1<br>10      | 60          | $\geq$<br>260                           | 1<br>10      | 60          |
| <b>C.</b> kierunek W do m. Biała – jednorodzinna                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 343                                                                           | 1<br>10      | 60          | 420                                      | 1<br>10      | 60          | 560                                         | 1<br>10      | 60          | 370                                                                   | 1<br>10      | 60          | $\geq$<br>390                           | 1<br>10      | 60          |
| <b>D.</b> kierunek W do m. Przybrda – jednorodzinna                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 334                                                                           | 1<br>10      | 60          | 430                                      | 1<br>10      | 60          | 1060                                        | 1<br>10      | 60          | 370                                                                   | 1<br>10      | 60          | $\geq$<br>490                           | 1<br>10      | 60          |
| <b>E.</b> kierunek SW do m. Przybrda – po d. PGR wielorodzinna                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 469                                                                           | 1<br>10      | 60          | 540                                      | 1<br>10      | 60          | 1180                                        | 1<br>10      | 60          | 510                                                                   | 1<br>10      | 60          | $\geq$<br>790                           | 1<br>10      | 60          |

(2) Podstawowe dane techniczne urządzeń, instalacji i elementy montażu Farmy „Przybrda”:

- (a) Panele fotowoltaiczne PV – o dużej sprawności konwersji i stabilności, np. wielozłączowe ogniwa tzw. tandemowe lub multijunction devices, stosujące koncentratory promieniowania – przewidywane zespoły paneli w ilości do 670 tys. szt. w zależności od ich mocy. Zastosowane zostaną panele monokrystaliczne, polikrystaliczne lub bifacjalne (dwustronne). Konkretny ich rodzaj dobrany będzie na etapie projektu budowlanego, w zależności od znacznie zróżnicowanej i zmiennej oferty na rynku, związanej z postępem technologicznym. W kraju najczęściej stosowane są panele produkcji firm chińskich; dostępne są także firm polskich, zachodnioeuropejskich, koreańskich i USA. Mają kształt prostokąta o gabarytach 0,9 na 1,5 m, które rosną do wymiarów 1,8 – 2,5 m o wadze ok. 25 kg wraz ze wzrostem mocy. Z uwagi na dynamiczny rozwój technologii, podane parametry mogą ulec zmianie w zakresie  $\pm 25\%$ . Zespoły paneli są połączone ze sobą szeregowo do inwerterów (falowników),
- (b) Inwertery do 1360 szt. – przykładowo firmy Sungrow SG350HX – służą do zamiany prądu stałego, generowanego w ogniwach PV, na prąd zmienny kierowany do kontenerowych stacji transformatorowych ST,
  - Stacje transformatorowe nn/SN (ST) do 80 szt. – przykładowo firmy Sungrow MVS8960-LV – generowana energia elektryczna w farmie przesłana linią kablową 15 kV lub 30 kV wpierw do GPZ 15/110 kV poza terenem farmy i dalej do Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE). W tym celu niezbędne jest podniesienie napięcia do napięcia przesyłowego sieci. Każdy z planowanych do 16 zespołów ogniw fotowoltaicznych będzie wyposażony w do 5 kontenerowych stacji transformatorowych nn/SN, z dopuszczeniem zastosowania stacji słupowych. Każda z do 80 stacji transformatorowych będzie wyposażona w rozdzielnie niskiego napięcia 0,4 kV lub 0,8 kV i średniego napięcia 15 kV lub 30 kV oraz w 1 lub 2 komory transformatorowe. Do podwyższenia napięcia wytwarzanego przez inwertery do napięcia sieci przesyłowej zastosowane zostaną transformatory suche lub olejowe. Układy pomiarowo – rozliczeniowe zostaną zamontowane po stronie niskiego i średniego napięcia. Gabaryty stacji transformatorowych ST nie przekraczają 9,0 x 4,0 x 4,0 m. Stacje będą umieszczone na prefabrykowanym, żelbetonowym i wodoszczelnym fundamencie o grubości ok. 0,9 m. Stacje z transformatorami olejowymi wyposażone będą w zbiorniki do magazynowania oleju w przypadku awarii transformatora. Zbiorniki pomieszczą 100 % oleju. Przejścia przewodów przez fundament i przegrody kontenera będą zabezpieczone przeciwwilgociowo. Zewnętrzna część prefabrykowanego kontenera jest wyłożona styropianem i pokryta tynkiem, a wewnętrzna część wykończona jest tynkiem gipsowym i pomalowana farbą emulsyjną. Stacje transformatorowe będą połączone ze sobą w grupy zwane stringami, następnie wpięte kablami średniego napięcia bezpośrednio do sieci elektroenergetycznej SN Operatora, albo do stacji elektroenergetycznej GPZ SN/WN Operatora. Liczba torów kablowych wyniesie od 15 do 20.
- (5) Konstrukcje wsporcze paneli PV – panele będą montowane na konstrukcji wsporczej w pionie lub w poziomie, zajmując nachyloną płaszczyznę zależnie jest od szerokości geograficznej terenu lokalizacji – w Polsce nachylenie ma  $30^{\circ} - 40^{\circ}$  w kierunku S. Zmontowane zostaną z elementów prefabrykowanej stali zimno giętej, ocynkowanej lub pokrytej inną powłoką antykorozyjną. Konstrukcja ma zawierać aluminiowe śruby. Naziemna część konstrukcji jest montowana na słupach, wbitych lub wkręconych w grunt na głębokość do ok. 1,5 m p.p.t.,
- (6) Przewody i instalacje elektroenergetyczne – panele fotowoltaiczne będą połączone szeregowo przy pomocy przewodów zakończonych złączkami solarnymi. Do tablicy łączeniowej, zamontowanej na konstrukcji wsporczej, zostaną podłączone końcówki pierwszego i ostatniego przewodu. Poszczególne zespoły paneli zostaną podpięte kablami do inwerterów (falowników). Dopuszcza się rozmieszczenie inwerterów o wielkości walizki na konstrukcji wsporczej lub na gruncie. Na wyjściu urządzenia, prąd zmienny ma mieć napięcie  $3\text{f} \times 230\text{ V}$  i częstotliwość  $f = 50\text{ Hz}$ . Wyjście każdego z inwerterów będzie podłączone do rozdzielnicy nn, mocowanej na konstrukcji wsporczej lub umiejscowionej na gruncie jako wolnostojące urządzenie lub bezpośrednio do stacji transformatorowej ST, w zależności od zastosowanego rozwiązania. Energia elektryczna generowana przez panele PV, inwertery, stringi i transformatory będzie przekazywana kablami niskiego napięcia prowadzonymi po konstrukcji wsporczej i w gruncie. Kable będą prowadzone w gruncie w wykopach o głębokości ok. 1 m. Przewody układane będą

linią falistą z do 3 % zapasem, aby kompensować ewentualne przesunięcia gruntu dla unikania uszkodzeń. Każdy z poszczególnych do 16 zespołów ogniów zostanie podłączony do kontenerowych stacjach transformatorowych nn/SN. Stacje transformatorowe podłączone będą przewodami średniego napięcia do rozdzielni, zaopatrzonej w układy pomiarowo – rozliczeniowe, które należy do sieci dystrybucyjnej. Podobnie jak kable niskiego napięcia, kable średniego napięcia będą układane w wykopach liną falistą z do 3 % zapasem. Okablowanie będzie położone na podsypce piaskowej o miąższości 10 cm, z obsypką i nadsypką piaskową o miąższości po 10 cm. Czerwona taśma ostrzegawcza PCV będzie umieszczona 25 cm nad przewodami. Kable średniego napięcia SN, podobnie jak kable niskiego napięcia (nn), będą układane w wykopach liną falistą z do 3 % zapasem. Okablowanie będzie położone na podsypce piaskowej o miąższości 10 cm z obsypką i nadsypką piaskową o miąższości po 10 cm. Nad przewodami 25 cm umieszczona będzie czerwona taśma ostrzegawcza PCV,

(c) Opcjonalnie kontenerowe lub modułowe magazyny energii (KME) 96 szt. – w skład każdego wchodzi:

- 1 stacja transformatorowa – przykładowo STS-6000K,
- 10 kontenerów z bateriami – przykładowo ESS-LUNA2000-2.0MWH-2H1/4H1,
- 30 inwerterów – przykładowo PCS-LUNA2000-200KTL-H1.

Przewidziano zainstalowanie na poziomie nowoczesnej technologii dużych zespołów akumulatorów np. litowo-jonowych lub litowo-żelazowo-fosforanowych. Dzięki magazynowaniu energii stanowią ważne elementy racjonalnego gospodarowania energią elektryczną i zwiększają bezpieczeństwo energetyczne. Pojedynczy kontener/moduł magazynu energii składa się z następujących elementów:

- ⊗ falownika służącego do zamiany prądu stałego na prąd przemienny o odpowiedniej częstotliwości  $f$  i napięciu  $U$  występującym w sieci elektroenergetycznej KSE,
- ⊗ zespołów akumulatorów w zabudowie kontenerowej KME zajmą teren do 8 ha:
  - poza akumulatorami są systemy klimatyzacji, monitoringu i kontroli. Kontenery łączone są w grupy w zależności od mocy i pojemności magazynu energii, a wymiary standardowego kontenera nie przekraczają: długość 6,5 m, szerokość 2,4 m, wysokość 2,6 m,
  - modułowej: moduł składa się 7 – 8 szaf rakowych, a każda z bateriami zawiera systemy klimatyzacji, monitoringu i kontroli; moduły łączone są w grupy w zależności od mocy i pojemności magazynu,
- ⊗ ilość magazynów będzie zależna od ostatecznej mocy farmy i od typu stosowanych magazynów, w których konstrukcji występuje duży progres technologiczny. Moc zainstalowanych magazynów energii będzie tożsama lub zbliżona do mocy planowanej Farmy „Przybrda” do 400 MW. Magazyny energii to urządzenia bezobsługowe wymagające tylko przeglądów serwisowych. Zarówno w magazynach kontenerowych jak i modułowych stosowany jest ciekły elektrolit organiczny, zawierający mieszaninę substancji chemicznych. Kontenery i moduły wyposażane są w podwójne podłogi, a dolna podłoga stanowi misę szczelną wyposażoną w króciec do opróżniania na wypadek wycieku elektrolitu. Magazyny dostarczane na budowę i zabierane na etapie jej likwidacji w całości jako kontener lub jako moduł czyli prawdopodobieństwo wycieku elektrolitu jest znikome.

(g) Dojazdy wewnętrzne technologiczne – na obrzeżach terenów farmy przewidziano wewnętrzne dojazdy technologiczne o szerokości do 3 m, z nawierzchnią z kruszywa łamanego. Ponadto dojazdy do farmy będą przebiegać wzdłuż ogrodzeń oraz południkowo i/lub równoleżnikowo przez zespoły konstrukcji wsporczych z panelami PV. Między szeregami konstrukcji wsporczych powierzchnia terenu będzie trawiasta. Dojazdy będą wykorzystywane na etapie budowy farmy i na etapie jej eksploatacji przez ekipy serwisowe. Koncepcję planu zagospodarowania terenów (PZT) planowanej farmy przedstawia załącznik nr 1 do Uzupełnienia Raportu: 1A na mapie ewidencyjnej i 1B na ortofotomapie.

#### 4.2.5. Postęp technologiczny w fotowoltaice PV a wpływ na środowisko

Postęp technologiczny ściśle powiązany z ograniczaniem wpływu urządzeń PV na środowisko, który rozwijany jest w nowych inwestycjach. Na podstawie analiz technologii ogniów i paneli PV oraz

wyników implementacji nowych urządzeń, mogących potencjalnie oddziaływać na środowisko, przedstawiono pokrótce nowe inwestycje PV w kraju i sformułowano hasłowo następujące wnioski:

- (1) Tradycyjne technologie fotowoltaiczne, oparte na krystalicznym krzemie, utrzymują swoją wiodącą pozycję. Obecnie technologie I generacji obejmują aż 89 % rynku,
- (2) Zgodnie z raportami GTM Research oraz International Renewable Energy Agency z 2012 r., udział technologii II generacji zmalał 2011 r. do 11 % w porównaniu z 2009 r. wynosił aż 18 %,
- (3) Intensywny rozwój fotowoltaiki w ostatniej dekadzie obrazują znamienne przykłady, jak:
  - do 2006 r. na świecie zainstalowano 1 581 paneli PV o mocy 6 890 MW,
  - 5 lat później w roku 2011 – aż 27 650 paneli PV o mocy 67 350 MW,
  - dla porównania – potencjał konwencjonalnych elektrowni w Polsce to około 40 GW.
- (4) Rozwój nowych technologii PV wiąże się z badaniami w zakresie oddziaływań PEM i hałasu na środowisko. Prowadzone są bezpośrednie badania terenowe wokół zrealizowanych obiektów. Wprowadza się na bieżąco do projektów i realizacji najnowsze urządzenia PV,
- (5) Elektrownie EW i farmy fotowoltaiczne, sieci elektroenergetyczne itp. stają przed pilną potrzebą innowacji dot. pojemności i wydajności akumulatorów. Opracowano ogniwa, które pokonują ograniczenia akumulatorów litowo – jonowych. Naukowcy Instytutu Nauki i Technologii Korei zamiast litu zastosowali sól bardziej wydajny i wysokiej mocy, bazujący na ogniwach sodowo – jonowych,
- (6) Największe zrealizowane elektrownie fotowoltaiczne w Polsce – branża PV dynamicznie się rozwija. Projekty nowych instalacji pojawiają się co chwilę, a zatem tytuł „Największa farma fotowoltaiczna w Polsce” to ranking przechodni. Łączna zainstalowana moc fotowoltaiki PV w Polsce na koniec 2023 roku według danych Agencji Rynku Energii wyniosła 16 GW. Ten imponujący wynik to w dużej części zasługa mikroinstalacji prosumenckich, które stanowią około 76 % wszystkich instalacji PV w kraju. Jednak farm PV przybywa i to z większą mocą, a ich udział będzie się zwiększał wraz z hamowaniem dynamiki wzrostu sektora mikroinstalacji,
- (7) Dla porównania wielkości Farmy „Przybrda” moc do 400 MW z eksploatowanymi elektrowniami PV podano największe obecnie w Polsce: Stigma moc 204 MW w Zwartowie, ZE PAK moc 69,99 MW w Brudzewie oraz Alternus Energy Group moc 64,6 MW w Witnicy.

#### 4.2.6. Zabezpieczenia instalacji PV – ochrona przed przepięciami i zwarciami

Kosztowne zespoły nowoczesnych instalacji i urządzeń elektrowni PV, w tym głównie panele i falowniki DC/AC, z uwagi na swoją budowę i konstrukcję oraz usytuowanie w otwartym terenie, podatnym na oddziaływania zewnętrznych warunków atmosferycznych, przede wszystkim burzowych wyładowań elektrycznych, wymagają szczególnej ochrony przed przepięciami, przeciążeniami i zwarciami. W tym celu stosuje się specjalne ograniczniki przepięć PV oraz bezpieczniki topikowe o charakterystyce gPV, zgodnie z wymaganiami normy IEC 60269-6. Wpływ wyładowań na urządzenia PV można w skrócie przedstawić wymieniając enumeratywnie:

- (1) Elektryczne wyładowania atmosferyczne – z reguły towarzyszące burzom występują naturalnie podczas bardzo silnych wyładowań zwanych piorunami. Podczas uderzenia pioruna wyzwala się potężna energia. Główna jej część zostaje rozproszona w postaci ciepła w powietrzu tworzącym kanał plazmy. Następuje ogrzanie i jonizacja składników powietrza w tym kanale, energia cieplna w większości rozprasza się, a niewielka jej część przekształca się w błysk i grzmot. Część pierwotnej energii elektrycznej zostaje rozładowana w punkcie uderzenia w powierzchnię ziemi powstającego łuku elektrycznego, co może być bardzo niebezpieczne dla znajdujących się w pobliżu ludzi, zwierząt oraz instalacji i urządzeń. Wyładowanie główne niesie ze sobą prąd o wartości napięcia  $U = 10$  do  $100$  MV i natężenia  $I = 30$  do max.  $150$  kA. W czasie uderzenia przepływa ładunek elektryczny rzędu  $Q = 5$  C (kulomb), a całkowita energia odpowiada wartości  $E = 140$  kWh (504 MJ). Taka ilość energii jest równoznaczna i wystarczy, aby żarówka o mocy  $P = 100$  W nieprzerwanie świeciła się przez okres 2 miesięcy. Odpowiada to również energii wybuchu 122 kg trotylu. Na podstawie wieloletnich obserwacji i analiz zjawisk atmosferycznych stwierdzono, że w Polsce w ciągu roku odnotowuje się około 30 dni burzowych, a średnia ilość uderzeń piorunów 1 – 8 w ciągu roku na powierzchnię  $1$  km<sup>2</sup> waha się w zależności od regionu. Na podstawie wieloletnich uśrednionych danych empirycznych dotyczących charakterystyk

piorunów przyjmuje się, iż różnią się między sobą parametrami w funkcji usytuowania badanego rejonu oraz warunków atmosferycznych typowych dla danego klimatu,

- (2) Ograniczniki przepięć PV – ze względu na wyżej opisane groźne i kosztowne skutki wyładowań elektrycznych dla ochrony urządzeń oraz z uwagi na specjalistyczne rozwiązania techniczne i rachunek ekonomiczny w instalacjach fotowoltaicznych należy stosować ograniczniki przepięć PV. Analiza i ocena ryzyka wystąpienia szkodliwych przepięć w przypadku awarii, uzasadnia ich montaż, gdyż ich brak z reguły powoduje duże straty i znaczne koszty. Bardzo istotnym elementem jest ocena niebezpieczeństwa uderzenia pioruna oraz fakt budowy systemu odgromu w pobliżu instalacji PV. Uderzenie pioruna powoduje uszkodzenia w instalacji PV, zarówno przez bezpośrednie trafienie, jak i pośrednio w promieniu kilkuset metrów w wyniku tzw. przepięć indukowanych. Zainstalowany system odgromowy winien posiadać dokładne wyliczenia dotyczące zachowania bezpiecznego odstepu między tym systemem a instalacją PV. W praktyce są to odległości rzędu 0,5 m do 1 m, jednak jeżeli nie można tego zapewnić, to w celu wyrównania potencjałów trzeba połączyć elementy zewnętrznej instalacji odgromowej z konstrukcją nośną i ramami instalacji PV. W takim przypadku w instalacji DC do ochrony paneli PV i falowników (inwerterów) DC/AC należy zastosować ograniczniki przepięć typu 1 (B), a najlepiej typu 1+2 (B+C) – np. DS60VG PV firmy CITEL, dla napięć od 500 do 1500 V DC. Jeżeli zachowano odległości izolacyjne między systemem odgromowym a instalacją PV lub nie ma w danym obiekcie instalacji piorunochronnej, to wówczas trzeba się liczyć z wystąpieniem tylko przepięć indukowanych, a więc wystarczy zastosować ograniczniki przepięć typu 2 (C), np. DS50VG PV. Takie ograniczniki firmy CITEL, oferowane przez Jean Mueller Polska, są wykonane w technologii VG, czyli bazują na szeregowym połączeniu iskiernika gazowego i warystora. Oprócz wyjątkowo dobrych parametrów technicznych jako jedyne posiadają 10-letnią gwarancję liczoną od daty produkcji,
- (3) Zabezpieczenia od strony AC instalacji – szczególnie gdy są przewody napowietrzne, bo przepięcie od uderzenia pioruna może uszkodzić falownik także od strony prądu zmiennego. Tu stosuje się zwykle ograniczniki przepięć, przykładowo produkty CITEL takie jak DS250VG dla prądu udarowego 25 kA na biegun lub DS130 dla 12,5 kA prądu na biegun. Ostatnim istotnym elementem ochrony może być zabezpieczenie komputerów sterujących, przewodów komunikacyjnych i sterowniczych specjalnymi ogranicznikami przepięć np. DLA lub DLU – jest wiele w zależności od napięcia (6, 12, 24 V DC itd.) i systemu transmisji danych (RS485, RS422, Profibus, LONWork, CAN-Bus itd). Bezpieczniki SIEMENSA o charakterystyce gPV, zgodne z nową normą IEC 60269-6, skutecznie chronią całą instalację PV w przypadku wadliwych modułów lub zwarcia. Bezpieczniki wytrzymują duże wahania temperatury bez uszkodzeń, a ich charakterystyka przepalenia jest dostosowana pod rozwiązania PV,
- (4) Zabezpieczenie przed przeciążeniami i zwarciami – panele PV łączy się przede wszystkim szeregowo, aby uzyskać jak najwyższe napięcie, oraz równolegle w formie tzw. łańcuchów, żeby osiągnąć większą moc. W przypadku wystąpienia zwarcia w jednym module następuje przepływ prądu z połączonych sąsiednich łańcuchów do łańcucha, w którym nastąpiło zwarcie. Systemy PV o zaledwie dwóch łańcuchach nie generują prądów wstecznych, mogących uszkodzić panele PV, dlatego przyjmuje się, że zabezpiecza się systemy PV dopiero od trzech łańcuchów. W przypadku zwarcia i przepływu tzw. prądu wstecznego nie można zastosować wyłączników nadprądowych DC, gdyż cewka magnetyczna działa tylko w przypadku przepływu prądu w jednym określonym kierunku. Dlatego do zabezpieczeń instalacji PV stosuje się wkładki topikowe o charakterystyce gPV. Są one tak zaprojektowane, aby sprawnie wyłączać już niewielkie przeciążenia, które mogłyby uszkodzić panele PV. Według normy IEC 60269-6m, wkładka topikowa ma nie zadziałać dla prądu  $I = 1,13 I_n$ , natomiast ma się przepalić w określonym czasie dla prądu o wartości  $I > 1,45 I_n$ . W celu zabezpieczenia paneli PV stosuje się przede wszystkim wkładki topikowe cylindryczne 10x38 mm na 600 lub 1000 V DC dla prądu od  $I = 1 - 30$  A, które wytrzymują warunkowy znamionowy prąd zwarcia do  $I = 30$  kA. Wkładki te instaluje się w specjalnych modułowych podstawach (zwanych powszechnie, lecz niezbyt poprawnie rozłącznikami) jedno- lub dwupolowych o szerokości 17,5 mm, montowanych na szynie montażowej TH35. Dobrym rozwiązaniem są jednak aparaty dwubiegunowe (jednocześnie dla „+” i „-”). Rozłączniki te dostosowano do napięcia 1000 V

DC, mogą też mieć wskaźnik zadziałania wkładki w formie diody LED. Ze względu na specyfikę prądu stałego o stosunkowo dużym napięciu rozłączniki te zwykle należą do kategorii DC20B, tzn. nie wolno ich załączać/rozłączać pod obciążeniem, gdyż do tego celu służą przełączniki lub odłączniki DC. Wkładki 10x38 mm gPV są obecnie najlepszym sposobem zabezpieczania instalacji PV oraz stanowią pierwszy stopień zabezpieczenia paneli na farmach PV. Stosunkowo rzadko stosuje się inne wkładki cylindryczne gPV, np. 14x51 czy 10x85 mm. W dużych instalacjach łączy się równolegle całe rzędy paneli PV, wówczas występują już prądy do kilkuset A. W tym zakresie firma Jean Müller oferuje wkładki topikowe o charakterystyce gPV o wielkości znormalizowanej NH1 od 32 – 160 A na 750 V i 1000 V DC oraz wkładki NH o wydłużonym korpusie do 450 A na 1100 V DC i do 350 A na 1500 V DC. Wkładki te instaluje się w 1-półowych podstawach, rozłącznikach i w specjalnych 2-półowych bezpiecznikowych listwach na system szyn zbiorczych o  $\phi$  185 mm. To ostatnie rozwiązanie jest szczególnie atrakcyjne, bo umożliwia budowanie rozdzielnic o napięciu 1100 V i 1500 V DC nawet 1 MW.

5. Ustawowe dopuszczalne wielkości graniczne poziomów PEM środowiska Farmy „Przybrda”
- 5.1. Podstawowe określenia i definicje
  - (a) Pole elektromagnetyczne (PEM) – to szczególny stan materii charakteryzujący wszelkie, równoczesne oddziaływania pomiędzy ładunkami elektrycznymi i dipolami magnetycznymi za pośrednictwem synergii pola elektrycznego E [kV/m] i pola magnetycznego H [A/m], w tym:
    - pole elektryczne E [kV/m]  $\Rightarrow$  stan energetyczny przestrzeni wokół ładunków elektrycznych. Charakteryzuje go składowa elektryczna E [kV/m], stanowiąca jedno z podstawowych kryteriów oceny wpływu PEM,
    - pole magnetyczne H [A/m]  $\Rightarrow$  stan energetyczny przestrzeni wokół poruszających się ładunków elektrycznych – płynącego prądu elektrycznego, charakteryzuje go składowa magnetyczna H [A/m].
  - (b) Elektromagnetyczne promieniowanie niejonizujące (EPN) – emisja elektromagnetycznej energii, wywołana zmianami rozkładu ładunków elektrycznych w układach materialnych. Jest to fala elektromagnetyczna o częstotliwości  $f < 8 \cdot 10^{14}$  Hz, która nie wywołuje jonizacji ośrodka, tzn. energia promieniowania jest zbyt mała do emisji elektronu z atomu lub cząsteczki, przez który przechodzi. W urządzeniach, instalacjach i sieciach elektroenergetycznych o częstotliwościach  $f = 50$  Hz nie występuje.

W celu przybliżenia istoty zjawisk generowania PEM przez urządzenia i instalacje elektryczne oraz ich oddziaływań na ludzi i środowisko przedstawiono w skrócie zarys mechanizmu ich działania. Wpływ PEM to jedno z 4-ech znanych fizyce elementarnych oddziaływań, gdzie centralną rolę odgrywa pojęcie pola elektromagnetycznego. W elektrodynamice klasycznej analiza prędkości światła i fali elektromagnetycznej  $c = 300 \cdot 10^3$  [km/s] jako podstawowej stałej fizycznej jest konsekwencją genezy teorii pola J. C. Maxwella, który już w roku 1856 wykazał występowanie pola i fali elektromagnetycznej propagującej się (rozchodzącej się) z prędkością  $c$  [km/s]. Obraz PEM opisany równaniami Maxwella, jest zgodny ze szczególną teorią względności Einsteina. Ocena rozwiązań równań PEM w próżni prowadzi do równania falowego, w którym pojawia się stała jako prędkość fazowa fali tzn. prędkość światła  $c$  [km/s] w próżni. Fala elektromagnetyczna emanuje się z prędkością  $c_m$  w danym ośrodku np. w powietrzu oraz z prędkością  $c$  w próżni odpowiednio według zależności:

$$c_m = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}} \quad \text{oraz} \quad c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \quad (\text{m/s}) \quad [3]$$

gdzie:

$c_m$  i  $c$  – stałe fundamentalne związane adekwatnie z własnościami danego ośrodka  $c_m$  i próżni  $c$  [km/s] z przenikalnością elektryczną  $\varepsilon$  i  $\varepsilon_0$  i magnetyczną  $\mu$  i  $\mu_0$ , wyrażoną w jednostkach SI:

$$\text{przenikalność elektryczna} \quad \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \quad (\text{F/m}) \quad [4]$$

$$\text{przenikalność magnetyczna} \quad \mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \quad (\text{H/m}) \quad [5]$$

Urządzenia i instalacje PV oraz stacje i linie elektroenergetyczne SN/WN/NN o przebiegu niskich częstotliwości  $f = 50$  Hz pod wpływem istniejącego napięcia  $U$  i przepływającego prądu

elektrycznego i generują PEM, w którym w przestrzeni wokół ładunków elektrycznych tworzy się energia potencjalna i kinetyczna. W takim układzie i wielkości parametrów elektrycznych nie występuje elektromagnetyczne promieniowanie niejonizujące (EPN) ani fala elektromagnetyczna, charakterystyczne dla źródeł – urządzeń i instalacji w.cz., jak np. stacje radiowe i TV, radarowe, bazowe, komórkowe itp. o częstotliwościach  $f$  [Hz] wysokich:

$$3 \cdot 10^4 < f < 3 \cdot 10^{14} \quad [\text{Hz}] \quad [6]$$

## 5.2. Dopuszczalne ustawowe wielkości poziomów pól elektromagnetycznych (PEM) w środowisku

Na podstawie załącznika do Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 17.12.2019 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów PEM [Dz. U. 2019 poz. 2448], zmiany tekstu jednolitego ustawy POŚ [II.2.12], określono zróżnicowane dopuszczalne poziomy PEM w środowisku w funkcji terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową oraz miejsc dostępnych dla ludności poprzez wskazanie:

- zakresów częstotliwości PEM, dla których określa się parametry fizyczne, charakteryzujących oddziaływanie PEM na środowisko, do których odnoszą się poziomy PEM,
- dopuszczalnych wartości parametrów fizycznych, o których mowa w pkt. 1 ww. załącznika, dla poszczególnych zakresów częstotliwości  $f$  [Hz], do których odnoszą się poziomy PEM.

Sposoby sprawdzania dotrzymania dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku określa Obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 21.11.2022 r. ws. – tekst jednolity [Dz. U. 2022 poz. 2630] [II.2.18]. Analizę tych sposobów sprawdzania dokonano w następnym punkcie [II.5.3].

### (1) Wielkości graniczne poziomów PEM – tereny zabudowy mieszkalnej

PEM w zakresie częstotliwości  $f = 50$  Hz, dla których określono najbardziej reprezentatywne dane i parametry fizyczne, charakteryzują oddziaływanie PEM na środowisko dla terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową oraz dopuszczalne poziomy PEM, charakteryzowane przez graniczne wartości parametrów fizycznych dla terenów przeznaczonych pod tę zabudowę.

Dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych (PEM) w środowisku  
w zakresie częstotliwości 50 Hz dla terenów zabudowy mieszkalnej

Tabela 2

| Lp. | Zakres częstotliwości $f$ [Hz] pola elektromagnetycznego (PEM) | Parametry fizyczne PEM            |                                  |                                        |
|-----|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|
|     |                                                                | Składowa elektryczna $E_0$ [kV/m] | Składowa magnetyczna $H_0$ [A/m] | Gęstość mocy $S_0$ (W/m <sup>2</sup> ) |
|     | 1                                                              | 2                                 | 3                                | 4                                      |
| 1   | 50 Hz                                                          | 1                                 | 60                               | ND                                     |

#### Objaśnienia do tabeli 2:

- ND – nie dotyczy  $f = 50$  Hz,
- 50 Hz – częstotliwości sieci elektroenergetycznej,
- podane w kol. 2 i 3 tabeli wartości graniczne parametrów fizycznych charakteryzujących oddziaływanie PEM odpowiadają wartościom skutecznym natężeń pól elektrycznych  $E_0$  [kV/m] i magnetycznych  $H_0$  [A/m].

Zatem na terenach chronionej zabudowy mieszkalnej, szpitali, żłobków, przedszkoli, szkół itp. wartość graniczna dopuszczalnego natężenia pola elektrycznego o częstotliwości 50 Hz wynosi  $E_0 = 1$  kV/m. Wartość graniczna dopuszczalnego natężenia pola magnetycznego o częstotliwości  $f = 50$  Hz wynosi  $H_0 = 60$  A/m. Obie składowe  $E_0$  [kV/m] i  $H_0$  [A/m] dla częstotliwości  $f = 50$  Hz pracy sieci elektroenergetycznej, urządzeń i instalacji PV nie mogą przekraczać granicznych wartości:

$$E_0 = 1 \text{ [kV/m]} \quad \text{ i } \quad H_0 = 60 \text{ [A/m]} \quad [7]$$

Jak widać wyżej w tabeli 2 dla innego rodzaju terenów sąsiednich Farmy „Przybrda” czyli gruntów rolnych, leśnych, jezior, rzek czy produkcji hodowlanej zwierząt, przepisy prawne obejmują ich zakresu ani nie wyznaczają dla nich wielkości dopuszczalnych poziomu PEM w tym środowisku.

(2) Wielkości graniczne poziomów PEM – miejsca dostępne dla ludności

Zgodnie z załącznikiem do Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 17.12.2019 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów PEM [Dz. U. 2019 poz. 2448], zmiany tekstu jednolitego ustawy POŚ [II.2.12], określono dopuszczalne poziomy PEM w środowisku dla terenów przeznaczonych dla miejsc dostępnych dla ludności, które rozumie się jako wszelkie miejsca, z wyjątkiem miejsc, do których dostęp ludności jest zabroniony lub niemożliwy bez użycia sprzętu technicznego. Ustalane są według istniejącego stanu zagospodarowania i zabudowy nieruchomości – parametry charakteryzujące oddziaływanie PEM na środowisko (kolumny 2, 3 i 4 w tabeli 2), reprezentują wartości graniczne natężenia pola elektrycznego  $E_0$  i magnetycznego  $H_0$  oraz gęstości mocy  $S_0$  i odpowiadają wartościom skutecznym natężeń pól elektrycznych  $E$  [kV/m] i magnetycznych  $H$  [A/m] o zakresie częstotliwości  $f = 0,5 - 50$  Hz, podanym z dokładnością do jednego miejsca znaczącego.

Dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych (PEM) w środowisku w zakresie częstotliwości  $f = 0$  Hz – 50 Hz dla miejsc dostępnych dla ludności (bez stałego pobytu w zabudowie mieszkalnej)

Tabela 3

| Lp. | Zakres częstotliwości $f$ [Hz] pola elektromagnetycznego (PEM) | Parametry fizyczne PEM            |                                  |                                        |
|-----|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|
|     |                                                                | Składowa elektryczna $E_0$ [kV/m] | Składowa magnetyczna $H_0$ [A/m] | Gęstość mocy $S_0$ (W/m <sup>2</sup> ) |
|     | 1                                                              | 2                                 | 3                                | 4                                      |
| 1   | 0,5 Hz – 50 Hz                                                 | 10                                | 60                               | ND                                     |

Objaśnienia do tabeli 3:

- ND – nie dotyczy,
- 50 Hz – częstotliwości sieci elektroenergetycznej,
- podane w kol. 2 i 3 tabeli wartości graniczne parametrów fizycznych charakteryzujących oddziaływanie PEM odpowiadają wartościom skutecznym natężeń pól elektrycznych  $E_0$  [V/m] i magnetycznych  $H_0$  [A/m].

Zatem w przypadkach miejsc dostępnych dla ludności – składowe elektryczna  $E_0$  [kV/m] i magnetyczna  $H_0$  [A/m] dla częstotliwości  $f = 0,5 - 50$  Hz pracy urządzeń i sieci elektroenergetycznej nie mogą przekraczać granicznych wartości:

$$E_0 = 10 \text{ [kV/m]} \quad \text{ i } \quad H_0 = 60 \text{ [A/m]} \quad [8]$$

5.3. Sprawdzanie dotrzymania wielkości dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku

Sposoby sprawdzania dotrzymania dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku wyznacza załącznik obwieszczenia Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 21.11.2022 r. – tekst jednolity [II.2.18] Rozporządzenia Ministra Klimatu z dnia 17.02.2020 r. określającego sposoby sprawdzania dotrzymania dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku poprzez wskazanie metod:

- a) wyznaczania poziomów PEM, jeżeli w środowisku występują PEM, o których mowa w art. 122 ust. 1 ustawy z dnia 27.02.2001 r. – Prawo ochrony środowiska (POŚ) [II.2.1],
- b) wykonywania pomiarów poziomów PEM w środowisku dla zakresów częstotliwości  $f$  [Hz], o których mowa w art. 122 ust.1 ustawy z dnia 27.02.2001 r. – POŚ [II.2.1].

Merytorycznego sprawdzenia dotrzymania ustawowych dopuszczalnych wielkości poziomów PEM w środowisku dokonuje się w następujący sposób:

- (1) prowadzi się pomiary PEM na terenach przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową oraz w miejscach dostępnych dla ludności w otoczeniu instalacji lub urządzeń objętych obowiązkiem

- wykonania pomiarów poziomów PEM w środowisku, o którym mowa w art. 122a ust. 1 ustawy z dnia 27.02.2001 r. – POŚ (Dz. U. z 2022 r. poz. 2556) [II.2.1],
- (2) porównuje się wyniki pomiarów, powiększone o rozszerzoną niepewność pomiaru  $U$  dla współczynnika rozszerzenia  $k = 2$  z dopuszczalnymi wartościami parametrów fizycznych PEM, określonymi w przepisach na podstawie art. 122 ust. 1 ustawy POŚ [II.2.1],
  - (3) dla instalacji PV, elektroenergetycznych stacji oraz linii pracujących na częstotliwości  $f = 50$  Hz, porównuje się otrzymane wyniki pomiarów, bez uwzględnienia niepewności pomiaru, z dopuszczalnymi wartościami parametrów fizycznych PEM określonymi w przepisach wg art. 122 ust. 1 ustawy POŚ [II.2.1]. Przyjmuje się, że wyniki pomiarów dla częstotliwości  $f = 50$  Hz są prawidłowe, jeżeli wartość rozszerzonej niepewności pomiaru  $U$  dla współczynnika rozszerzenia  $k = 2$  nie przekroczy 30 %,
  - (4) w otoczeniu stacji elektroenergetycznych (SE) pracujących na częstotliwości  $f = 50$  Hz pomiary poziomów PEM w środowisku wykonuje się poza ogrodzonym terenem SE w odległościach nie mniejszych niż połowa wysokości ogrodzenia SE mierzonych od ogrodzenia. Każdą linię elektroenergetyczną wchodzącą na teren lub wychodzącą z terenu SE traktuje się jako odrębną instalację emitującą PEM,
  - (5) w otoczeniu elektroenergetycznych stacji oraz napowietrznych linii przy pracy o  $f = 50$  Hz:
    - a) pomiary składowej elektrycznej  $E$  pola wykonuje się:
      - nad powierzchnią ziemi lub nad innymi miejscami dostępnymi dla ludności na wysokości 2 m npt, w szczególności nad dachami o funkcji tarasów, nad tarasami i balkonami – pod warunkiem poinformowania dysponenta przestrzeni pomiarowej o planowanych pomiarach z minimum 3-dniowym wyprzedzeniem i po umożliwieniu dostępu do obiektu,
      - w pobliżu obiektów budowlanych – w odległości nie mniejszej niż 1,6 m od ścian, stropów i podłóg tych obiektów,
      - zachowując odległość co najmniej 1,6 m między sondą miernika i osobą mierzącą.
    - b) pomiary składowej magnetycznej  $H$  pola wykonuje się w pionach pomiarowych na wysokościach 0,3 m – 2 m nad powierzchnią ziemi lub nad innymi powierzchniami, na których mogą przebywać ludzie, w szczególności na dziedzińcach, placach, podwórkach, dostępnych dla ludności dachach budynków oraz – pod warunkiem poinformowania dysponenta przestrzeni pomiarowej o planowanych pomiarach z minimum 3-dniowym wyprzedzeniem i po umożliwieniu dostępu – na klatkach schodowych, w lokalach użytkowych i mieszkalnych, w tym na balkonach i tarasach, przy czym pomiar może być wykonany bez zachowania tego terminu za zgodą dysponenta przestrzeni pomiarowej,
    - c) pomiary składowej elektrycznej  $E$  i magnetycznej  $H$  pola od napowietrznych linii elektroenergetycznych dla miejsc dostępnych dla ludności wykonuje się w pionach pomiarowych wyznaczonych w miejscach najniższego zawieszenia przewodów roboczych z uwzględnieniem dostępności miejsca pomiarów w terenie,
    - d) pomiary linii elektroenergetycznych wykonuje się prostopadle lub równolegle do jej osi z uwzględnieniem istniejących ciągów komunikacyjnych, placów zabaw, siłowni plenerowych, boisk, parkingów i innych miejsc, gdzie jest możliwa zwiększona aktywność ludzka.
  - (6) W celu sprawdzenia dotrzymania dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku, jeżeli w miejscach dostępnych dla ludności lub na terenach przeznaczonych pod mieszkaniową zabudowę występują PEM o różnych dopuszczalnych poziomach w jednym zakresie częstotliwości  $f$  lub z różnych zakresów  $f$  określonych na podstawie art. 122 ust. 1 ustawy POŚ [II.2.1], wykorzystuje się pomiary wykonywane dowolną z poniższych metod. Wyniki pomiarów muszą odpowiadać wynikom uzyskiwanym z wykorzystaniem sondy izotropowej:
    - a) miernikiem szerokopasmowym o płaskiej funkcji częstotliwości  $f$  obejmującym łącznie częstotliwości PEM emitowanego przez wszystkie objęte pomiarami instalacje. Tu wyznacza się w badanym zakresie częstotliwości  $f$  wartości wskaźnikowe  $WM_E$  i  $WM_H$  dla miejsc dostępnych dla ludności lub terenów zabudowy mieszkaniowej, odpowiednio dla składowej elektrycznej  $E$  [kV/m] i magnetycznej pola  $H$  [A/m], wyznaczone dla danego zakresu częstotliwości  $f$  [Hz] z zależności wzoru:

$$WM_E = \frac{E}{\min(M E_{gr})} \quad [9]$$

gdzie:

$WM_E$  – wartość wskaźnikowa poziomu emisji PEM dla miejsc dostępnych dla ludności lub terenów zabudowy mieszkaniowej dla składowej elektrycznej  $E$  [V/m],

$E$  – zmierzona wartość skuteczna natężenia pola elektrycznego  $E$  [V/m], uśredniona na podstawie art. 122 ust. 1 ustawy POŚ [II.2.1],

$\min(ME_{gr})$  – najniższa dopuszczalna wartość składowej elektrycznej  $E$  [V/m] pola dla objętego pomiarami zakresu częstotliwości  $f$  dla miejsc dostępnych dla ludności lub terenów zabudowy mieszkaniowej dla składowej elektrycznej  $E$  [V/m], określoną na podstawie art. 122 ust. 1 ustawy POŚ [II.2.1],

$$WM_H = \frac{H}{\min(MH_{gr})} \quad [10]$$

gdzie:

$WM_H$  – wartość wskaźnikową poziomu emisji PEM dla miejsc dostępnych dla ludności lub terenów zabudowy mieszkaniowej dla składowej magnetycznej  $H$ ,

$H$  – zmierzona lub obliczona według zależności wskazanej w pkt.3 ppkt.1 wartość skuteczna natężenia pola magnetycznego  $H$  [A/m] uśredniona w sposób określony na podstawie art. 122 ust. 1 ustawy POŚ [II.2.1],

$\min(MH_{gr})$  – najniższa dopuszczalna wartość składowej magnetycznej  $H$  [A/m] dla objętego pomiarami zakresu częstotliwości  $f$  dla miejsc dostępnych dla ludności lub terenów zabudowy mieszkaniowej na podstawie art. 122 ust. 1 ustawy POŚ [II.2.1].

- b) miernikiem selektywnym wartości skutecznej lub miernikiem szerokopasmowym, niezależnie dla każdej częstotliwości  $f_i$  [Hz], jeżeli w środowisku występują PEM w różnych zakresach częstotliwości  $f_i$  [Hz], sprawdzenia dotrzymania dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku dokonuje się przez wyznaczenie wartości wskaźnikowych  $WM_E$  i  $WM_H$ , oddzielnie dla zakresów częstotliwości  $f = 0 - 100$  kHz i  $f = 100$  kHz do 300 GHz, z podanych zależności wybrany zakres częstotliwości sieci elektroenergetycznej  $f = 0$  Hz – 100 kHz:

$$WM_E = \sum_i \frac{E(f_i)}{ME_{gr}(f_i)} \quad [11]$$

gdzie:

$WM_E$  – wartość wskaźnikowa poziomu emisji PEM dla miejsc dostępnych dla ludności lub terenów zabudowy mieszkaniowej dla składowej elektrycznej  $E$  [V/m],

$E(f_i)$  – zmierzona dla częstotliwości  $f_i$  wartość skuteczna natężenia pola elektrycznego  $E$  [V/m], uśredniona w sposób określony w przepisach na podstawie art. 122 ust.1 ustawy POŚ [II.2.1],

$ME_{gr}(f_i)$  – wartość dopuszczalnych poziomów PEM dla częstotliwości  $f_i$  określona dla natężenia pola elektrycznego  $E$  [V/m] na podstawie art. 122 ust.1 ustawy POŚ [II.2.1] dla dla miejsc dostępnych dla ludności lub terenów zabudowy mieszkaniowej,

$$WM_H = \sum_i \frac{H(f_i)}{MH_{gr}(f_i)} \quad [12]$$

gdzie:

$WM_H$  – wartość wskaźnikowa poziomu emisji PEM dla miejsc dostępnych dla ludności lub terenów zabudowy mieszkaniowej dla składowej magnetycznej  $H$  [A/m] pola,

$H(f_i)$  – zmierzona dla częstotliwości  $f_i$  wartość skuteczną natężenia pola magnetycznego  $H$  [A/m] uśredniona w sposób określony na podstawie art. 122 ust.1 ustawy POŚ [II.2.1],

$MH_{gr}(f_i)$  – wartość dopuszczalnych poziomów PEM dla częstotliwości  $f_i$  określona dla natężenia pola magnetycznego  $H$  [A/m] pola na podstawie art. 122 ust. 1 ustawy POŚ [II.2.1] dla miejsc dostępnych dla ludności lub terenów zabudowy mieszkaniowej.

#### 5.4. Najwyższe dopuszczalne natężenia PEM szkodliwe dla zdrowia w środowisku pracy

Na podstawie załącznika 2 E.Pole elektromagnetyczne Rozporządzenia MRPiPS z dnia 12.06.2018 r. [2018 poz. 1286] w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [II.2.12] określa PEM, którego składowymi są pole elektryczne E i pole magnetyczne H, oznacza czynnik fizyczny w środowisku pracy w postaci pola lub promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości  $f = 0 - 300 \cdot 10^9$  Hz.

Ustala się limity Interwencyjnych Poziomów Narażenia zwane dalej „limitami IPN”, obowiązujące łącznie i podane w tabelach 13 i 14 do ww. Rozporządzenia MRPiPS jako:

- limity operacyjne: bazowe (IPNob), górne (IPNog) i dolne (IPNod),
- limity uzupełniające: pomocnicze (IPNp), szczytowe (IPNm) i miejscowe (IPNk).

W dziedzinie czasu limity IPN dotyczą zróżnicowanych miar narażenia, określonych jako: wartość skuteczna (RMS) – wartość wybranego parametru charakteryzującego PEM definiowana zgodnie z uśrednioną w czasie zależnością całkową, reprezentującą ekwiwalent ciepła wydzielonego podczas przepływu prądu, wyrażana liczbowo zależnością:

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_{RMS}} \int_0^{T_{RMS}} x^2(t) dt} \quad [13]$$

- 23 -

gdzie:

$x(t)$  – wartość chwilowa wybranego parametru charakteryzującego PEM w rozpatrywanym momencie czasu  $t$ ,

$T_{RMS}$  – przedział czasu, w którym obliczana jest wartość skuteczna; jeżeli  $T_{RMS} = 1/f$ , to jest okres zmian w czasie wartości chwilowej wybranego parametru; dla pól harmonicznych wartość skuteczna ( $T_{RMS}$ ) równa jest wartości szczytowej ( $P$ ) podzielonej przez  $\sqrt{2}$ ; podczas oceny zagrożeń wynikających ze skutków termicznych oddziaływania PEM o częstotliwości z zakresu  $100 \times 10^3 \text{ Hz} < f < 6 \times 10^9 \text{ Hz}$  przyjmuje się  $T_{RMS} = 6$  minut.

Najwyższe dopuszczalne natężenia fizyczne PEM szkodliwe dla zdrowia w środowisku pracy dotyczą pracowników stałych zatrudnionych w przedsiębiorstwie czy zakładach, gdzie występują szkodliwe i uciążliwe warunki pracy w zakresie pola lub promieniowania elektromagnetycznego. Farma „Przybrda” to obiekt bezobsługowy, gdzie serwis urządzeń i instalacji elektrycznych oraz pobyt ludzi odbywa się okresowo, a szkodliwe i uciążliwe warunki pracy tu nie pojawiają się. Dlatego analiza zagadnień najwyższych dopuszczalnych natężeń PEM czynników szkodliwych dla zdrowia ludzi w środowisku pracy i wpływu urządzeń Farmy „Przybrda” jest bezprzedmiotowa.

#### 6. Analiza wpływu PEM w zakresie częstotliwości $f = 50$ Hz na zdrowie ludzi i środowisko

Wokół obiektów, urządzeń i instalacji elektroenergetycznych występują pola elektromagnetyczne (PEM) o częstotliwości sieciowej  $f = 50$  Hz, które oddziałują na środowisko. Jednak mają one całkowicie inny wpływ aniżeli pola o wysokich częstotliwościach (w.cz)  $f > 100$  kHz, rozchodzące się w przestrzeni w postaci fal elektromagnetycznych i zwane promieniowaniem elektromagnetycznym. W przypadku PEM o częstotliwościach  $f = 50$  Hz nie ma mowy o zjawisku promieniowania, gdyż pola tego rodzaju przekazują do otoczenia pomijalnie małe ilości energii. Oznacza to, iż PEM generowane przez panele i urządzenia PV, elektroenergetyczne stacje, linie napowietrzne i kablowe oraz inne urządzenia i instalacje elektryczne nie mogą powodować w organizmie człowieka i zwierząt efektu termicznego. Nie można więc w żadnym przypadku kojarzyć pojęcia „pole elektromagnetyczne” z terminem „promieniowanie elektromagnetyczne”. Bardzo ogólna nazwa „pole elektromagnetyczne” często tak nadużywana przez laików jest przyczyną wielu nieporozumień, wynikających z braku precyzyjnego i profesjonalnego charakteryzowania opisanej wielkości fizycznej.

Częste potoczne zbyt nadmierne stosowanie fałszywe, zwłaszcza przez dyletantów i amatorów, terminów „promieniowanie elektromagnetyczne” czy „fale elektromagnetyczne” w odniesieniu do PEM niskiej częstotliwości sieciowej  $f = 50$  Hz jest nieuzasadnione i nieprofesjonalne, nieraz rodzi w społeczeństwie wiele niepotrzebnych obaw i konflikty społeczne, a nawet psychozę. W przypadku pól w.cz. należy mówić o promieniowaniu najkorzystniej niejonizującym czyli emisji i rozchodzeniu się

nierozzerwalnie ze sobą związanych zmian pola elektrycznego  $E$  [V/m] i magnetycznego  $H$  [A/m]. Właściwości tego rodzaju pól, charakteryzowanych przez natężenie pola elektrycznego  $E$  [V/m] lub gęstość strumienia energii  $S$  [W/m<sup>2</sup>] sprawiają, że są one w stanie oddziaływać na obiekty fizyczne, nie powodując jonizacji materii. Pola te o częstotliwości  $f = 50$  Hz – w odróżnieniu od pól w.cz. – to tzw. quasi – stacjonarne, co praktycznie oznacza, iż nie ma mowy o występowaniu zjawiska promieniowania. Można natomiast wyróżnić i odrębnie zmierzyć składową elektryczną  $E$  [V/m] – wpływającą na ładunki elektryczne oraz składową magnetyczną  $H$  [A/m] – oddziaływującą na przewodniki z prądem elektrycznym. Jednak prawdą jest, że te pola o bardzo niskiej częstotliwości  $f = 50$  Hz mogą powodować wystąpienie różnych zmian w organizmach żywych, w tym i u człowieka. Zmiany takie pojawiają się jednak tylko w ściśle określonych warunkach i po działaniu pól o dużych intensywnościach, znacznie silniejszych niż te, z którymi można się zetknąć w pobliżu stacji elektroenergetycznych i napowietrznych linii przesyłowych czy urządzeń i instalacji elektrycznych, albo przy częstym i zbyt bliskim użytkowaniu sprzętu zasilanego prądem przemiennym.

Faktem bezdyskusyjnym i potwierdzonym jest to, że organizmy żywe wytworzyły w procesie ewolucji biologicznej różne mechanizmy adaptacyjne (przystosowawcze), kompensacyjne (wyrównawcze) i regeneracyjne (naprawcze) procesów fizjologicznych. Mechanizmy te pozwalają na zapewnienie prawidłowej pracy różnych układów fizjologicznych organizmu człowieka i zwierząt, zmienianych lub uszkodzanych na skutek skumulowanego synergicznie oddziaływania zewnętrznych czynników środowiskowych (np. PEM, temperatury, hałasu). W efekcie, mechanizmy obronne umożliwiają poprawne funkcjonowanie całego organizmu żywego w zmiennych warunkach otoczenia i stanowią elementarne zabezpieczenie przed rozwojem chorób środowiskowych czy zawodowych. Instalacje i urządzenia elektryczne wytwarzają w swoim otoczeniu PEM o częstotliwości  $f = 50$  Hz, które powstają na skutek obecności napięcia  $U$  (pole elektryczne – składowa elektryczna  $E$ ) oraz w wyniku przepływu prądu  $I$  (pole magnetyczne – składowa magnetyczna  $H$ ). Urządzenia i instalacje jako źródła emisji energii elektromagnetycznej do otoczenia, która mimo braku możliwości jonizacji cząsteczek może wywołać we wszystkich ciałach materialnych prądy elektryczne, dodatkowe do istniejących np. bioprądów w organizmach ludzkich czy zwierząt, których kształt i struktura są znane, np. w postaci zapisu średniego potencjału bioelektrycznego serca – EKG, czy też zapisu czynności bioelektrycznych mózgu – EEG. Powstające w organizmach żywych prądy dodatkowe mogą powodować generowanie i wydzielanie się mocy elektrycznej o gęstości  $S$  wywołującej w krańcowych przypadkach nagrzewanie się organizmu (tzw. efekt termiczny działania pola), bądź w przypadkach oddziaływania niższych wartości – zakłócenia w pracy układu krążenia (tzw. efekt nietermiczny działania pola). Wartość wspomnianych prądów dodatkowych jest funkcją wielkości poziomu wpływu PEM i jego częstotliwości. Przy długotrwałym wpływie o dużym poziomie i częstotliwości występują zakłócenia w funkcjonowaniu organizmu, zwłaszcza w pracy układu krążenia i układu nerwowego, powodując dolegliwości i zmniejszenie odporności organizmu. Nie sposób przewidzieć dokładne skutki tych oddziaływań, gdyż każdy organizm ludzki czy zwierząt w zależności od indywidualnych predyspozycji reaguje w różnym stopniu i czasie. Główne objawy reakcji na oddziaływania znacznych poziomów PEM organizmów to:

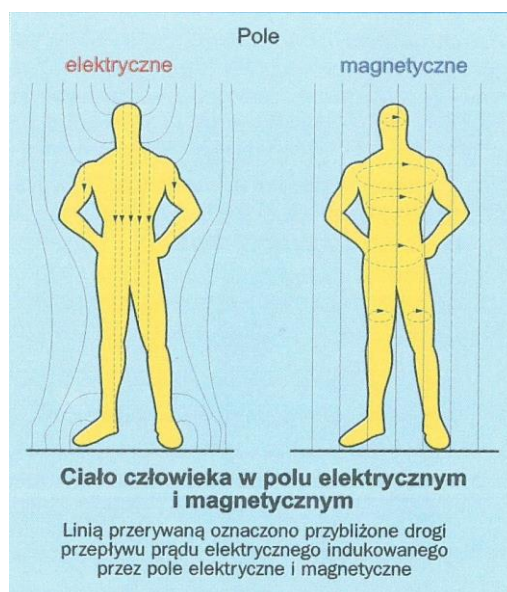
- u ludzi – osłabienie ogólne, apatia, oznaki stałego zmęczenia, złe samopoczucie, pogorszenie wzroku czy brak koncentracji,
- u zwierząt – brak apetytu, strata wagi, osłabienie i mała ruchliwość, spadek tempa przyrostu masy ciała, a w krańcowych przypadkach nawet śmiertelność osobników .

#### 7. Pole elektromagnetyczne w bliskim otoczeniu człowieka – porównawcze wielkości PEM

Dla przybliżenia i zobrazowania wielkości oddziaływania PEM obiektów, urządzeń i instalacji PV np. transformatorów, paneli, inwerterów, linii kablowej na środowisko przedstawiono analizy porównawcze wpływu pól generowanych przez urządzenia i instalacje elektryczne w użytkowaniu codziennym w bliskim otoczeniu ludzi.

Wiadomo, iż urządzenia i instalacje zasilane sieciowym prądem elektrycznym generują zmienne pola elektryczne  $E$  i pola magnetyczne  $H$  stanowiące PEM. Prąd sieciowy przemienny i generowany przez niego pola nie występują w środowisku naturalnym. Jego powszechne i masowe wykorzystanie od kilkudziesięciu lat w dynamicznym rozwoju cywilizacji spowodował drastyczny i duży wielokrotny

wzrost wartości natężeń pól elektrycznych  $E$  i magnetycznych  $H$  oraz ich oddziaływań w bliskim środowisku człowieka, co explicite pokazują linie przerywane poniżej na ryc. 1 i wartości w tabeli 4 [II.14.29]. Dotyczy to również całego jego otoczenia, w tym także m.in. zabudowy miast, osiedli i wsi, przemysłu, rolnictwa i gospodarstw także w różnych obiektach hodowli zwierząt itd.



Ryc. 1. Obraz graficzny oddziaływań pola elektromagnetycznego na organizm człowieka [II.14.16]

Poziomy porównawcze wielkości natężenia pól elektrycznych  $E$  [V/m] i magnetycznych  $H$  [A/m] w bliskim otoczeniu naturalnym człowieka [II.14.29]

Tabela 4

| Pole elektromagnetyczne                     | Składowa elektryczna $E$<br>[V/m] | Składowa magnetyczna        |                                                                           |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|                                             |                                   | Natężenie pola $H$<br>[A/m] | Indukcja magnetyczna $B$ [ $\mu T$ ]<br>$1 \mu T = 10^{-6} T = 0,796 A/m$ |
| Ziemskie pola naturalne                     | 0,0001 – 0,5                      | 8                           | 0,00001                                                                   |
| Instalacje i urządzenia powszechnego użytku | 500                               | 187                         | 150                                                                       |

Wielkości natężeń PEM w naszych domach i gospodarstwach, miejscach pracy czy w obiektach użyteczności publicznej, często przekraczają ww. naturalne poziomy pól  $E$  [kV/m] i  $H$  [A/m], nawet ponad setki tysięcy razy. Wartości poziomu PEM generowanego przez te urządzenia i instalacje są funkcją głównie ich mocy i zakresu częstotliwości  $f$  [Hz] pracy. Im niższa częstotliwość, tym silniejsze wytwarza ono pole, co oznacza, że używany prąd sieciowy o niskiej częstotliwości  $f = 50$  Hz jest źródłem silnych pól. Przykładowe wyniki pomiaru natężeń pola elektrycznego  $E$  i pola magnetycznego  $H$  wytwarzanego przez instalacje i urządzenia powszechnego użytku w bliskiej odległości np. 5 – 50 cm od człowieka i organizmów żywych obrazują wartości przedstawione poniżej w tabeli [II.14.29]. W tabeli 5 poniżej przedstawiono uśrednione zmierzone wielkości natężeń pól elektrycznych  $E$  [kV/m] i magnetycznych  $H$  [A/m] generowanych częstotliwości  $f = 50$  Hz pod elektroenergetycznymi liniami napowietrznymi i wokół stacji SE w porównaniu do wartości wytwarzanych przez wybrane urządzenia elektryczne powszechnego użytku [II.14.16]. Jest to charakterystyczny obraz wpływu PEM od tych urządzeń i instalacji na codzienne życie człowieka i środowiska.

Wielkości natężenia pól elektrycznych E [kV/m] i magnetycznych H [A/m]  $f = 50$  Hz generowanych pod liniami napowietrznymi i wokół stacji SE w porównaniu do domowych urządzeń elektrycznych

Tabela 5

| Lp. | Instalacje i obiekty elektroenergetyczne oraz urządzenia domowe | Natężenie pola elektrycznego E [kV/m] | Natężenie pola magnetycznego H [A/m] | Przekroczone dopuszczalne wartości ustawowe PEM II.5 |         |
|-----|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|---------|
|     |                                                                 |                                       |                                      | E [kV/m]                                             | H [A/m] |
| 1.  | Pod przewodami linii napowietrznych i stacji                    |                                       |                                      |                                                      |         |
|     | NN 220 – 400 kV                                                 | 1 – 10                                | 0,8 – 40                             | –                                                    | –       |
|     | WN 110 kV                                                       | 0,5 – 4                               | < 16                                 | –                                                    | –       |
|     | SN 10 – 30 kV                                                   | < 0,3                                 | 0,8 – 16                             | –                                                    | –       |
|     | 10 m na zewnątrz stacji zawodowej NW/NN                         | 0,1 – 0,3                             | < 0,2                                | –                                                    | –       |
| 2.  | Pralka odległość 30 cm                                          | 0,13                                  | 0,3                                  | –                                                    | –       |
| 3.  | Żelazko odległość 10 cm                                         | 0,12                                  | 0,2                                  | –                                                    | –       |
| 4.  | Monitor komputerowy w odległości 30 cm                          | 0,2                                   | 0,1                                  | –                                                    | –       |
| 5.  | TVSet Colour odległ.30cm                                        | 0,15                                  | 0,1                                  | –                                                    | –       |
| 6.  | Odkurzacze w odległości 5 cm                                    | 0,13                                  | 5                                    | –                                                    | –       |
| 7.  | Maszynka do golenia w odległości 3 cm                           | 0,7                                   | 12 – 1200                            | –                                                    | +       |
| 8.  | Suszarka do włosów w odległości 10 cm                           | 0,8                                   | 4                                    | –                                                    | –       |
| 9.  | Kuchenka elektryczna w odległości 30 cm                         | 0,01                                  | 0,15 – 0,5                           | –                                                    | –       |
| 10. | Mikser w odległości 30 cm                                       | 0,1                                   | 0,6 – 10                             | –                                                    | –       |
| 11. | Wiertarka odległość 30cm                                        | 0,1                                   | 2 – 3,5                              | –                                                    | –       |
| 12. | Poduszka elektryczna odległość 30 cm                            | 1,3                                   | 16                                   | +                                                    | –       |

Dane zawarte w tabeli 5 na podstawie:

- Linie i stacje elektroenergetyczne w środowisku człowieka – Wyd.5. PSE W-wa, 2008 [II.14.16],
- Federalny Urząd ds. Ochrony przed Promieniowaniem (Bundesamt für Strahlenschutz), 1995.

Wartości natężenia pola elektrycznego E i pola magnetycznego H generowanych przez instalacje i urządzenia powszechnego użytku w odległości 50 cm od człowieka

Tabela 6

| PEM dla częstotliwości f | Składowa elektryczna E [V/m] | Składowa magnetyczna   |                             |
|--------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|
|                          |                              | Natężenie pola H [A/m] | Indukcja magnetyczna B [μT] |
| 5 Hz – 2 kHz             | 25                           | < 0,312                | < 0,25                      |
| 2 kHz – 400 kHz          | 2,5                          | < 0,031                | < 0,025                     |

Ciało człowieka i innych organizmów żywych, w tym głównie woda i krew zawarte w organizmie, pochłaniają zarówno zmienne pola elektryczne, jak i pole magnetyczne. Energia dostarczona z zewnątrz do organizmu wywołuje określone reakcje, podczas których składowe E [kV/m] i H [[A/m] pochłaniane są w różnym stopniu, jak:

- pole elektryczne absorbowane w bardzo wysokim stopniu – aż 80 %, tylko przy PEM o niskich częstotliwościach w zakresie  $f = 1 - 10\,000$  Hz,
- pole magnetyczne praktycznie nie jest pochłaniane przez ciało przy niskich częstotliwościach – mały współczynnik absorpcji wynosi zaledwie około  $k = 0,001$ .

Dla zobrazowania wielkości oddziaływań PEM samej instancji elektrycznej w budynku czy w obiekcie gospodarczym tylko podczas bliskiego włączenia zasilania z sieci elektrycznej – uruchomienia urządzeń i instalacji do powszechnego użytku podano przykładowe charakterystyczne wartości  $E$  [kV/m] i  $H$  [A/m] dla 3-ech różnych typów włączników prądu elektrycznego w bezpośrednim otoczeniu człowieka wg tabeli 6 poniżej [II.14.29].

Przykładowe wartości pól elektrycznych  $E$  [kV/m] i magnetycznych  $H$  [A/m] obrazujące wielkości poziomów PEM bezpośrednio przy włącznikach różnych typów prądu elektrycznego w budynkach

Tabela 7

| Element sieci elektrycznej domu czy innego obiektu | Natężenie pola elektrycznego $E$ włącznika [kV/m] | Natężenie pola elektrycznego $E$ włącznika po zakryciu dłonią [kV/m] | Natężenie pola magnetycznego $H$ włącznika |            | Natężenie pola magnetycznego $H$ włącznika po zakryciu dłonią |            |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------|------------|
|                                                    |                                                   |                                                                      | [A/m]                                      | ( $\mu$ T) | [A/m]                                                         | ( $\mu$ T) |
| Włącznik typ 1                                     | 0,072                                             | 0,024                                                                | 0,048                                      | 0,038      | 0,048                                                         | 0,038      |
| Włącznik typ 2                                     | 0,170                                             | 0,012                                                                | 0,055                                      | 0,044      | 0,055                                                         | 0,044      |
| Włącznik typ 3                                     | 0,263                                             | 0,005                                                                | 0,059                                      | 0,047      | 0,059                                                         | 0,047      |

#### 8. Ustawowa ocena kwalifikacji przedsięwzięcia – budowa elektrowni fotowoltaicznej PV

Na podstawie art. 60 ustawy z dnia 3.10.2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko [II.2.5] oraz § 3.1. Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 3.10.2008 r. ws. przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych uwarunkowań związanych z kwalifikowaniem przedsięwzięcia do sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko [II.2.11], ustala się w pkt. 54a) zabudowa systemami fotowoltaicznymi o powierzchni wyznaczanej po obrysie zewnętrznych skrajnych modułów paneli nie mniejszej niż:

- 0,5 ha na obszarach objętych formami ochrony przyrody, o których mowa w art. 6 ust. 1 pkt 1-5, 8 i 9 ustawy z dnia 16.04.2004 r. o ochronie przyrody, lub w otulinach form ochrony przyrody, o których mowa w art. 6 ust. 1 pkt 1-3 tej ustawy,
- 2 ha na obszarach innych niż wymienione w lit. A - z wyłączeniem zabudowy systemami fotowoltaicznymi lokalizowanej na dachach i elewacjach obiektów budowlanych.

Podobne stanowisko j.w. dot. oceny kwalifikacji przedsięwzięć PV na podstawie ww. Rozporządzenia Rady Ministrów [II.2.11] zajął GDOŚ – pismo znak: DOOŚ.soos.070.427.2012.rla z dnia 29.11.2012 r. Zatem planowaną Farmę „Przybrda” o mocy do 400 MW wraz z elektroenergetyczną infrastrukturą o powierzchni zabudowy  $S_{\max} = 222,31$  ha zlokalizowaną na działkach nr 16/1, 276, 277, 278/42, 279, obręb Biała, gmina Biały Bór, określono jako instalacje mogące znacząco oddziaływać na środowisko. Przez powierzchnię zabudowy rozumie się powierzchnię terenu zajęta przez obiekty budowlane oraz pozostałą powierzchnię przeznaczoną do przekształcenia w wyniku realizacji przedsięwzięcia PV.

#### 9. Przykładowe badania i pomiary środowiskowe w obiektach OZE – elektrownie fotowoltaiczne: projektowana Bożepole oraz eksploatowana Gdańsk Przejazdowo

W celu potwierdzenia prawidłowości prowadzenia analizy oddziaływań PEM planowanej Farmy „Przybrda” autor posłużył się materiałami z własnego raportu OŚ i wynikami badań pomiarów środowiskowych wykonanych w obiektach OZE, które niżej opisano i tu wykorzystano dla uzyskania wiarygodnej analizy PEM, pełnej ochrony zabudowy mieszkalnej przed wpływem PEM od urządzeń i instalacji PV dla zapewnienia zachowania standardów jakości środowiska PEM obrębu Biała.

##### 9.1. Eksploatowana elektrownia fotowoltaiczna Grupy Energa Gdańsk Przejazdowo – analiza i ocena wyników badań i pomiarów PEM i temperatury

Dzięki długoletniej owocnej współpracy z Grupą Energa Gdańsk w zakresie projektów ocen i raportów OŚ, badań PEM i hałasu turbin wiatrowych, elektroenergetycznych stacji WN/NN i linii WN/NN oraz elektrowni PV sporządzono wiele opracowań środowiskowych planowanych i użytkowanych obiektów OZE. We współpracy z Pionem Eksploatacji OZE – Energa Inwestycje w

eksploatowanej elektrowni PV Gdańsk Przejazdowo o zakresie użytkowym 250 razy mniejszym niż ww. Farma "Przybrda", wykonano analizę badań i pomiary środowiskowe PEM, hałasu i temperatury.

(1) Termin wykonania badań i pomiarów

Po ustaleniu prognoz pogody i danych meteorologicznych przeprowadzono 2-krotne pomiary w terenie elektrowni fotowoltaicznej PV w Gdańsku Przejazdowo w następujących terminach:

- ☞ dnia 4.11.2014 r. w godz.10.00 – 14.00, po 6 miesiącach od uruchomieniu elektrowni PV,
- ☞ dnia 19.06.2017 r. w godz.12.00 – 16.00 dla potrzeb projektowanej elektrowni PV Bożepole po 3 latach pełnej eksploatacji elektrowni PV Gdańsk Przejazdowo.

(2) Warunki atmosferyczne podczas badań i pomiarów

Dane meteorologiczne dla obu terminów badań i pomiarów hałasu i temperatury zarejestrowano na podstawie parametrów zawartych w aplikacji: <https://pogoda.interia.pl/prognoza-szczegolowa-gdansk,cId,432760>, które wyszczególniono w obu tabelach poniżej.

Tabela 8

| Data<br>4.11.2014 r.<br>[ h ] | Temperatura<br>zmierzona<br>w<br>cieniu/słońcu<br>[°C] | Temperatura<br>odczuwalna<br>w<br>cieniu/słońcu<br>[°C] | Zachmurzenie<br>[%] | Wiatr –<br>kierunek/<br>prędkość<br>[km/h] | Wilgotność<br>powietrza<br>[%] |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|
| 10 <sup>00</sup>              | 7,8                                                    | 4,0                                                     | 20                  | S/13                                       | 81                             |
| 11 <sup>00</sup>              | 10,0                                                   | 5,8                                                     | 20                  | S/11                                       | 71                             |
| 12 <sup>00</sup>              | 11,0                                                   | 7,0                                                     | słonecznie          | S/13                                       | 71                             |
| 13 <sup>00</sup>              | 11,6                                                   | 9,5                                                     | słonecznie          | S/15                                       | 66                             |
| 14 <sup>00</sup>              | 12,6                                                   | 10,0                                                    | słonecznie          | S/11                                       | 62                             |

Tabela 9

| Data<br>19.06.2017 r.<br>[ h ] | Temperatura<br>zmierzona<br>w<br>cieniu/słońcu<br>[°C] | Temperatura<br>odczuwalna<br>w<br>cieniu/słońcu<br>[°C] | Zachmurzenie<br>[%] | Wiatr –<br>kierunek/<br>prędkość<br>[km/h] | Wilgotność<br>powietrza<br>[%] |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|
| 12 <sup>00</sup>               | 23,9                                                   | 23,9                                                    | 35, częściowe       | WNW/29                                     | 56                             |
| 13 <sup>00</sup>               | 24,0                                                   | 24,5                                                    | słonecznie          | W/28                                       | 53                             |
| 15 <sup>00</sup>               | 25,0                                                   | 25,8                                                    | słonecznie          | W/33                                       | 47                             |

(3) Zestaw urządzeń pomiarowych

Badania wykonano przy pomocy profesjonalnych zestawów urządzeń do pomiarów w zakresie:

- ☞ hałasu – urządzenie pomiarowe typ 2209 firmy Brüel & Kjær (Dania),
- ☞ temperatur – cyfrowy bezdotykowy termometr na podczerwień „Diagnostic NC300”,
- ☞ pól elektromagnetycznych (PEM) następujący zestaw przyrządów pomiarowych jak niżej:

Tabela 10

| Lp. | Przyrząd pomiarowy wykorzystany w badaniach PEM<br>$1 \mu T = 10^{-6} T = 0,796 A/m$                                                    |                           |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
|     | Oznaczenia i parametry                                                                                                                  | Numery i zakresy pomiarów |
| 1.  | Przyrząd pomiarowy                                                                                                                      | ESM –100                  |
| 2.  | Numer ewidencyjny                                                                                                                       | PP/15/W/S/K/04            |
| 3.  | Zakres częstotliwości [Hz]                                                                                                              | 5 – 500 000               |
| 4.  | [nT– mT]                                                                                                                                | 20 nT – 19,9 mT           |
|     | Zakres pomiaru PEM:<br>[V/m – kV/m]                                                                                                     | 1 V/m – 50 kV/m           |
| 5.  | Przyrządy pomiarowe przed i po zakończeniu pomiarów były każdorazowo sprawdzane wewnętrznie uniwersalnym Testerem Sond Pomiarowych PEM. |                           |

Niżej: wizualizacja fotograficzna – obiekty elektrowni PV Gdańsk Przejazdowo, moc 1,64 MW  
(Grupa Energa 2014) (źródło: zdjęcia własne)



Fot.1. Widok string-box'a na ocynkowanej stalowej konstrukcji wsporczej



Fot.2. Kontener: stacja RSN 15 kV i transformator typ 15/0.38 kV oraz inwerter RDC 660 V



Fot.3. Kontener: stacja RSN 15 kV i transformator



Fot.4. Kontener: inwerter RDC 660 V=

#### (4) Wyniki pomiarów poziomu PEM na terenie elektrowni PV Gdańsk Przejazdowo

Punkty pomiarowe są na wysokości 1,50 m n.p.t. z obu stron ww. obudów i nad kontenerami stacji A-17055 z inwerterem RCD 660 V i transformatorem 15/0,38 kV w odległościach wg tabeli 11:

- południowej – ściana ażurowa z otworami wentylacyjnymi,
- zachodniej – wejściowe drzwi pełne z napisami stacji A-17055.

Wyniki pomiarów maksymalnych wartości natężeń elektrycznych  $E_{\max}$  [V/m] i magnetycznych  $H_{\max}$  [A/m] w otoczeniu urządzeń i instalacji elektrowni fotowoltaicznej PV Gdańsk Przejazdowo.

Tabela 11

| Kontenery urządzeń i stacji – lokalizacja miejsc pomiarów wg Fot.1. i Fot.2 | Moc znamionowa transformatora 3-ech wartości $P_{zn}$ [kVA] | Maksymalna składowa elektryczna 3 wartości $E_{\max}$ [V/m] | Maksymalna składowa magnetyczna dla 3 wartości $H_{\max}$ [A/m] | Składowa magnetyczna obciążenia znamionowego transformatora wg obliczeń $H$ [A/m] |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1 m obok – string – box                                                     | 630 - 400 - 250                                             | 277 - 269 - 248                                             | 14.3-12.15-11.2                                                 | 27.5 - 26.2 - 13.1                                                                |
| 0,5 m nad – string – box                                                    | 630 - 400 - 250                                             | 280 - 278 - 250                                             | 14.8-12.75-11.5                                                 | 29.3 - 28.0 - 13.5                                                                |
| 1 m obok – stacja RSN 15 kV                                                 | 630 - 400 - 250                                             | 288 - 280 - 255                                             | 15.8-13.9-11.9                                                  | 21.5 - 18.2 - 3.6                                                                 |

|                                               |                 |                    |                 |                    |
|-----------------------------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| 0,5 m nad –<br>stacja RSN 15 kV               | 630 - 400 - 250 | 290 – 285 –<br>260 | 16.2-14.3-12.1  | 29.9 - 39.3 - 13.7 |
| 1 m obok –<br>transformator<br>typ 15/0.38 kV | 630 - 400 - 250 | 291 - 287 - 261    | 17.2-15.3-12.9  | 29.2 - 39.4 - 13.8 |
| 0,5 nad –<br>transformator typ<br>15/0.38 kV  | 630 - 400 - 250 | 295 - 288 - 263    | 17.9-15.8-13.2  | 29.9 - 39.7 - 13.9 |
| 1 m obok –<br>inwerter RD 660 V               | 630 - 400 - 250 | 277 - 269 - 248    | 14.61-12.6-11.3 | 27.5 - 26.2 - 13.1 |
| 0,5 m nad –<br>inwerter RDC660V               | 630 - 400 - 250 | 280 - 273 - 251    | 14.8-12.8-11.5  | 27.8 - 26.6 - 13.5 |

### 9.2. Elektrownia fotowoltaiczna PV Bożepole – analiza i ocena badań PEM

Na podstawie Uchwały NR XLIV/1/2014 Rady Gminy Łęczyce o mpzp dla geodezyjnego obrębu Bożepole Wielkie, gmina Łęczyce – dopuszczono lokalizację elektrowni fotowoltaicznej PV i budowie infrastrukturalne z zakresu elektroenergetyki związane z inwestycją.

Dzięki temu wykonano raport OŚ i szczegółową wymaganą analizę badań PEM i hałasu do raportu OŚ w 2018 roku w projektowanej elektrowni fotowoltaicznej PV Bożepole o mocy do 10 MW.

### 9.3. Wnioski z badań i pomiarów PEM obu elektrowni Bożepole i Gdańsk Przejazdowo

- (2) Obie przeanalizowane przykładowe elektrownie PV mają odpowiednio wielokrotnie 250 i 40 razy mniejszy zakres techniczny i zasięg użytkowy oraz w konsekwencji bardziej ograniczone oddziaływanie PEM na środowisko aniżeli przedmiotowa planowana Farma „Przybrda”. Widać tę różnicę zdecydowaną porównując podstawowe maksymalne ich parametry techniczne, użytkowe, ilościowe i elektroenergetyczne funkcjonowania PV, jak m.in.:
  - PV Bożepole – pow. 40 ha, moc 9,9 MW, stacja z 2 transformatorami, 4 inwertery,
  - Gdańsk Przejazdowo – pow. 2,5 ha, moc 1,64 MW, 1 st. transformatorowa, 2 inwertery,
  - Farma „Przybrda” – pow. 222ha, moc do 400 MW, do 80 stacji transformatorów, do 1360 inwerterów,
- (3) Analiza obliczeń poziomu natężenia PEM sporządzona w oparciu o symulacje komputerowe APEM/2000 wykazała, iż dają one realny obraz oddziaływań elektrowni PV Bożepole i Gdańsk Przejazdowo wraz z infrastrukturą elektroenergetyczną źródeł PEM – urządzeń, instalacji PV i stringi oraz podziemne przyłącze kablowe 15 kV lub 30 kV prowadzone na głębokości 1 m p.p.t.,
- (4) Uwzględniając uzyskane wyniki obliczeń wielkości poziomów PEM dla lokalizacji elektrowni PV Bożepole w wersji planowanej przez inwestora stwierdzono, iż występuje oddziaływanie PEM na terenie sąsiedniej fermi drobiu, którego w projektowanym układzie lokalizacji stacji transformatorowej z 2 transformatorami o parametrach –  $U_{pm} = 0,4/16,5$  kV, moc  $P_{zm} = 5$  MVA, wystąpiły niewielkie 10% wartości przekraczające tylko wielkości dopuszczalne E:

$$E = 1,1 \text{ [kV/m]} \quad i \quad H = 11 \text{ [A/m]} \quad [14]$$

- (5) Z powodów tego oddziaływania PEM w elektrowni PV Bożepole i przekroczeń dopuszczalnych wielkości na terenie sąsiedniej fermi drobiu, konieczne były działania proponowane przez autora konkretne sposoby zapobiegania i zmniejszania negatywnych oddziaływań czyli zmiana lokalizacji stacji transformatorowej z ww. 2 transformatorami poprzez zaprojektowanie dalszego odsunięcia ich od południowych granic terenu działki na odległość 90 – 100 m czyli oddalenie ich od chronionego terenu fermi drobiu, powodując prawie 2-krotne zmniejszenie obu parametrów natężenia pola elektrycznego E [kV/m] i pola magnetycznego H [A/m]. W ten sposób wyeliminowano całkowicie negatywny wpływ na chronione otoczenie właściciela, co

także zobrazowano graficznie na rysunkach lokalizacji i podkładach mpzp w postaci akceptowanych krzywych jednakowego poziomu  $E$  [kV/m] i  $H$  [A/m] – izopemach:

$$E = 0,6 \text{ [kV/m]} \quad i \quad H = 6,0 \text{ [A/m]} \quad [15]$$

- (6) W przypadku analizy PEM elektrowni PV Gdańsk Przejazdowo podobnych problemów nie było, gdyż dużo mniejszy zakres techniczny, zasięg użytkowy i w konsekwencji ograniczony wpływ PEM na środowisko nieco odległej zabudowy mieszkaniowej nie generowało przekroczeń wielkości dopuszczalnych PEM,
- (7) W ocenie analizy negatywnego oddziaływania PEM o niskiej częstotliwości  $f = 50$  (Hz) w obu elektrowniach PV wzięto pod uwagę przede wszystkim decydującą rolę wpływu składowej elektrycznej pola  $E$ , bowiem składowa magnetyczna  $H$  generowana przez te same źródła w tym układzie nie powoduje praktycznie istotnych reakcji przekroczeń standardowych wartości PEM.

#### 10. Metodologia analizy i oceny zasad wariantowych obliczeń poziomów PEM Farmy „Przybrda”

Dla przybliżenia zasad generowania i oddziaływania pola elektromagnetycznego na środowisko podano wybrane charakterystyczne cechy metodologii obliczania i pomiaru PEM w oparciu o definicje i fizyczne zależności funkcji elektromagnetyzmu niezbędne do implementacji programu APEM/2000.

##### 10.1. Założenia do symulacji programu komputerowego APEM/2000 prognozy rozkładów PEM

Fundamentalną podstawą zasad i metod stosowania praw teorii pola elektromagnetycznego generowanego przez przewody i urządzenia PV zasilane prądem elektrycznym oraz prognoz rozkładu tych pól w stacjach i liniach elektroenergetycznych stanowią głównie prawa Ampère’a, Faradaya i Maxwella, określające ścisłe zależności i funkcje między składowymi pola elektrycznego  $E$  [kV/m] i pola magnetycznego  $H$  [A/m]. Modelowanie rozkładu PEM generowanych pracą urządzeń, instalacji elektrycznych PV i obwodów stringów obejmuje ważne cele techniczne i środowiskowe dla:

- potrzeb badawczych, pomiarowych, projektowych i diagnostycznych,
- analiz i ocen ich oddziaływania na ludzi i środowisko,
- postępu technologii elektroenergetycznej i kompatybilności elektromagnetycznej (EMC),
- rozwoju nowoczesnej techniki, konstrukcji urządzeń elektrycznych i stosowania materiałów.

Symulacja komputerowa z wykorzystaniem modelu matematycznego zapisanego w postaci programu cyfrowego APEM/2000 okazała się niezwykle przydatna, gdyż bez tego analityczne wyznaczenie rozwiązań matematycznych jest zbyt pracochłonne, a niekiedy nawet niemożliwe, co zazwyczaj ma miejsce w systemach złożonych. Przyjęty tu system obejmował: wytyczenie problemu, utworzenie modelu matematycznego i ustalenie programu, kontrolę i ocenę bezbłędności systemu, organizację przebiegu i badań symulacyjnych oraz finalne prowadzenie weryfikacji wyników obliczeń.

Do niniejszego programu cyfrowego przyjęto następujące wyjściowe dane techniczne:

- średnica  $d$  przewodów instalacji fotowoltaicznych PV, połączeń paneli, inwerterów, obwodów wydzielonych stringów, kontenerów magazynów energii, stacji transformatorowych nn/SN,
- geometria torów linii i przewodów – średnica  $d$ , wysokość zawieszenia  $h$ , odległość  $r$  od osi symetrii linii dla wszystkich przewodów,
- wysokość pomiarowa – w której obliczane jest pole, potem kontrolowana podczas pomiarów,
- głębokość posadowienia wariantowych podziemnych linii kablowych 15 kV lub 30 kV,
- natężenie prądu elektrycznego  $I$  [A] w pojedynczym przewodzie, które może być szacowane na podstawie mocy elektrycznej  $P$  [W] przesyłanej linią,
- strefa ochronna (technologiczna) – obszar, w którym wielkości natężenia pól elektrycznego  $E$  i magnetycznego  $H$  na wysokości pomiarowej przekraczają ustawowe wartości dopuszczalne.

Do badań i realizacji symulacji cyfrowego programu komputerowego APEM/2000 prognozy rozkładu natężenia pola elektrycznego  $E$  i pola magnetycznego  $H$  wykorzystano najbardziej przydatne funkcje i zależności na podstawie praw teorii PEM, elektromagnetyzmu i przyjęto następujące podstawowe założenia techniczne:

# I. Natężenie pola elektrycznego E [kV/m]

- 1) analiza PEM wykonana na gruncie teorii i badań empirycznych w dziedzinie elektrostatyki,
- 2) wykorzystano algorytm obejmujący metodę odbić zwierciadlanych i zasadę superpozycji tzn. wynikowe pole elektryczne E rozpatrzono jako superpozycję pól poszczególnych przewodów, w których do modelu matematycznego przyjęto takie elementy jak:
  - ✎ układ równoległych, nieskończenie długich, cylindrycznych przewodów o  $\phi$  d, równoległych do siebie i do ziemi, umieszczonych w stałej odległości r od przewodzącej płaszczyzny,
  - ✎ przenikalność dielektryczna powietrza  $\epsilon$  równa przenikalności próżni  $\epsilon_0$ . Stała dielektryczna to inaczej względna przenikalność elektryczna  $\epsilon$  materiału dielektrycznego. Jest wielkością stałą, charakterystyczną dla danego materiału o wartości  $\epsilon > 1$  jako bezwymiarowa,
  - ✎ przewodność powietrza jest równa zeru,
  - ✎ nie uwzględnia się wpływu sąsiednich mas przewodzących,
  - ✎ odległości między poszczególnymi przewodami i między każdym przewodem a ziemią są bardzo duże w porównaniu do promienia danego przewodu lub wiązki przewodów,
  - ✎ przewody fazowe mają pewien potencjał względem ziemi, kiedy przepływa prąd roboczy; napięcie decyduje głównie o wartości natężenia pola E, prąd o wartości natężenia pola H,
  - ✎ na rozkłady natężeń pola E i H pod liniami ma także wpływ układ prowadzenia przewodów,
  - ✎ równomierny rozkład ładunku q [C] na powierzchni przewodów,
  - ✎ w przewodach płynie prąd sinusoidalny I [A] o tej samej wartości skutecznej.

Z definicji pola elektromagnetycznego wynika, iż jest to układ dwóch wzajemnie powiązanych pól: elektrycznego E i magnetycznego H, gdzie w każdym ich punkcie możliwe jest określenie wektorów natężenia pól E i H [II.14.9]. W celu scharakteryzowania PEM jako fizycznego czynnika środowiska stosuje się znacznie więcej parametrów niż dla opisu ich pól składowych, do których należą:

- (a) częstotliwość pól f (Hz) i czas ekspozycji pracownika,
- (b) natężenie pól elektrycznych E [kV/m] i natężenie pól magnetycznych H [A/m].

Pole elektryczne opisujące wektor natężenia pola elektrycznego E określono w zależności:

$$E = \frac{F}{q} \quad [\text{kV/m}] \quad [15]$$

gdzie:

F – siła, jaką pole elektryczne wywiera w danym miejscu na jednostkowy elektryczny ładunek q punktowy, [V = W/A] lub [N/C],  
 q – wartość tego ładunku elektrycznego, [C] lub [1C = 1A · 1s] lub [1C = 1F · 1V]

- (c) Dla pojedynczego przewodu z uwagi na symetrię wzdłużną układu znika składowa pola równoległa do osi przewodu. Wówczas występuje układ wyłącznie w płaszczyźnie prostopadłej do osi przewodu dla dwóch różnych przypadków, gdy:
  - nie ma powierzchni przewodzącej (Ziemi) w pobliżu przewodu – pole posiada wyłącznie składową radialną. Natężenie pola elektrycznego E(r) [kV/m] w odległości  $r > d/2$  od osi przewodu oblicza się według zależności ze wzoru:

$$E(r) = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \epsilon_0} \quad [\text{kV/m}] \quad [16]$$

- 32 -

gdzie:

$\rho$  – gęstość liniowa ładunku w przewodzie, (C/m),  
 r – odległość od osi przewodu (dla  $r > d/2$ ), [m],  
 d – średnica przewodów roboczych, [mm],  
 $\epsilon_0$  – przenikalność elektryczna (stała dielektryczna) próżni,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  [F/m].

- (d) Obecność powierzchni przewodzącej – pole pochodzące od ładunków indukowanych na tej powierzchni można zasymulować polem generowanym od umieszczonego symetrycznie względem powierzchni obrazu przewodu z ładunkiem przeciwnego znaku. Między natężeniem pola elektrycznego  $E$  [V/m] a potencjałem  $V$ , wykorzystując symbol operatora nabra  $\nabla V$  (del  $V$ ) ułatwiający opis gradientu dla pola skalarnego, zachodzi określona zależność:

$$E = -\nabla V \quad [\text{V/m}] \quad [17]$$

- (e) Rozkład potencjału  $V$  pod przewodem w odległości  $r$  od przewodu czyli na wysokości  $(h - r)$  dla  $h > r > d/2$  oblicza się ze wzoru:

$$V(r) = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \epsilon_0} \ln \frac{2h - r}{r} \quad [\text{V}] \quad [18]$$

- (f) Gęstość liniową ładunku  $\rho$  wyznacza się na podstawie znajomości wartości napięcia  $U$  [V] jako różnicy potencjałów między powierzchnią przewodu a powierzchnią Ziemi:

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \epsilon_0 \cdot U}{\ln \frac{h}{d}} \quad [\text{C/m}] \quad [19]$$

gdzie:

$h$  – wysokość prowadzenia przewodów roboczych nad poziomem terenu, [m].

- (g) Po przekształceniu powyższych wzorów otrzymamy natężenie pola elektrycznego  $E$  pochodzące od przewodu obliczone z zależności:

$$\vec{E} \left( \vec{r} \right) = \frac{\vec{r}}{r^2} \frac{U}{\ln \left( \frac{h}{d} \right)} \quad [\text{V/m}] \quad [20]$$

## II. Natężenie pola magnetycznego $H$ [A/m]

Zgodnie z prawem Ampère'a wynikającego z matematycznego twierdzenia Stokesa, wiąże indukcję magnetyczną  $B$  wokół przewodnika z prądem z natężeniem prądu elektrycznego  $E$  przepływającego w przewodniku. Ampère, będąc zwolennikiem wpływu na odległość, a nie oddziaływania przez pole magnetyczne  $H$ , nie wyraził prawa w formie równania pola, jak to uczynił Maxwell. Zatem przy użyciu wielkości  $B$  i  $H$  opisujących pole prawo to dla próżni przyjmuje postacie całkowe:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I \quad \left( \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}} \right) \quad [21]$$

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{a} = I \quad [\text{A}] \quad [22]$$

gdzie:

$\oint_C$  – całka krzywoliniowa po linii zamkniętej  $C$ ,

$B$  – indukcja magnetyczna pola przewodnika, [ $\mu\text{T}$ ],

$\vec{r}$

$d\vec{l}$  – niewielki element linii całkowania  $C$ , [ $\mu\text{T}$ ],

$I$  – natężenie prądu przepływającego przez powierzchnię w zamkniętym konturze  $C$ , [A],

$\mu_0$  – przenikalność magnetyczna dla próżni  $\mu_0 = 12,566 \cdot 10^{-7} \left( \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}} \right)$ ,

$H$  – natężenie pola magnetycznego, [A/m],

$J$  – gęstość prądu [ $\text{A/m}^2$ ], przepływającego przez element  $d_a$  na powierzchni  $S$ ,

$d_a$  – powierzchnia elementu  $S$ , [ $\text{m}^2$ ].

Po modyfikacji Maxwella prawo Ampère'a w wersji rozszerzonej stanowi jedno z równań, opisujące generowanie pola magnetycznego  $\vec{H}$  w wyniku ruchu ładunku  $q$  lub zmiany natężenia pola elektrycznego  $\vec{E}$ . Dlatego w tej wersji prawo Ampère'a ma postać bardziej rozszerzoną wyrażoną funkcją całkową:

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{A} + \frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{D} \cdot d\vec{A} \quad [A] \quad [23]$$

Wydzielone w powyższym wzorze drugi człon wyrażenia ma wymiar natężenia prądu zwane prądem przesunięcia  $I_p$  i przyjmuje kształt:

$$I_p = \frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{D} \cdot d\vec{A} \quad [A] \quad [24]$$

Natomiast gęstość prądu przesunięcia  $J_D$  [ $A/m^2$ ] definiowana jako szybkość zmiany indukcji elektrycznej  $\vec{D}$  w postaci różniczkowej przedstawia się następująco:

$$J_D = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad [A/m^2] \quad [25]$$

gdzie:

$\vec{D}$  – indukcja elektryczna  $\vec{D} = \varepsilon \cdot \vec{E}$ , [ $C/m^2$ ],

$\varepsilon$  – przenikalność elektryczna  $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$ , [ $F/m$ ],

$\varepsilon_r$  – względna przenikalność elektryczna dielektryka, [ $F/m$ ].

Natężenie pola magnetycznego  $\vec{H}$  jest miarą siły pola wytwarzanego przez prąd elektryczny  $I$ , wyrażająca zdolność do wytworzenia indukcji pola magnetycznego  $\vec{B}$ . Zatem natężenie pola magnetycznego  $\vec{H}$  to wielkość wektorowa charakteryzująca pole magnetyczne, z użyciem prawa Ampera określana w postaci według zależności:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot H \quad \left( T = \frac{V \cdot s}{m^2} = \frac{N}{A \cdot m} = \frac{Wb}{m^2} = \frac{kg}{A \cdot s^2} \right) \quad [26]$$

natomiast wielkość skalarowa charakteryzująca pole magnetyczne  $H$  ma postać według wzoru:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_R \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_R \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad [\mu T] \quad [27]$$

gdzie:  $1 \mu T = 10^{-6} T = 0,796 A/m$

$\mu_0$  – przenikalność magnetyczna w układzie SI wynosi  $4\pi \cdot 10^{-7}$ , [ $H/m$ ],

$\mu_R$  – względna przenikalność magnetyczna ośrodka, [ $H/m$ ],

dla próżni  $\mu_R = 1$  spełnione jest równanie i zależności między prostopadłymi wektorami  $\vec{E}$  i  $\vec{H}$  wyrażającymi się stałym stosunkiem i wynoszą:

$$B = \mu_0 \cdot H \quad [\mu T] \quad \text{oraz} \quad \frac{\vec{E}}{\vec{H}} = 377 \Omega \quad [28]$$

## 10.2. Główne źródła oddziaływań PEM planowanej Farmy „Przybrda”

Na podstawie parametrów elektrycznych urządzeń i instalacji PV szczegółowo opisanych w pkt.4.2.4, w tabeli 21 i rys. W – 1, W – 2, W – 3 potwierdzono, iż główne źródła urządzeń generujące PEM na terenie działek nr 16/1, 276, 277, 278/42, 279, stanowią następujące urządzenia, instalacje PV:

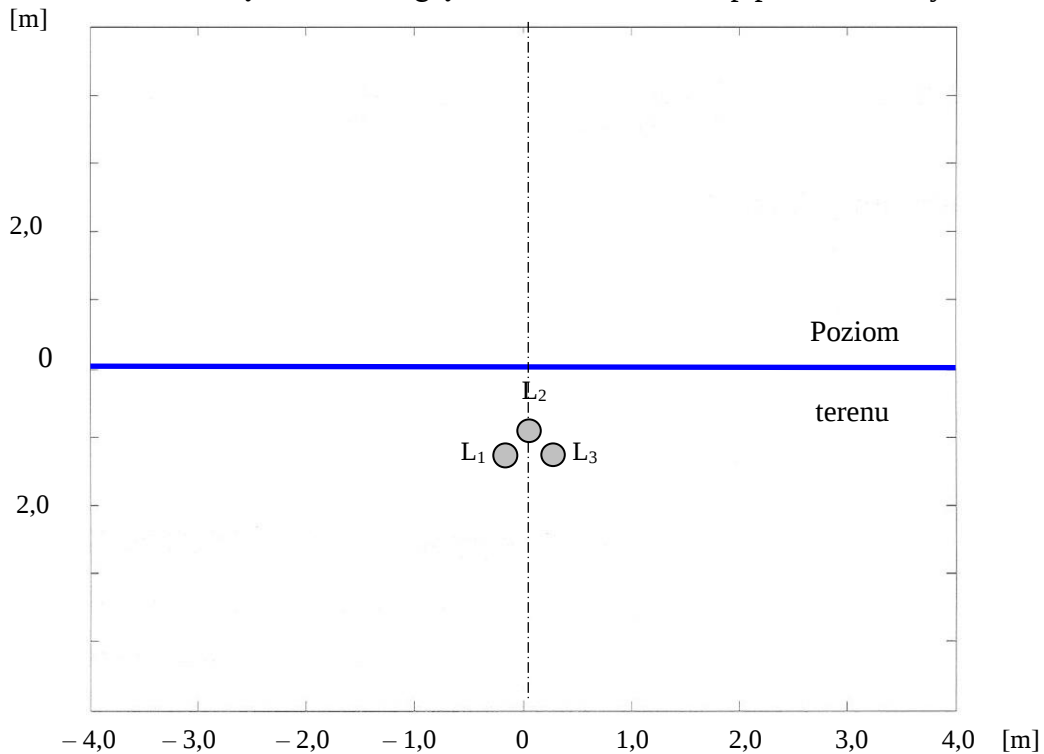
- (1) Panele PV, inwertery, springi – wydzielone obwody elektryczne o dużej sprawności konwersji i stabilności Farmy „Przybrda” o mocy docelowej 400 MW,
- (2) Stacje transformatorowe nn/SN (ST) do 80 szt. – generowana energia elektryczna jest przesyłana podziemną linią kablową 15 kV (30 kV) do GPZ poza terenem farmy i dalej do KSE,
- (3) Kontenerowe magazyny energii do 96 szt. – każdy magazyn składa się z 1 stacji transformatorowej, 10 kontenerów z bateriami i 30 inwerterów,
- (4) Podziemna linia kablowa 15 kV (30 kV) w układzie wiązki kabla typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> lub 30 kV w układzie wiązki kabla typ 3xXRUHKXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup>.

Szkic przekroju poprzecznego wiązki kabla podziemnej linii 15 kV na terenie Farmy „Przybrda”

Kabel elektroenergetyczny typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> (układ trójkątny).

Rozmieszczenie wiązki kabla na głębokości 1,0 – 1,20 m p.p.t .

Wykres 1 – 1



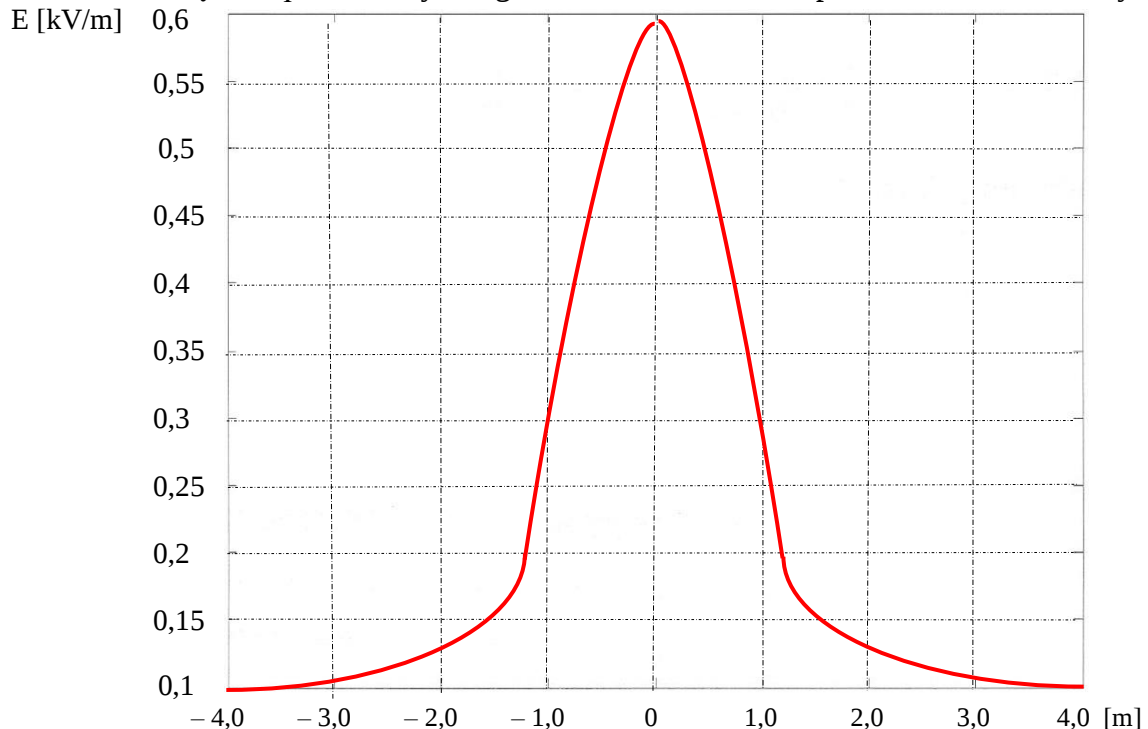
Wykres 1 – 1: układ wiązki kabla typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> w przekroju poprzecznym, gdzie żyły (fazy) ułożone obok siebie w układzie trójkątnym na głębokości 1,0 – 1,20 m ppt.

Wykres natężenia pola elektrycznego E wiązki kabla 15 kV na terenie Farmy „Przybrda”

Kabel elektroenergetyczny typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> (układ trójkątny)

Wartości natężenia pola elektrycznego E [kV/m] 0,30 m nad poziomem terenu

Wykres 1 – 2



Wykres 1 – 2: z obliczeń wynika, że natężenie pola E nad ziemią linii na wysokości  $h = 0,30$  m npt w poprzecznym przekroju wiązki kabla 15 kV przyjmuje wartość maksymalną  $E_{\max} = 0,78$  kV/m. Dla takiego układu kabla natężenie E nie przekracza ustawowej wielkości dopuszczalnego poziomu oddziaływania pola  $E = 1,0$  kV/m na powierzchni Farmy „Przybrda” nad linią kablową 15 kV.

Wyniki obliczeń natężenie pola elektrycznego E nad ziemią linii kablowej typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> na wysokości h = 0,30 m n.p.t. nad powierzchnią Farmy „Przybrda” (wykres 1 – 2)

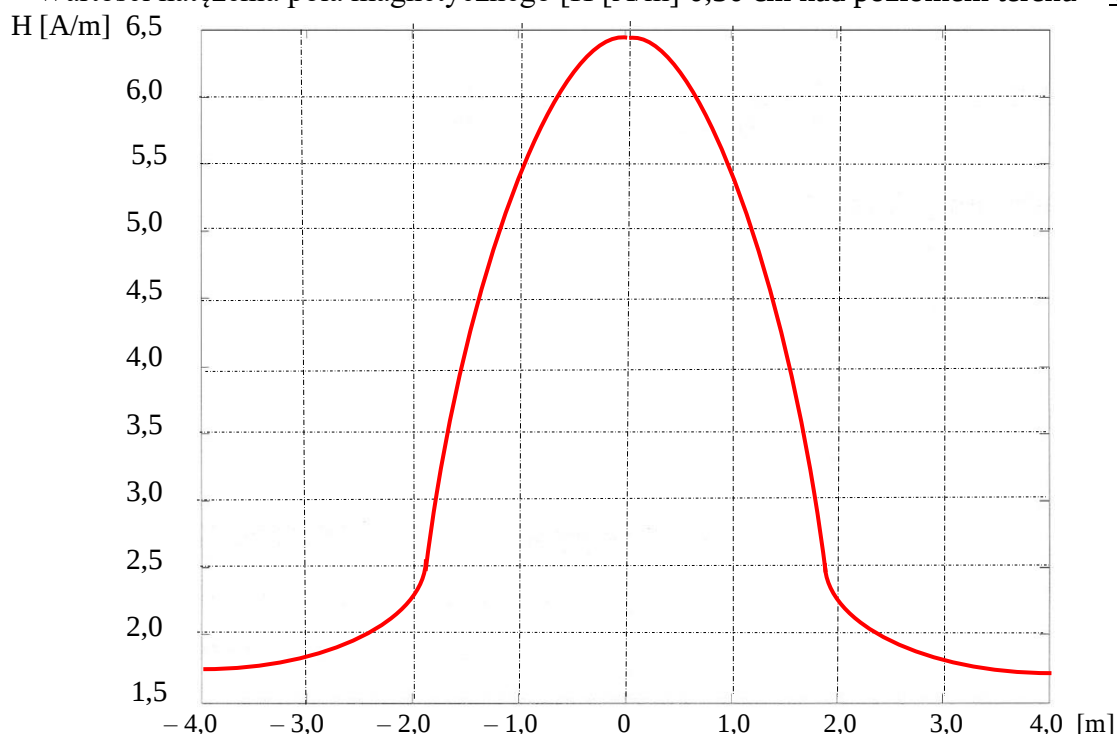
Tabela 13

| Lp. | Odległość od osi linii kablowej 15 kV [ m ] | Wartości natężenia pola elektrycznego po obu stronach od osi linii kabla E [kV/m] | Ustawowy poziom dopuszczalny natężenia pola elektrycznego E [kV/m] | Wartości przekroczeń dopuszczalnego poziomu pola E = 1,0 kV/m |
|-----|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1.  | 0                                           | 0,58                                                                              | 1,0                                                                | brak                                                          |
| 2.  | 1,0                                         | 0,31                                                                              | 1,0                                                                | brak                                                          |
| 3.  | 2,0                                         | 0,12                                                                              | 1,0                                                                | brak                                                          |
| 4.  | 3,0                                         | 0,11                                                                              | 1,0                                                                | brak                                                          |
| 5.  | 4,0                                         | 0,1                                                                               | 1,0                                                                | brak                                                          |

Wykres natężenia pola magnetycznego H wiązki kabla 15 kV na terenie Farmy „Przybrda”

Kabel elektroenergetyczny typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> (układ trójkątny)

Wartości natężenia pola magnetycznego [H [A/m] 0,30 cm nad poziomem terenu Wykres 1 – 3



Wykres 1 – 3: z obliczeń wynika, że natężenia pola magnetycznego H nad ziemią na wysokości h = 0,30 m npt w przekroju poprzecznym wiązki kabla 15 kV przyjmuje wartość maksymalną  $H_{\max} = 6,49$  [A/m]. Dla takiego układu kabla natężenie pola H nie przekracza wielkości ustawowej dopuszczalnego poziomu oddziaływania pola  $H=60$  A/m na powierzchni Farmy „Przybrda” nad linią kablową 15 kV.

Wyniki obliczeń natężenie pola magnetycznego H nad ziemią linii kablowej typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> na wysokości h = 0,30 m n.p.t. nad powierzchnią Farmy „Przybrda” (wykres 1 – 3)

Tabela 14

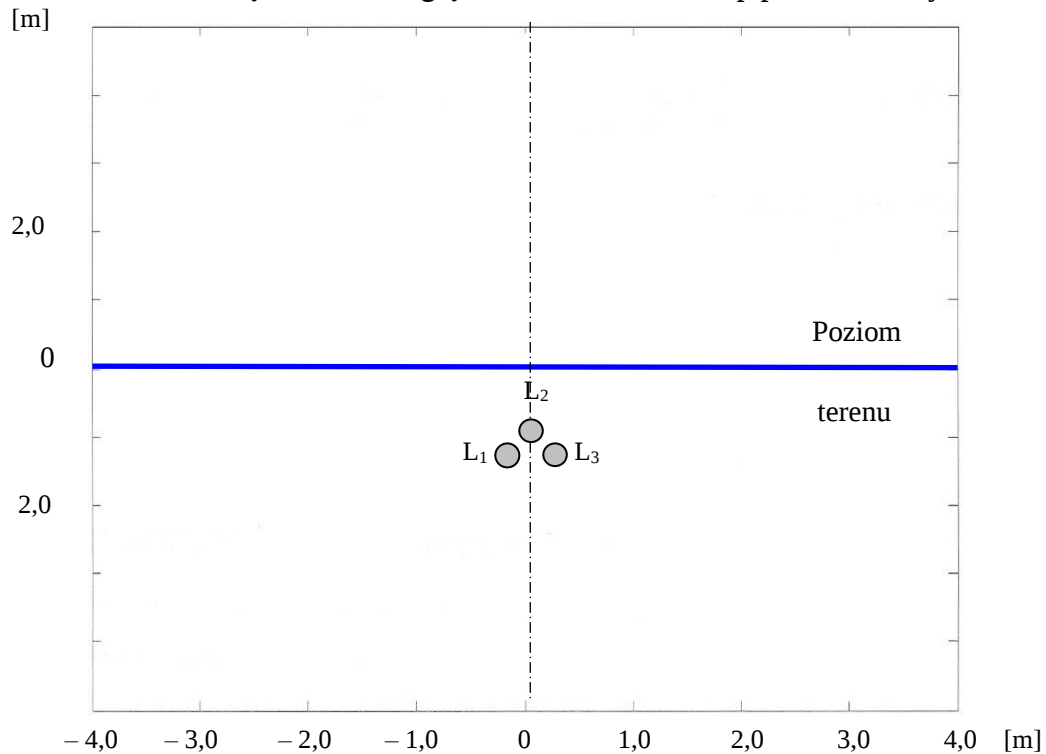
| Lp. | Odległość od osi linii kablowej 15 kV [ m ] | Wartości natężenia pola magnetycznego po obu stronach od osi linii kabla [H [A/m] | Ustawowy poziom dopuszczalny natężenia pola magnetycznego [H [A/m] | Wielkości przekroczeń dopuszczalnego poziomu natężenia [H [A/m] |
|-----|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1.  | 0                                           | 6,48                                                                              | 60                                                                 | brak                                                            |
| 2.  | 1,0                                         | 5,40                                                                              | 60                                                                 | brak                                                            |
| 3.  | 2,0                                         | 2,25                                                                              | 60                                                                 | brak                                                            |
| 4.  | 3,0                                         | 1,8                                                                               | 60                                                                 | brak                                                            |
| 5.  | 4,0                                         | 1,5                                                                               | 60                                                                 | brak                                                            |

Szkic przekroju poprzecznego wiązki kabla podziemnej linii 15 kV na terenie Farmy „Przybrda”

Kabel elektroenergetyczny typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> (układ trójkątny).

Rozmieszczenie wiązki kabla na głębokości 1,0 – 1,20 m p.p.t.

Wykres 2 – 1



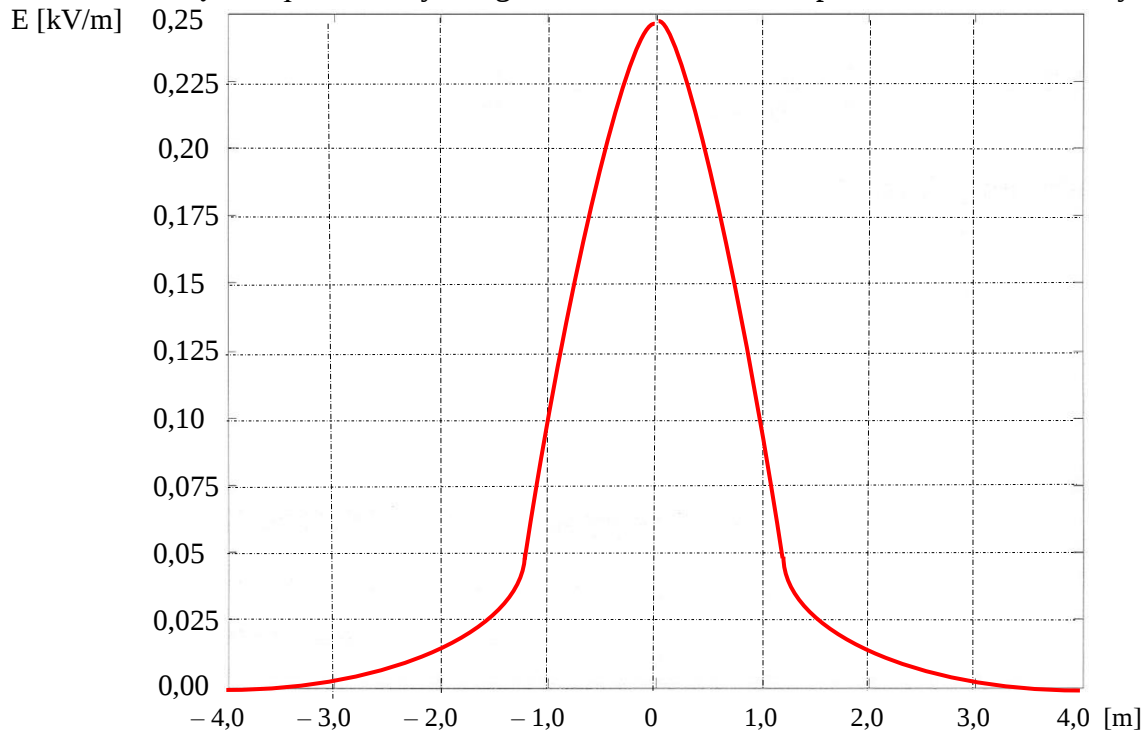
Wykres 1 – 1: układ wiązki kabla typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> w przekroju poprzecznym, gdzie żyły (fazy) ułożone obok siebie w układzie trójkątnym na głębokości 1,0 – 1,20 m p.p.t.

Wykres natężenia pola elektrycznego E wiązki kabla 15 kV na terenie Farmy „Przybrda”

Kabel elektroenergetyczny typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> (układ trójkątny)

Wartości natężenia pola elektrycznego E [kV/m] 1,80 m nad poziomem terenu

Wykres 2 – 2



Wykres 2 – 2: z obliczeń wynika, że natężenie pola E nad ziemią linii na wysokości  $h = 1,80$  m npt w poprzecznym przekroju wiązki kabla 15 kV przyjmuje wartość maksymalną  $E_{\max} = 0,248$  kV/m. Dla takiego układu kabla natężenie E nie przekracza wielkości ustawowej dopuszczalnego poziomu oddziaływania pola  $E = 1,0$  kV/m na powierzchni Farmy „Przybrda” nad linią kablową 15 kV.

Wyniki obliczeń natężenie pola elektrycznego  $E$  nad ziemią linii kablowej typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> na wysokości  $h = 1.80$  m n.p.t. nad powierzchnią Farmy „Przybrda” (wykres 2 – 2)

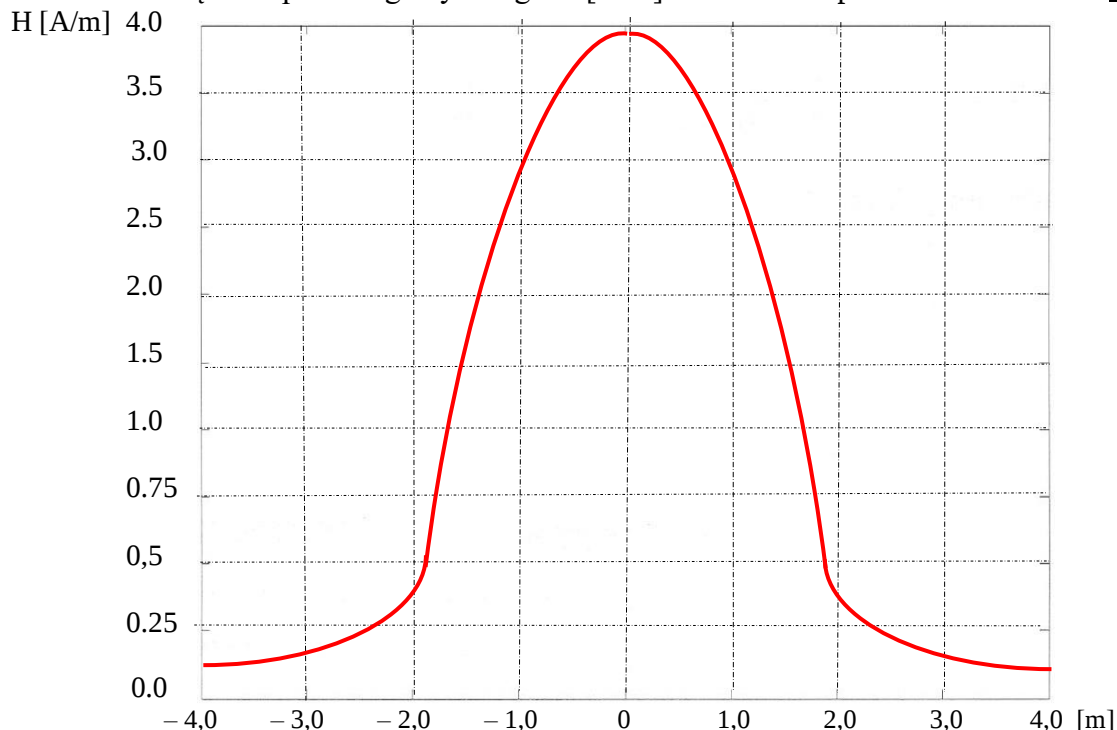
Tabela 15

| Lp. | Odległość od osi linii kablowej 15 kV [ m ] | Wartości natężenia pola elektrycznego po obu stronach od osi linii kabla $E$ [kV/m] | Ustawowy poziom dopuszczalny natężenia pola elektrycznego $E$ [kV/m] | Wartości przekroczeń dopuszczalnego poziomu pola $E = 1,0$ kV/m |
|-----|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1.  | 0                                           | 0,24                                                                                | 1,0                                                                  | brak                                                            |
| 2.  | 1,0                                         | 0,10                                                                                | 1,0                                                                  | brak                                                            |
| 3.  | 2,0                                         | 0,013                                                                               | 1,0                                                                  | brak                                                            |
| 4.  | 3,0                                         | 0,01                                                                                | 1,0                                                                  | brak                                                            |
| 5.  | 4,0                                         | 0,0                                                                                 | 1,0                                                                  | brak                                                            |

Wykres natężenia pola magnetycznego  $H$  wiązki kabla 15 kV na terenie Farmy „Przybrda”

Kabel elektroenergetyczny typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> (układ trójkątny)

Wartości natężenia pola magnetycznego  $H$  [A/m] 1.80 cm nad poziomem terenu Wykres 2 – 3



Wykres 1 – 3: z obliczeń wynika, że natężenia pola magnetycznego  $H$  nad gruntem na wysokości  $h = 1.80$  m n.p.t. w przekroju poprzecznym wiązki kabla 15 kV przyjmuje wartość maksymalną  $H_{\max} = 3.9$  [A/m]. Dla takiego układu kabla natężenie pola  $H$  nie przekracza wielkości ustawowej dopuszczalnego poziomu oddziaływania pola  $H=60$  A/m na powierzchni Farmy „Przybrda” nad linią kablową 15 kV.

Wyniki obliczeń natężenie pola magnetycznego  $H$  nad ziemią linii kablowej typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> na wysokości  $h = 1.80$  m npt nad powierzchnią Farmy „Przybrda” (wykres 2 – 3)

Tabela 16

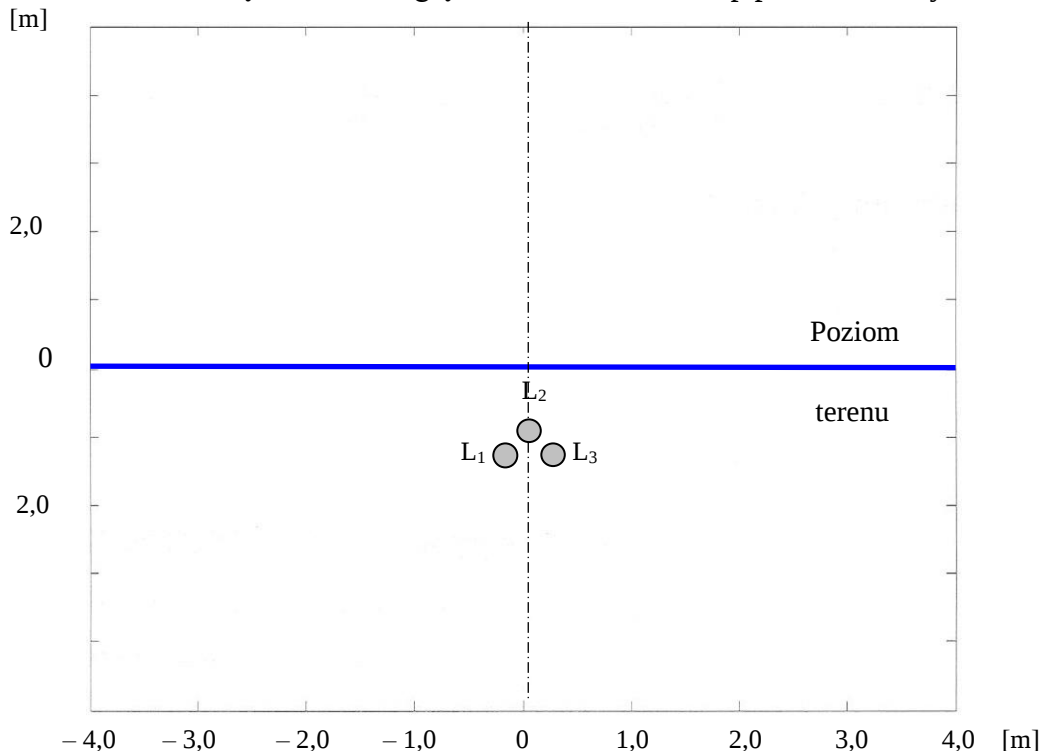
| Lp. | Odległość od osi linii kablowej 15 kV [ m ] | Wartości natężenia pola magnetycznego po obu stronach od osi linii kabla $H$ [A/m] | Ustawowy poziom dopuszczalny natężenia pola magnetycznego $H$ [A/m] | Wielkości przekroczeń dopuszczalnego poziomu natężenia $H$ [A/m] |
|-----|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1.  | 0                                           | 3,9                                                                                | 60                                                                  | brak                                                             |
| 2.  | 1,0                                         | 2,9                                                                                | 60                                                                  | brak                                                             |
| 3.  | 2,0                                         | 0,38                                                                               | 60                                                                  | brak                                                             |
| 4.  | 3,0                                         | 0,13                                                                               | 60                                                                  | brak                                                             |
| 5.  | 4,0                                         | 0,12                                                                               | 60                                                                  | brak                                                             |

Szkic przekroju poprzecznego wiązki kabla podziemnej linii 30 kV na terenie Farmy „Przybrda”

Kabel elektroenergetyczny typ 3xXUHAkXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> (układ trójkątny).

Rozmieszczenie wiązki kabla na głębokości 1,0 – 1,20 m p.p.t.

Wykres 3 – 1



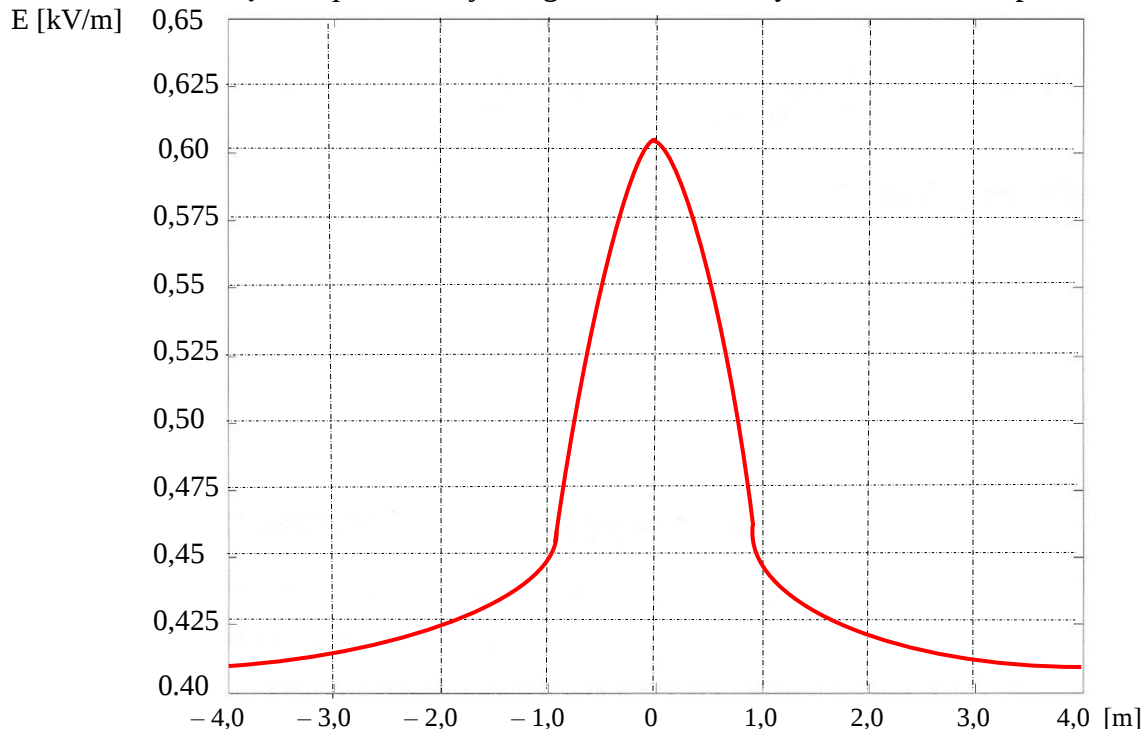
Wykres 2 – 1: układ wiązki kabla typ 3xXRUHKXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> w przekroju poprzecznym, gdzie żyły (fazy) ułożone obok siebie w układzie trójkątnym na głębokości 1,0 – 1,20 m p.p.t.

Wykres natężenia pola elektrycznego E [kV/m] wiązki kabla 30 kV na terenie Farmy „Przybrda”

Kabel elektroenergetyczny typ 3xXRUHKXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> (układ trójkątny)

Wartości natężenia pola elektrycznego E [kV/m] na wysokości 0.30 m n.p.t.

Wykres 3 – 2



Wykres 1 – 2: z obliczeń wynika, że natężenie pola E nad ziemią linii na wysokości  $h = 0.30$  m npt w poprzecznym przekroju wiązki kabla 30 kV przyjmuje wartość maksymalną  $E_{\max} = 0,81$  kV/m. Dla takiego układu kabla natężenie E nie przekracza wielkości ustawowej dopuszczalnego poziomu oddziaływania pola E = 1,0 kV/m na powierzchni Farmy „Przybrda” nad linią kablową 30 kV.

Wyniki obliczeń natężenie pola elektrycznego E nad ziemią linii kablowej typ 3xXRUHKXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> na wysokości h = 0.30 m n.p.t. nad powierzchnią Farmy „Przybrda” (wykres 2 – 3)

Tabela 17

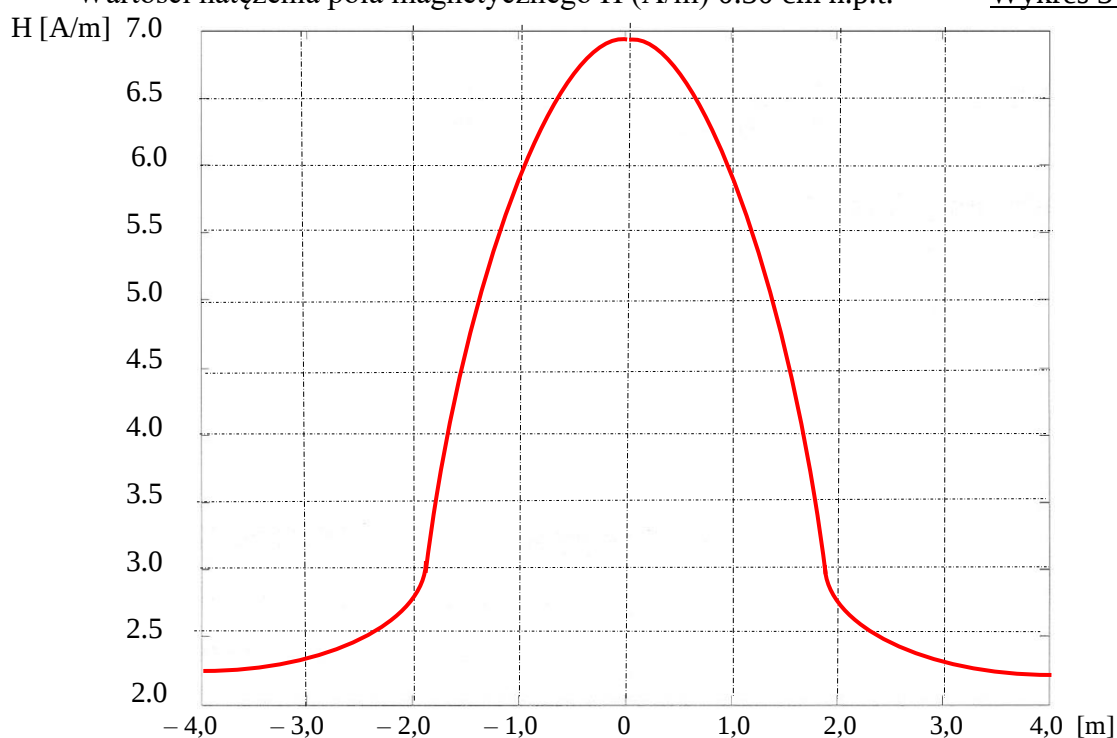
| Lp. | Odległość od osi linii kablowej 15 kV [ m ] | Wartości natężenia pola elektrycznego po obu stronach od osi linii kabla E [kV/m] | Ustawowy poziom dopuszczalny natężenia pola elektrycznego E [kV/m] | Wielkości przekroczeń dopuszczalnego poziomu natężenia E [kV/m] |
|-----|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1.  | 0                                           | 0,62                                                                              | 1,0                                                                | brak                                                            |
| 2.  | 1,0                                         | 0,44                                                                              | 1,0                                                                | brak                                                            |
| 3.  | 2,0                                         | 0,424                                                                             | 1,0                                                                | brak                                                            |
| 4.  | 3,0                                         | 0,412                                                                             | 1,0                                                                | brak                                                            |
| 5.  | 4,0                                         | 0,41                                                                              | 1,0                                                                | brak                                                            |

Wykres natężenia pola magnetycznego H wiązki kabla 30 kV

Kabel elektroenergetyczny typ 3xXRUHAKXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> (układ trójkątny)

Wartości natężenia pola magnetycznego H (A/m) 0.30 cm n.p.t.

Wykres 3 – 3



Wykres 1 – 3: z obliczeń wynika, że natężenia pola magnetycznego H nad ziemią na wysokości h = 0,30 m npt w przekroju poprzecznym wiązki kabla 30 kV przyjmuje wartość maksymalną  $H_{\max} = 7,49$  [A/m]. Dla takiego układu kabla natężenie pola H nie przekracza wielkości ustawowej dopuszczalnego poziomu oddziaływania pola H=60 A/m na powierzchni Farmy „Przybrda” nad linią kablową 30 kV.

Wyniki obliczeń natężenie pola magnetycznego H nad ziemią linii kablowej typ 3xXRUHKXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> na wysokości h = 0.30 m n.p.t. nad powierzchnią Farmy „Przybrda” (wykres 3 – 3)

Tabela 18

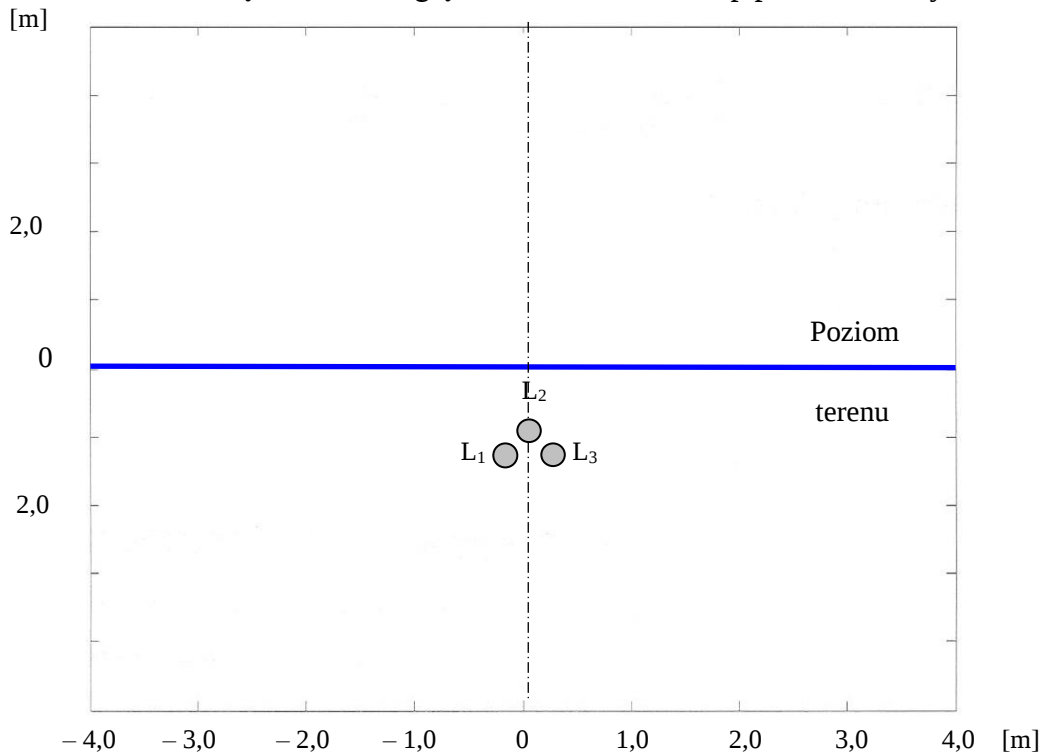
| Lp. | Odległość od osi linii kablowej 15 kV [ m ] | Wartości natężenia pola magnetycznego po obu stronach od osi linii kabla H [A/m] | Ustawowy poziom dopuszczalny natężenia pola magnetycznego H [A/m] | Wielkości przekroczeń dopuszczalnego poziomu natężenia H [A/m] |
|-----|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1.  | 0                                           | 6,9                                                                              | 60                                                                | brak                                                           |
| 2.  | 1,0                                         | 6,0                                                                              | 60                                                                | brak                                                           |
| 3.  | 2,0                                         | 2,75                                                                             | 60                                                                | brak                                                           |
| 4.  | 3,0                                         | 2,3                                                                              | 60                                                                | brak                                                           |
| 5.  | 4,0                                         | 2,2                                                                              | 60                                                                | brak                                                           |

Szkic przekroju poprzecznego wiązki kabla podziemnej linii 30 kV na terenie Farmy „Przybrda”

Kabel elektroenergetyczny typ 3xXUHAkXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> (układ trójkątny).

Rozmieszczenie wiązki kabla na głębokości 1,0 – 1,20 m p.p.t.

Wykres 4 – 1



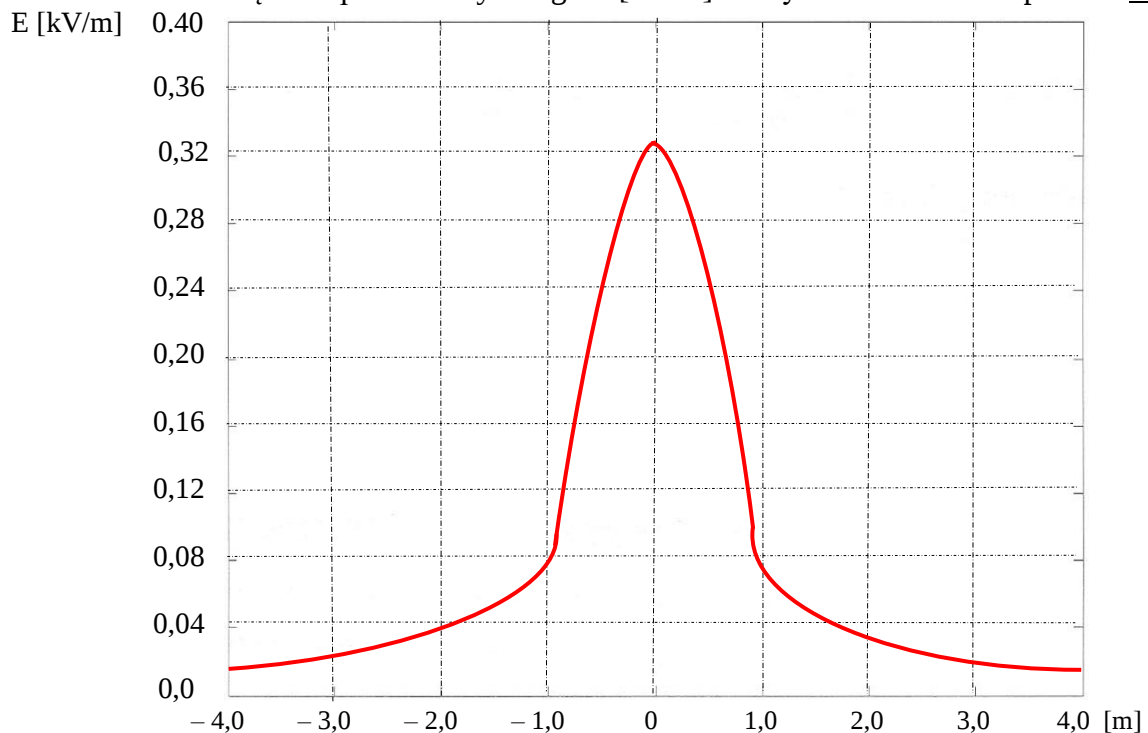
Wykres 4 – 1: układ wiązki kabla typ 3xXRUHKXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> w przekroju poprzecznym, gdzie żyły (fazy) ułożone obok siebie w układzie trójkątnym na głębokości 1,0 – 1,20 m p.p.t.

Wykres natężenia pola elektrycznego E [kV/m] wiązki kabla 30 kV na terenie Farmy „Przybrda”

Kabel elektroenergetyczny typ 3xXRUHKXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> (układ trójkątny)

Wartości natężenia pola elektrycznego E [kV/m] na wysokości 1.80 m n.p.t.

Wykres 4 – 2



Wykres 4 – 2: z obliczeń wynika, że natężenie pola E nad ziemią linii na wysokości  $h = 1.80$  m n.p.t. w poprzecznym przekroju wiązki kabla 30 kV przyjmuje wartość maksymalną  $E_{\max} = 0,33$  kV/m. Dla takiego układu kabla natężenie E nie przekracza wielkości ustawowej dopuszczalnego poziomu oddziaływania pola  $E = 1,0$  kV/m na powierzchni Farmy „Przybrda” nad linią kablową 30 kV.

Wyniki obliczeń natężenie pola elektrycznego  $E$  nad ziemią linii kablowej typ 3xXRUHKXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> na wysokości  $h = 1.80$  m n.p.t. nad powierzchnią Farmy „Przybrda” (wykres 4 – 2)

Tabela 19

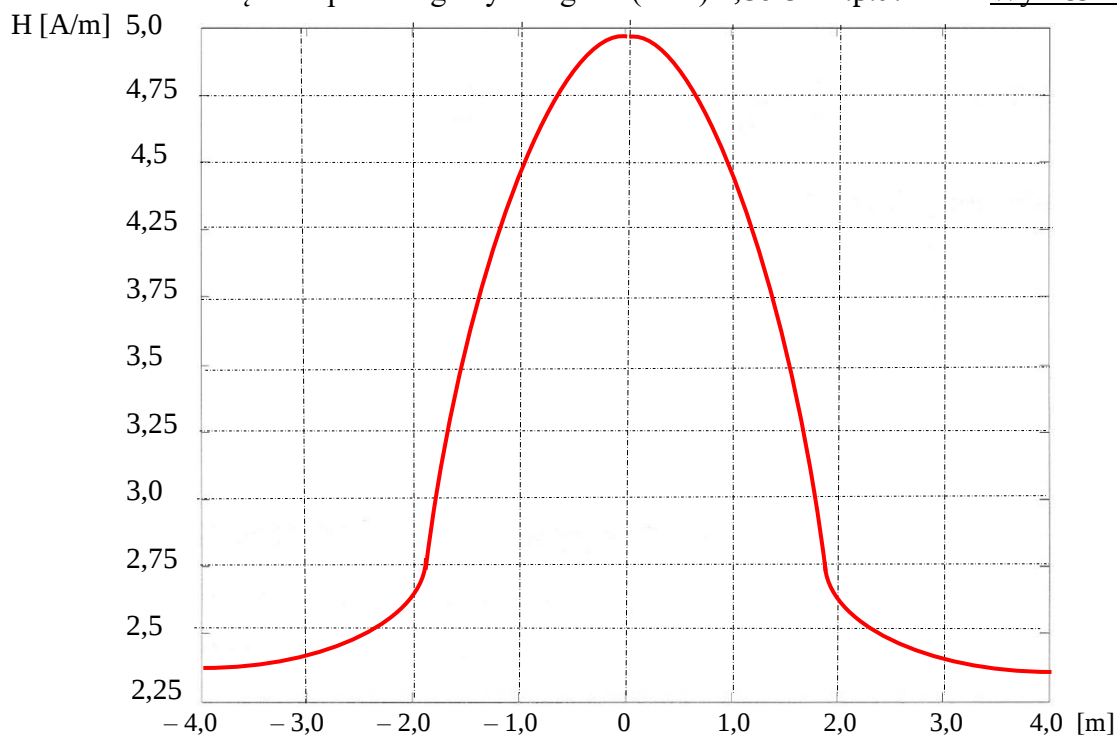
| Lp. | Odległość od osi linii kablowej 15 kV [ m ] | Wartości natężenia pola elektrycznego po obu stronach od osi linii kabla $E$ [kV/m] | Ustawowy poziom dopuszczalny natężenia pola elektrycznego $E$ [kV/m] | Wielkości przekroczeń dopuszczalnego poziomu natężenia $E$ [kV/m] |
|-----|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1.  | 0                                           | 0,33                                                                                | 1,0                                                                  | brak                                                              |
| 2.  | 1,0                                         | 0,075                                                                               | 1,0                                                                  | brak                                                              |
| 3.  | 2,0                                         | 0,038                                                                               | 1,0                                                                  | brak                                                              |
| 4.  | 3,0                                         | 0,020                                                                               | 1,0                                                                  | brak                                                              |
| 5.  | 4,0                                         | 0,017                                                                               | 1,0                                                                  | brak                                                              |

Wykres natężenia pola magnetycznego  $H$  wiązki kabla 30 kV

Kabel elektroenergetyczny typ 3xXRUHAKXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> (układ trójkątny)

Wartości natężenia pola magnetycznego  $H$  (A/m) 1,80 cm n.p.t .

Wykres 4 – 3



Wykres 4 – 3: z obliczeń wynika, że natężenia pola magnetycznego  $H$  nad ziemią na wysokości  $h = 0,30$  m n.p.t. w przekroju poprzecznym wiązki kabla 30 kV przyjmuje wartość maksymalną  $H_{\max} = 4.9$  [A/m]. Dla takiego układu kabla natężenie pola  $H$  nie przekracza wielkości ustawowej dopuszczalnego poziomu oddziaływania pola  $H=60$  A/m na powierzchni Farmy „Przybrda” nad linią kablową 30 kV.

Wyniki obliczeń natężenie pola magnetycznego  $H$  nad ziemią linii kablowej typ 3xXRUHKXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> na wysokości  $h = 1.80$  m npt nad powierzchnią Farmy „Przybrda” (wykres 4 – 3)

Tabela 20

| Lp. | Odległość od osi linii kablowej 15 kV [ m ] | Wartości natężenia pola magnetycznego po obu stronach od osi linii kabla $H$ [A/m] | Ustawowy poziom dopuszczalny natężenia pola magnetycznego $H$ [A/m] | Wielkości przekroczeń dopuszczalnego poziomu natężenia $H$ [A/m] |
|-----|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1.  | 0                                           | 4,9                                                                                | 60                                                                  | brak                                                             |
| 2.  | 1,0                                         | 4,48                                                                               | 60                                                                  | brak                                                             |
| 3.  | 2,0                                         | 2,63                                                                               | 60                                                                  | brak                                                             |

|    |     |      |    |      |
|----|-----|------|----|------|
| 4. | 3,0 | 2,38 | 60 | brak |
| 5. | 4,0 | 2,36 | 60 | brak |

### 10.3. Wnioski z symulacji badań i komputerowych obliczeń i pomiarów poziomu PEM

- (1) Analiza obliczeń poziomu PEM sporządzona w oparciu o symulacje komputerowe APEM/2000 oraz wykorzystane badania i pomiary poziomu PEM w ww. obiektach OZE wykazały, iż są one optymalne i przydatne, szybkie w działaniach i skuteczne dla uzyskania realnych ocen i obrazów graficznych oddziaływań planowanej Farmy „Przybrda” wraz z elektroenergetyczną infrastrukturą techniczną, głównie źródeł PEM – urządzeń i instalacji PV i podziemnego przyłącza kablowego,
- (2) Uwzględniając założone i uzyskane wyniki wartości poziomów PEM na terenie farmy „Przybrda” w wariantcie proponowanym przez inwestora przy współpracy projektantów i ekspertów technicznych kilku branż stwierdzono, iż występują minimalne wpływy tych pól. Wprowadzone na bieżąco korzystne zmiany w usytuowaniu i doborze nowoczesnych rozwiązań technicznych i typów urządzeń i instalacji PV pod względem ograniczenia wpływu PEM na otoczenie chronionych obszarów zabudowy mieszkaniowej i miejsc dostępnych dla ludności. W trakcie badań środowiskowych spowodowały one obniżenie wielkości poziomów natężeń  $E$  [kV/m] i  $H$  [A/m], co skutecznie eliminuje wpływ PEM przekraczający normy w otaczającym środowisku i ludzi. Obrazują to przekonujące wyniki analiz parametrów PEM urządzeń i instalacji PV oraz optymalne dane użytkowe dla zainteresowanych społeczności lokalnych. Wykorzystano je do porównań wielkości w zbiorczych tabelach 1, 13 – 20 i 21 z wynikami grafiki izopem na rys. W-1, W-2, W-3 i na wariantowych wykresach 1-1 do 1-4, 2-1 do 2-4, 3-1 do 3-4, 4-1 do 4-4,
- (3) Przesłanie energii elektrycznej generowanej w panelach PV, inwerterach, stringach, stacjach transformatorowych (ST) i magazynach energii Farmy „Przybrda” do Krajowej Sieci Elektroenergetycznej poprzez odległy o 1,70 km GPZ 15/110 kV (30/110 kV) przewiduje się elektroenergetycznym podziemnym przyłączem – linią kablową 15 kV lub 30 kV. Przeanalizowane 4 warianty obliczeń wpływu PEM o częstotliwości  $f = 50$  Hz linii kablowej na wymaganych poziomach odniesienia badań na wysokości  $h = 0,30$  m i  $h = 1,80$  m n.p.t.,
- (4) W ocenie badań parametrów oddziaływań PEM o częstotliwości  $f = 50$  (Hz) brano pod uwagę przede wszystkim decydującą rolę oddziaływań składowej elektrycznej pola  $E$  [kV/m], bowiem składowa magnetyczna  $H$  [A/m] generowana przez te same źródła i w tych samych punktach obserwacji, nie powoduje praktycznie istotnych negatywnych reakcji,
- (5) Wprawdzie podziemna linia kablowa 15 kV lub 30 kV nie powinna generować znaczącego pola elektrycznego  $E$  [kV/m] z uwagi na ekranujące działanie żyły powrotnej a kablu, ale jest istotnym źródłem pola magnetycznego  $H$  [A/m]. Współ z innymi źródłami Farmy ma ważne znaczenie skumulowane i dlatego wymaga wariantowej analizy i oceny oddziaływań na chronione środowisko. Linia układana w ziemi w wykopie na głębokości do 1,20 m jako element instalacji niewidoczny na powierzchni terenu jest najczęściej przez projektantów pomijany w aspekcie wpływu PEM na środowisko. Konfiguracja i sposób ułożenia linii kablowej SN w ziemi ma istotny wpływ na rozkład PEM, w szczególności natężenie pola  $H$ , zwłaszcza w otoczeniu ilości urządzeń i instalacji PV, kumulujących oddziaływania PEM. To przyłącze SN będzie miało długość około 3,2 km na terenie farmy w miejscu niedostępnym dla osób postronnych jak inne urządzenia i instalacje PV,
- (6) Wartości składowej elektrycznej pola  $E$  [kV/m] i magnetycznej pola  $H$  [A/m] nie przekraczają wielkości dopuszczalnych PEM  $E_0$  [kV/m] i  $H_0$  [A/m] na wysokościach 0,3 m n.p.t. i 1,8 m n.p.t., określonych w pkt.II.5.2. Sieć kablowa SN generująca poziom PEM na tyle niski, że nie zagraża zdrowiu ludzi i organizmom zwierząt. Wyznaczony prognozą rozkład PEM wokół linii kablowej 15 kV i 30 kV według programu APEM/2000 przedstawiono poniżej w 4 wariantach na 12

wykresach 1– 1 do 1–4, 2–1 do 2–4, 3–1 do 3–4, 4– 1 do 4–4. Maksymalne wartości  $E_{\max}$  [kV/m] są 2 – 5-krotnie mniejsze od wielkości dopuszczalnych  $E_0$  [kV/m], a wartości  $H_{\max}$  są aż 12 – 15-krotnie mniejsze od wielkości dopuszczalnych  $H_0$  [A/m]. Zatem wpływ podziemnego przyłącza kablowego nie kumuluje oddziaływań PEM innych w pobliżu źródeł i nie powoduje interakcji w utrzymaniu standardów jakości środowiska wokół planowanej Farmy „Przybrda”,

(7) Wyniki analiz obliczeń oddziaływań PEM emitowanych urządzeń i instalacji PV są następujące:

- ✎ Kontenerowe stacje transformatorowe ST – każda z do 80 stacji wyposażona w rozdzielnie nn 0,4 kV lub 0,8 kV i SN oraz do 2 transformatorowe komory. Do podwyższenia napięcia wytwarzanego przez inwertery do napięcia sieci przesyłowej KSE zastosowane zostaną transformatory. Maksymalne parametry i dane wpływu PEM na terenie Farmy „Przybrda” w porównaniu do dopuszczalnych  $E_0 = 1,0$  [kV/m] i  $H_0 = 60$  [A/m] wynoszą:

$$E_{\max} = 0,33 \text{ [kV/m]} \text{ i } H_{\max} = 19,3 \text{ [A/m]} \quad [ 29 ]$$

$$E_{\max}/E_0 = 33 \% - 3,1\text{-krotnie mniejsze i } H_{\max}/H_0 \approx 32 \% - 3,1\text{-krotnie mniejsze}$$

- ✎ Inwertery, panele i stringi jako wydzielone obwody elektryczne służą do zamiany prądu stałego, generowanego w ogniwach PV, na prąd zmienny kierowany do kontenerowych stacji transformatorowych ST. Wyniki wpływu PEM przedstawiają się następująco:

$$E_{\max} = 0,21 \text{ [kV/m]} \text{ i } H_{\max} = 18,9 \text{ [A/m]} \quad [ 30 ]$$

$$E_{\max}/E_0 = 21 \% - 4,8\text{-krotnie mniejsze i } H_{\max}/H_0 \approx 31,5 \% - 3,2\text{-krotnie mniejsze}$$

- ✎ Kontenerowe magazyny energii KME – każdy 96 szt. składa się z 1 stacji transformatorowej STS, 10 kontenerów z bateriami ESS i 30 inwerterów PCS. Zainstalowanie będą na poziomie nowoczesnej technologii dużych zespołów akumulatorów. Dzięki magazynowaniu energii stanowią ważne elementy racjonalnego gospodarowania energią elektryczną i zwiększają bezpieczeństwo energetyczne. Wyniki wpływu PEM są następujące:

$$E_{\max} = 0,19 \text{ [kV/m]} \text{ i } H_{\max} = 18,0 \text{ [A/m]} \quad [ 31 ]$$

$$E_{\max}/E_0 = 19 \% - 5,3\text{-krotnie mniejsze i } H_{\max}/H_0 \approx 30 \% - 3,3\text{-krotnie mniejsze}$$

- ✎ Elektroenergetyczne podziemne przyłącze kablowe – przetworzona w farmie energia światła słonecznego na energię elektryczną czyli generowanie prądu elektrycznego przy wykorzystaniu zjawiska fotowoltaicznego PV będzie przesyłany przyłączem – podziemną linią kablową 15 kV lub 30 kV wpięty do GPZ 15/110 kV lub 30/110 kV, zlokalizowanego poza terenem farmy do KSE. Wariantowe analizy tej linii w 4 wersjach badanych na wysokości  $h = 1,80$  m n.p.t. na terenie Farmy „Przybrda” wykazały maksymalne natężenia PEM:

- linia kablowa 15 kV – typ 3xXRUHKXS 8,7/15 kV 240 mm<sup>2</sup> dla  $h = 1,80$  m n.p.t.:

$$E_{\max} = 0,24 \text{ [kV/m]} \text{ i } H_{\max} = 3,9 \text{ [A/m]} \quad [ 32 ]$$

$$E_{\max}/E_0 = 24 \% - 4,2\text{-krotnie mniejsze i } H_{\max}/H_0 \approx 6,5 \% - 15,4\text{-krotnie mniejsze}$$

- linia kablowa 30 kV – typ 3xXRUHKXS 18/30 kV 240 mm<sup>2</sup> dla  $h = 1,80$  m n.p.t.:

$$E_{\max} = 0,33 \text{ [kV/m]} \text{ i } H_{\max} = 4,9 \text{ [A/m]} \quad [ 33 ]$$

$$E_{\max}/E_0 = 33 \% - 3,3\text{-krotnie mniejsze i } H_{\max}/H_0 \approx 8,2 \% - 12,2\text{-krotnie mniejsze}$$

(8) Podsumowując maksymalne wartości wyników obliczeń oddziaływań PEM urządzeń i instalacji PV na terenie Farmy „Przybrda” potwierdzono następujące enumeratywne argumenty analizy:

- ⊗ największy udział w interakcji PEM farmy mają: kontenerowe stacje transformatorowe ST – maksymalne wartości  $E_{\max}/E_0 = 33 \%$  i  $H_{\max}/H_0 \approx 32 \%$  oraz przyłącze podziemnej linii kablowej, a najmniejszy kontenerowe magazyny energii –  $E_{\max}/E_0 = 19 \%$  i  $H_{\max}/H_0 \approx 30 \%$ ,
  - ⊗ łączne wpływy PEM farmy w granicach terenu obiektu to wielkości kilkakrotnie mniejsze od wartości ustawowo dopuszczalnych  $E_0$  [kV/m] i  $H_0$  [A/m] odpowiednio wynoszą:
    - wewnątrz terenu –  $E_{\max} = 0,36$  [kV/m] i  $H_{\max} = 19,3$  [A/m], więc 3-krotnie i 3,1-krotnie,
    - na granicy terenu –  $E_{\max} = 0,20$  [kV/m] i  $H_{\max} = 15,6$  [A/m], więc 5-krotnie i 3,8-krotnie,
    - poza granicą terenu –  $E_{\max} = 0,16$  [kV/m] i  $H_{\max} = 8,0$  [A/m], więc 6-krotnie i 7,5-krotnie,
- (9) Przedstawione rezultaty analiz obliczeń potwierdzają, iż przekroczenia dopuszczalnych wielkości  $E_0$  i  $H_0$  na granicy terenu Farmy „Przybrda” nie występują, są kilkakrotnie mniejsze i nie ma zagrożeń dla ludzi w zabudowie mieszkaniowej i w miejscach dostępnych dla ludności.

Tabela 21

| <p>Wyniki analizy obliczeń poziomów natężenia pól elektrycznych <math>E</math> [kV/m] i magnetycznych <math>H</math> [A/m] PEM wg [II.5], [II.10] na terenach mieszkaniowej zabudowy jednorodzinnej, zagrodowej, wielorodzinnej w funkcji minimalnych odległości <math>d_{\min}</math>[m] od granicy terenu planowanej Farmy „Przybrda” wraz z oddziaływaniem PEM stacji transformatorowych, inwerterów, paneli, springów, kontenerowych magazynów energii i podziemnej linii kablowej 15 kV (30 kV).</p> <p>Ustawowe wielkości dopuszczalne poziomów natężenia pól elektrycznych nie są przekroczone <math>E_0 = 1</math> [kV/m] i magnetycznych <math>H_0 = 60</math> [A/m] w żadnej strefie ochrony zabudowy mieszkaniowej ani w miejscach dostępnych dla ludności <math>E_0 = 10</math> [kV/m] i <math>H_0 = 60</math> [A/m]. Ostateczne maksymalne wyniki <math>E_{\max}</math> i <math>H_{\max}</math> przyjmują wartości znacznie mniejsze od ostrych wymagań. Zatem zachowane są ustawowe standardy emisji PEM w środowisku obrębu Biała (rys. W-1, rys. W-2, rys. W-3).</p> |                                            |                                     |                                    |                                           |                                     |                                    |                                             |                                     |                                    |                                                            |                                     |                                    |                                                         |                                               |                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Strefy zabudowy mieszkaniowej – jednorodzinna, wielorodzinna zagrodowa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Granice ogrodzenia terenu Farmy „Przybrda” |                                     |                                    | Kontenerowe stacje transformatorowe – STS |                                     |                                    | Kontenerowe modułowe magazyny energii – KME |                                     |                                    | Inwertery, panele, stringi – wydzielone obwody elektryczne |                                     |                                    | Elektroenergetyczna podziemna linia kablowa 15 kV/30 kV |                                               |                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $d_{\min}$ [m]                             | $E_{1\max}$ [kV/m]<br>$E_1/E_0$ [%] | $H_{1\max}$ [A/m]<br>$H_1/H_0$ [%] | $d_{\min}$ [m]                            | $E_{2\max}$ [kV/m]<br>$E_2/E_0$ [%] | $H_{2\max}$ [A/m]<br>$H_2/H_0$ [%] | $d_{\min}$ [m]                              | $E_{3\max}$ [kV/m]<br>$E_3/E_0$ [%] | $H_{3\max}$ [A/m]<br>$H_3/H_0$ [%] | $d_{\min}$ [m]                                             | $E_{4\max}$ [kV/m]<br>$E_4/E_0$ [%] | $H_{4\max}$ [A/m]<br>$H_4/H_0$ [%] | $d_{\min}$ [m]                                          | $E_{5\max}$ [kV/m]<br>1.80 m<br>$E_1/E_0$ [%] | $H_{5\max}$ [A/m]<br>1.80 m<br>$H_1/H_0$ [%] |
| <b>A.</b> kierunek E do jeziora Bielsko – dwa domy jednorodzinne                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 24<br>25                                   | 0,15<br>do 0,19<br>< 19 %           | 11,6<br>do 16,9<br>< 28 %          | 140                                       | 0,13<br>do 0,19<br>< 18,9 %         | 8,8<br>do 10<br>< 15,8 %           | 710                                         | 0,11<br>do 0,18<br>< 18 %           | 8,5<br>do 9,4<br>< 15,6 %          | 80                                                         | 0,15<br>do 0,19<br>< 19 %           | 11,6<br>do 16,9<br>< 28 %          | 50                                                      | 0,24/0,33<br>< 24%<br>/33%                    | 3,9/4,9<br>< 6,5%<br>/8,2%                   |
| <b>B.</b> kierunek SE do m. Jeziernik – zagrodowa, jednorodzinna                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 157                                        | 0,102<br>do 0,106<br>< 11 %         | 8,9<br>do 9,9<br>< 16,5 %          | 380                                       | 0,19<br>do 0,33<br>< 3,0 %          | 8,5<br>do 9,1<br>< 15,1 %          | 1050                                        | 0,09<br>do 0,19<br>< 19 %           | 8,3<br>do 8,8<br>< 14,7 %          | 320                                                        | 0,102<br>do 0,106<br>< 11 %         | 8,9<br>do 9,9<br>< 16,5 %          | 190                                                     | 0,24/0,33<br>< 24%<br>/33%                    | 3,9/4,9<br>< 6,5%<br>/8,2%                   |
| <b>C.</b> kierunek W do m. Biała – zagrodowa i jednorodzinna                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 343                                        | 0,10<br>do 0,21<br>< 21 %           | 10,0<br>do 18,9<br>< 31,5%         | 420                                       | 0,165<br>do 0,19<br>< 18,9 %        | 10,6<br>do 19,3<br>< 31,0%         | 560                                         | 0,155<br>do 0,18<br>< 18 %          | 10,1<br>do 18<br>< 30,0 %          | 370                                                        | 0,10<br>do 0,21<br>< 21 %           | 10,0<br>do 18,9<br>< 31,5%         | 450                                                     | 0,24/0,33<br>< 24%<br>/33%                    | 3,9/4,9<br>< 6,5%<br>/8,2%                   |
| <b>D.</b> kierunek W do m. Przybrda – zagrodowa i jednorodzinna                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 334                                        | 0,10<br>do 0,20<br>< 20 %           | 9,6<br>do 11,6<br>< 19 %           | 430                                       | 0,11<br>do 0,18,5<br>< 18,5 %       | 9,6<br>do 11,6<br>< 19 %           | 1060                                        | 0,10<br>do 0,18<br>< 18 %           | 9,4<br>do 11,2<br>< 18,6 %         | 370                                                        | 0,10<br>do 0,20<br>< 20 %           | 9,6<br>do 11,6<br>< 19 %           | 380                                                     | 0,24/0,33<br>< 24%<br>/33%                    | 3,9/4,9<br>< 6,5%<br>/8,2%                   |
| <b>E.</b> kierunek SW do m. Przybrda – po d. PGR wielorodzinna, zagrodowa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 469                                        | 0,06<br>do 0,10<br>< 10 %           | 9,1<br>do 11,0<br>< 18 %           | 540                                       | 0,10<br>do 0,18<br>< 18,9 %         | 9,1<br>do 11,0<br>< 18 %           | 1180                                        | 0,09<br>do 0,17<br>< 17 %           | 8,9<br>do 10,4<br>< 17,3 %         | 510                                                        | 0,06<br>do 0,10<br>< 10 %           | 9,1<br>do 11,0<br>< 18 %           | 500                                                     | 0,24/0,33<br>< 24%<br>/33%                    | 3,9/4,9<br>< 6,5%<br>/8,2%                   |

### 11. Skumulowane oddziaływania PEM

Przez potencjalnie synergiczne oddziaływania skumulowane rozumie się połączenie szeregu wpływów pochodzących z pojedynczych lub zespołów obiektów czy urządzeń i instalacji, mogących wywierać na środowisko skutki łączne związane z realizacją przedsięwzięć. Zgodnie z wytycznymi metodycznymi art. 6(3) i (4) Dyrektywy Siedliskowej Nr 92/43/EWG z dnia 21.05.1992 roku, zidentyfikowano wszystkie możliwe interakcje PEM przedmiotowego terenu planowanej Farmy „Przybrda” wraz z innymi istniejącymi turbinami wiatrowymi i planowanymi elektrowniami fotowoltaicznymi i instalacjami PV, z punktu widzenia ich łącznego wpływu PEM na podstawowe elementy środowiska. Chodzi o chronione tereny zabudowy mieszkaniowej i miejsc dostępnych dla ludności w najbliższym otoczeniu chronionej zabudowy jednorodzinnej, wielorodzinnej i zagrodowej m. Biała, Przybrda, Jeziernik. Graficzny obraz interakcji PEM przedstawiono na rys. W-3.

Oddziaływania na środowisko planowanej farmy fotowoltaicznej „Przybrda” nie kumulują synergiczne interakcje otaczających eksploatowanych i planowanych przedsięwzięć, z których główne czynniki wpływu PEM stanowią następujące obiekty i instalacje jak:

- (1) Eksploatowane elektrownie wiatrowe (EW) Biały Bór – charakterystyka urządzeń i instalacji oraz źródeł generowania oddziaływań PEM i wielkości wpływu E [kV/m] i H [A/m] są następujące:
  - ▲ 42 turbiny wiatrowe Vestas V126 3,45, moc znamionowa 3,45 MW, przekładnia 3 stopniowa,
  - ▲ produkcja Vestas Wind Systems A/S, Dania,
  - ▲ średnica wirnika 126 m, powierzchnia zataczana przez łopaty wirnika  $S = 12\,469\text{ m}^2$ ,
  - ▲ turbina z 3 łopatami wirnika, częstotliwość sieciowa  $f = 50\text{ Hz}$ , wysokość wieży  $h = 117\text{ m}$ .

Główne źródła PEM elektrowni wiatrowych to generatory turbin oraz transformatory wyjściowe. Według danych technicznych producenta Vestas Wind Systems wszystkie elementy turbin pracują na niskim napięciu  $U = 690\text{ V}$ , a na wyjściu transformatora na napięciu średnim  $U = 20\text{ kV}$ , które linią kablową jest przekazywane do stacji abonenckiej GPZ 20/110 kV. Turbiny wyposażono w generatory o relatywnie niskiej mocy 2640 kVA oraz transformatory o mocy 3800 kVA w gondoli na wieży o dużej wysokości 117 m n.p.t., stąd ich wpływ na wielkości PEM mierzone niżej na poziomie gruntu na wysokości 1,8 m. Należy zwrócić uwagę na istotny fakt, że wymienione źródła PEM znajdują się wewnątrz gondoli, stanowiącej zamkniętą przestrzeń otoczoną szczelną obudową w postaci metalowego przewodnika o właściwościach ekranujących. W konsekwencji powoduje znaczący spadek wartości PEM natężenia elektrycznego E i magnetycznego H na zewnątrz obudowy, a na poziomie gruntu na wysokości 1,8 m do wartości pomijalnych. Przyjmując uproszczenia i założenia, np. bez ekranującej roli obudowy gondoli, można w przybliżeniu określić poziom natężenia PEM, generowanego przez elementy turbin. Pole wytworzone przez generator to pole o częstotliwości  $f = 100\text{ Hz}$ , natomiast pole generowane przez transformator ma częstotliwość  $f = 50\text{ Hz}$ . Na podstawie analizy PEM przedstawiono wyniki obliczeń wypadkowych wartości natężenia składowych E i H w funkcji odległości od gondoli turbiny – źródeł PEM, które podano niżej w tabeli 22.

Wartości natężenia PEM w funkcji odległości od gondoli turbiny na wysokości wieży  $h = 126\text{ m n.p.t.}$

Tabela 22

| Odległość od gondoli<br>– generatora i<br>transformatora na<br>wysokości 126 m npt<br>[m] | Natężenie pola<br>elektrycznego<br>$E_{\max}$ [kV/m] | Natężenie pola<br>magnetycznego<br>$H_{\max}$ [A/m] | Wielkości<br>dopuszczalne |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------|----------------|
|                                                                                           |                                                      |                                                     | $E_0$<br>[kV/m]           | $H_0$<br>[A/m] |
| 0                                                                                         | 0,10                                                 | 55                                                  | 1                         | 60             |

|                             |      |     |   |    |
|-----------------------------|------|-----|---|----|
| 15                          | 0,08 | 40  | 1 | 60 |
| 35                          | 0,07 | 15  | 1 | 60 |
| 50                          | 0,06 | 10  | 1 | 60 |
| 80                          | 0,05 | 7,5 | 1 | 60 |
| 105                         | 0,03 | 4,6 | 1 | 60 |
| 126 $\Rightarrow$ 1,8 m npt | 0,02 | 2,6 | 1 | 60 |

Na podstawie wyników analizy PEM gondoli turbiny podanej w tabeli 22 ocena jest następująca:

- ▲ w miarę zwiększenia odległości od gondoli turbin – źródeł PEM maleją wartości  $E_{\max}$  i  $H_{\max}$  do odległości 126 m równej z poziomem 1,8 m npt w strefie dostępności ludzi przy wieży turbin,
- ▲ występujące wartości  $E_{\max}$  i  $H_{\max}$  w tej strefie przy wieży i przy GPZ np. pracujący rolnik w polu w strefie do 10 m licząc od podstawy wieży i od GPZ wynoszą jak w zależności [ 34 ] i [ 35 ],
- ▲ podczas eksploatacji turbin wiatrowych oddziaływanie PEM występuje, lecz ich wpływ na ludzi i faunę na poziomie terenu jest pomijalny, podobnie jak skumulowany na Farmę „Przybrda”.

Wielkości generowanych oddziaływań PEM od pracy 42 turbin wiatrowych wynoszą (Rys. W-3):

$$E_{\max} = 0,05 \text{ [kV/m]} \quad \text{ i } \quad H_{\max} = 2,6 \text{ [A/m]} \quad [ 34 ]$$

$E_{\max}$  – 20 razy mniejsza od dopuszczalnej  $E_0 = 1 \text{ kV/m}$  i  $H_{\max}$  – 23 razy mniejsza od dopuszczalnej  $H_0 = 60 \text{ A/m}$  dla wymagań ochrony zabudowy mieszkaniowej,

Wielkość generowanych interakcji PEM pracy stacji GPZ 15/110 kV (30/110 kV) wynosi (Rys.W-3):

$$E_{\max} = 0,3 \text{ [kV/m]} \quad \text{ i } \quad H_{\max} = 8,0 \text{ [A/m]} \quad [ 35 ]$$

$E_{\max}$  – 3-krotnie mniejsza od dopuszczalnej  $E_0 = 1 \text{ kV/m}$  i  $H_{\max}$  – 7,5 razy mniejsza od dopuszczalnej  $H_0 = 60 \text{ A/m}$  dla wymagań ochrony zabudowy mieszkaniowej.

Ww. wielkości  $E_{\max}$  i  $H_{\max}$  wykazały, iż skumulowane wpływy łączne PEM pracujących 42 turbin wiatrowych i stacji GPZ 15 kV (30 kV) na Farmę „Przybrda” w odległości  $d \geq 1010 \text{ m}$  są pomijalne.

Oddziaływania PEM turbin wiatrowych bezpośrednie i pośrednie, wtórne i skumulowane, krótkotrwałe, średnio i długoterminowe, stałe i chwilowe przedstawiają się następująco:

- ▲ eksploatowane 42 turbiny wiatrowe (EW) nie powodują negatywnego skumulowanego wpływu PEM na otoczenie wraz z sąsiednimi planowanymi farmami fotowoltaicznymi B, C, D, E. Zmiany środowiska wywołane pracą turbin nie dotyczą PEM, mogą np. ingerować w krajobraz,
- ▲ jednak zmiany środowiska emisji PEM nie powodują przekroczeń dopuszczalnych polskim prawem standardów jakości środowiska PEM, zarówno w porze dnia jak i nocy, a występują tu tylko minimalnie na terenach niezamieszkałych, zatem nie ma interakcji na człowieka i na faunę,
- ▲ wpływy bezpośrednie i pośrednie – związane z eksploatacją i likwidacją przedsięwzięcia. Bezpośrednie skutki środowiskowe wpływu turbin na klimat PEM – wzrost wartości  $E_{\max}$  i  $H_{\max}$  nie nastąpi ani w terenie elektrowni EW ani tym bardziej poza nim. Brak wpływu pośredniego,

- ▲ interakcje wtórne i skumulowane – to skutki wpływające na środowisko, populację, rozwój gospodarczy, zagospodarowanie przestrzenne i inne skutki ekologiczne np. awarii związane z naprawą lub wymianą turbin. Nie wynikają także z późniejszych dodatkowych realizacji związanych z modernizacją obiektu czy serwisem zgodnie z obowiązującymi przepisami,
- ▲ oddziaływania stałe i chwilowe – część z nich zanika w momencie usunięcia przyczyn ich wywołania uszkodzeń czy awarii w sposób samoistny lub przy pomocy środków technicznych np. serwisu czy wymiany części, turbin, gondoli, łopat wirnika, instalacji, w wyniku czego nie występują chwilowe oddziaływania PEM, a pierwotny stan środowiska nie jest naruszony. Zatem nie ma chwilowych oddziaływań emisji PEM na środowisko, bo w pracy występują stałe.

(2) Planowane farmy fotowoltaiczne – B, C, D, E (rys. W – 3)

Wykaz planowanych farm fotowoltaicznych w otoczeniu Farmy „Przybrda”, które uzyskały decyzje środowiskowe UM Biały Bór

Tabela 2

| Lp. | Znak sprawy<br>wg rejestru<br>UM Biały Bór | Lokalizacja farmy<br>fotowoltaicznej<br>(obręb) | Moc farmy<br>[MW] | Powierzchnia<br>farmy [ha] |
|-----|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|----------------------------|
| 1.  | OŚ.6220.8.2020.AM                          | Drzonowo                                        | do 52             | 67,0                       |
| 2.  | OŚ.6220.9.2021.AM                          | Drzonowo                                        | do 13             | 6,5                        |
| 3.  | OŚ.6220.8.2022.AM                          | Biała                                           | do 120            | do 115                     |
| 4.  | OŚ.6220.13.2022.AM                         | Drzonowo                                        | do 15             | 7,26                       |

„B” farma fotowoltaiczna „Biała” odległa 595 m od Farmy „Przybrda” – docelowa moc do 120 MW, zlokalizowana w obrębie Biała na działkach o łącznej powierzchni 218,65 ha, z czego do 115,0 ha zostanie zajęte przez panele PV i infrastrukturę towarzyszącą o następującej charakterystyce:

- ▲ zbudowana będzie sukcesywnie w do 40 kroków realizacyjnych, z których każdy zespół paneli PV o łącznej mocy do 5 MW, podłączony do kontenerowej stacji transformatorowej nn/SN,
- ▲ podstawowe elementy każdego zespołu paneli: panele PV i prefabrykowane konstrukcje wsporcze, instalacja elektryczna nn z inwerterem (falownikiem), kontenerowa stacja transformatorowa, kabel SN i dojazdy technologiczne oraz opcjonalnie kontenerowe/modułowe magazyny energii,
- ▲ panele PV o mocy od ok. 400 do ok. 1000 W. Do zbudowania zespołu paneli o mocy 1 MW potrzeba od ok. 2500 do ok. 1000 paneli, a dla farmy o mocy 120 MW od ok. 300 tys. do 120 tys. paneli, w funkcji ich mocy. Z uwagi na dynamiczny rozwój technologii, podane parametry mogą ulec korzystnym zmianom. Zespoły paneli będą połączone ze sobą szeregowo i podłączone do inwerterów. Inwerter to urządzenie służące do zamiany prądu stałego wytworzonego w ogniwach PV na prąd zmienny kierowany do stacji transformatorowej.,
- ▲ instalacja elektroenergetyczna – panele PV połączone szeregowo za pomocą przewodów zakończonych złączkami solarnymi. Do tablicy znamionowej, zamontowanej na konstrukcji wsporczej, zostaną podłączone końcówki pierwszego i ostatniego przewodu. Poszczególne zespoły paneli kablami będą podpięte do inwerterów (falowników). Dopuszcza się rozmieszczenie inwerterów na konstrukcji wsporczej lub na gruncie – są to urządzenia wielkości walizki. Na wyjściu urządzenia, prąd zmienny będzie miał napięcie  $3f \times 230 \text{ V}$  i częstotliwość  $f = 50 \text{ Hz}$ ,
- ▲ stacje transformatorowe – by wytworzoną energię elektryczną przekazać do KSE, niezbędne jest podniesienie napięcia U do napięcia przesyłowego sieci. W tym celu każdy z planowanych do 40 zespołów ogniw PV będzie wyposażony w kontenerową stację transformatorową nn/SN, wyposażoną w rozdzielnię nn 0,4 kV lub 0,8 kV i SN 15 kV lub

30 kV oraz w 1 lub 2 komory transformatorowe. Do podwyższenia napięcia wytwarzanego przez inwertery do napięcia sieci przesyłowej zastosowane zostaną transformatory suche lub olejowe. Układy pomiarowo-rozliczeniowe zostaną zamontowane po stronie nn i SN. Gabaryty stacji transformatorowych nie przekroczą wymiarów 8,5 x 3,5 x 3,5 m,

- ▲ konstrukcje wsporcze paneli zostaną zmontowane z elementów wykonanych z prefabrykowanej stali zimno giętej, ocynkowanej lub pokrytej inną powłoką antykorozyjną. Konstrukcja będzie też zawierać aluminiowe śruby. Naziemna część konstrukcji jest montowana na słupach, wbitych lub wkręconych w grunt na głębokość do ok. 1,5 m p.p.t.,
- ▲ opcjonalne magazyny energii – w zależności od trendów polityki energetycznej w kraju, zainstalowane będą zespoły kontenerowe lub modułowe na poziomie współczesnej technologii czyli duże zespoły akumulatorów np. litowo-jonowe lub litowo-żelazowo-fosforanowe. Pojedynczy magazyn energii ma się składać z:
  - falownika służącego do zamiany prądu stałego na prąd przemienny o odpowiedniej częstotliwości  $f$  [Hz] i napięciu występującym w sieci KSE, maksymalne wymiary zespołu to: długość 10 m, szerokość 3,5 m i wysokość do 3,5 m,
  - zespołów akumulatorów w zabudowie: kontenerowej z bateriami zawierającymi systemy klimatyzacji, monitoringu i kontroli; kontenery łączone są w grupy; wymiary standardowego kontenera 40" wynoszą: długość 12,2 m, szerokość 2,4 m, wysokość 2,6 m; lub modułowej: moduł ma 7-8 szaf rakowych, systemy klimatyzacji, monitoringu i kontroli; moduły łączone są w grupy; wymiary modułu wynoszą: długość do 13 m, szerokość do 3,5 m, wysokość do 3,5 m.

▲ teren lokalizacji farmy ogrodzony i wyposażony w systemy monitoringu i alarmowe.

Podczas eksploatacji planowane farmy fotowoltaiczne B, C, D, E będą generowały energię elektryczną emitując PEM o następujących wielkościach oddziaływań  $E_{\max}$  i  $H_{\max}$  (patrz Rys. W – 3):

„B” farma fotowoltaiczna Biała – odległa 595 m od Farmy „Przybrda” – moc do  $P_{\max} = 120$  MW:

$$E_{\max} = 0,12 \text{ [kV/m]} \text{ i } H_{\max} = 4,6 \text{ [A/m]} \quad [36]$$

$E_{\max}$  – 9 razy mniejsza od wartości dopuszczalnej  $E_0 = 1 \text{ kV/m}$  i  $H_{\max}$  – 13 razy mniejsza od dopuszczalnej  $H_0 = 60 \text{ A/m}$  dla zabudowy mieszkaniowej,

Analiza oddziaływań planowanych farm fotowoltaicznych B, C, D, E

Tabela 24

| CZYNNIK<br>ŚRODOWISKA   | Oddziaływanie planowanych farm fotowoltaicznych B, C, D, E |             |            |               |           |              |       |          |            |
|-------------------------|------------------------------------------------------------|-------------|------------|---------------|-----------|--------------|-------|----------|------------|
|                         | Krótkotrwałe                                               | Długotrwałe | Odwracalne | Nieodwracalne | Pośrednie | Bezpośrednie | Stale | Chwilowe | Kumulujące |
| Zajęcie terenu          |                                                            | +           | +          |               |           | +            |       | +        |            |
| Pole elektromagnetyczne | +                                                          | +           | +          |               |           | +            |       | +        |            |

„C” farma fotowoltaiczna Drzonowo – odległa 3,5 km od Farmy „Przybrda” – docelowa moc do  $P_{\max} = 52 \text{ MW}$  działki nr 187/10, 187/11, 184/18:

$$E_{\max} = 0,10 \text{ [kV/m]} \text{ i } H_{\max} = 4,6 \text{ [A/m]} \quad [37]$$

$E_{\max}$  – 10 razy mniejsza od wartości dopuszczalnej  $E_0 = 1 \text{ kV/m}$  i  $H_{\max}$  – 13 razy mniejsza od dopuszczalnej  $H_0 = 60 \text{ A/m}$  dla zabudowy mieszkaniowej,  
Obliczone ww. wielkości  $E_{\max}$  i  $H_{\max}$  wykazały, iż skumulowane oddziaływania planowanej farmy fotowoltaicznej na Farmę „Przybrda” są nieistotne.

„D” farma fotowoltaiczna Drzonowo – odległa 2,51 km od Farmy „Przybrda” – docelowa moc do  $P = 13 \text{ MW}$  działka nr 426:

$$E_{\max} = 0,12 \text{ [kV/m]} \quad \text{ i } \quad H_{\max} = 4,8 \text{ [A/m]} \quad [38]$$

$E_{\max}$  – 10 razy mniejsza od wartości dopuszczalnej  $E_0 = 1 \text{ kV/m}$  i  $H_{\max}$  – 13 razy mniejsza od dopuszczalnej  $H_0 = 60 \text{ A/m}$  dla zabudowy mieszkaniowej,  
Obliczone ww. wielkości  $E_{\max}$  i  $H_{\max}$  wykazały, iż skumulowane oddziaływania planowanej farmy fotowoltaicznej na Farmę „Przybrda” są pomijalne.

„E” farma fotowoltaiczna Drzonowo – odległa 3,15 km od Farmy „Przybrda” – docelowa moc do  $P = 15 \text{ MW}$ , działka nr 192/1:

$$E_{\max} = 0,10 \text{ [kV/m]} \quad \text{ i } \quad H_{\max} = 4,6 \text{ [A/m]} \quad [39]$$

$E_{\max}$  – 10 razy mniejsza od wartości dopuszczalnej  $E_0 = 1 \text{ kV/m}$  i  $H_{\max}$  – 13 razy mniejsza od dopuszczalnej  $H_0 = 60 \text{ A/m}$  dla zabudowy mieszkaniowej,  
Obliczone ww. wielkości  $E_{\max}$  i  $H_{\max}$  wykazały, iż skumulowane oddziaływania planowanej farmy fotowoltaicznej na Farmę „Przybrda” są nieistotne.

- (3) Napowietrzna linia elektroenergetyczna nn – działki 255, 256, 11/2 na trasie dawny PGR Białka (zabudowa, gospodarstwa rolne) – m. Białka (zabudowa, gospodarstwa);

Wielkości generowanych oddziaływań PEM w terenie lokalizacji tej linii napowietrznej nn:

$$E_{\max} = 0,01 \text{ [kV/m]} \quad \text{ i } \quad H_{\max} = 1,0 \text{ [A/m]} \quad [40]$$

$E_{\max}$  – 100-krotnie mniejsza od dopuszczalnej  $E_0 = 1 \text{ kV/m}$  i  $H_{\max}$  – 60 razy mniejsza od dopuszczalnej  $H_0 = 60 \text{ A/m}$  dla zabudowy mieszkaniowej,  
Obliczone ww. wielkości  $E_{\max}$  i  $H_{\max}$  wykazały, iż skumulowane oddziaływania planowanej farmy fotowoltaicznej na Farmę „Przybrda” są pomijalne.

- (4) Istniejąca droga krajowa DK nr 20 – nie kumuluje ani nie generuje interakcji PEM, więc ten wpływ jest nieistotny.

- (5) Obiekty radiowe, TV, bazowe stacje sieci komórkowych, radarowe, lotniskowe czy inne o podobnym charakterze użytkowym w zakresie konfiguracji pracy o częstotliwości  $f > 300 \text{ MHz}$  w otoczeniu obrębu Białka nie występują – zatem skumulowany wpływ promieniowania elektromagnetycznego na Farmę „Przybrda” jest bezprzedmiotowy.

## 12. Propozycje monitoringu oddziaływania PEM Farmy „Przybrda”

W przypadkach niezbędnych i wątpliwych należy uwzględnić propozycje monitoringu oddziaływania PEM planowanego przedsięwzięcia w zakresie istotnych elementów wpływających na środowisko, w zależności od potrzeb i zaleceń określonych w decyzjach środowiskowych właściwych organów administracyjnych. Dotyczy to badań oraz akredytowanych kontrolnych i sprawdzających pomiarów PEM bezpośrednio po uruchomieniu Farmy „Przybrda” i rozpoczęciu użytkowania instalacji i urządzeń w pobliżu źródeł PEM.

Zgodnie z Rozporządzeniem RM z dnia 3.10.2008 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko i jego ochronę oraz ocenach oddziaływania na środowisko [Dz. U. 2019 poz. 1839 wersja od 13.09.2023 r.] [II.2.11] i Rozporządzeniem Ministra Klimatu z dnia 17.02.2020 r. w sprawie sposobów sprawdzania dotrzymania dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku [Dz. U. 2020 poz. 258] [II.2.15] przy źródłach PEM planowanej Farmy „Przybrda” – w pobliżu paneli, inwertorów, stringów oraz

kontenerowych stacji transformatorowych ST i magazynów energii KME (opcjonalnie) można wykonać akredytowane sprawdzające pomiary kontrolne PEM.

### 13. Analiza możliwych konfliktów społecznych w zakresie PEM

Z uwagi na duży stopień trudności zrozumienia złożonych zagadnień i skomplikowanych funkcji zależności matematycznych w zakresie wpływu pól elektromagnetycznych (PEM) obiektów elektroenergetycznych i OZE, w tym planowanej farmie fotowoltaicznej „Przybrda”, przez osoby i instytucje z spoza branży fizyki i PEM, podejmujące m.in. decyzje administracyjne, przeanalizowano szeroko i głębiej temat i analizy w aspekcie oddziaływań na chronione środowisko mieszkańców i miejsc dostępnych dla ludności. Mimo, iż zagadnienia te powiązano ściśle i porównawczo z interakcją pól elektromagnetycznych na przykładach wpływu PEM domowych urządzeń powszechnego użytku oraz z istotą promieniowania elektromagnetycznego niejonizującego. Jest to niezwykle ważne i potrzebne, ale nie zawsze dla wszystkich zrozumiałe właśnie ze względu na uzyskanie decyzji środowiskowej oraz coraz częściej pojawiających się tzw. konfliktów społecznych. Są one związane z protestami części grup mieszkańców przeciw nowym inwestycjom OZE i ich rzekomym „negatywnym oddziaływaniom PEM i hałasu” na otoczenie. To powoduje, iż zagadnienia te wymagają głębszych merytorycznych analiz oraz uzasadnień wyników obliczeń ściśle matematycznych, wykresów i tabel, mające podstawowe znaczenie m.in. podczas wyjaśnień na spotkaniach z protestującymi w gminach. Właśnie te nowe inwestycje OZE – m.in. elektrownie fotowoltaiczne i wiatrowe wobec ekologicznych zmian kierunkowych UE są szczególnie kontestowane przez przeciwników zwalczane i nawet opóźniane i wstrzymywane. Często bywa tak, iż protestujący nie są w pełni świadomi znaczenia tematu OZE i korzyści płynących dla nich samych z produkcji i dostaw tańszej energii ekologicznej do własnych domów i gospodarstw.

Protestujący często rozpowszechniają absurdalnie fałszywe mity PEM, wpływające negatywnie na inwestycje, spore utrudnienia, wydłużania się terminów realizacji i związanych z tym wzrostem kosztów przedsięwzięć. Autor niniejszego opracowania przy dziesiątkach swoich prac, projektów i raportów OŚ dla potrzeb inwestycji OZE w branżach elektrowni turbin wiatrowych, fotowoltaicznych PV oraz elektroenergetycznych stacji SN/WN i linii przesyłowych WN/NN itp. sam doświadczył absurdalności wywodów przeciwników OZE, biorąc udział w łagodzeniu konfliktów społecznych, tłumacząc i obalając ich wymyślone tendencyjne mity o szkodliwości OZE na zdrowie ludzi, w tym np. rolników, ich rodzin i kondycję zwierząt hodowlanych. Autor działając konkretnie przedstawiał inżynierskie kontrargumenty techniczne i środowiskowe w postaci wiarygodnych wyników analiz i pomiarów terenowych zrealizowanych OZE m.in. PEM i hałasu w eksploatowanych przez lata obiektach w kraju i Europie. I to w części pomagało i zdawało egzamin, jednak zajęło sporo czasu, czasu i kosztów. A zatem warto pogłębiać tematy i przedstawiać w formie szerszych analiz, opisów i demonstrować wiarygodne kontrargumenty skomplikowanych obliczeń, wykresów, tabel i graficznych obrazów w postaci izopemów na rysunkach i podkładach planów zagospodarowania terenu (PZT).

Należy podkreślić, iż w obszarze występowania elektromagnetycznego promieniowania o charakterze niejonizującym, a ściśle pola elektromagnetycznego w obiektach elektroenergetycznych czy OZE możliwy efekt kumulacji i szkodliwości nie zachodzi, podobnie jak w polu elektromagnetycznym przedmiotowej planowanej Farmy „Przybrda” czyli wokół urządzeń fotowoltaicznych i instalacji PV o częstotliwościach  $f = 50 \text{ Hz}$ , gdzie wpływ fotowoltaiki nie jest szkodliwy ani groźny dla ludzi i fauny. Natomiast w innym obszarze pola czy promieniowania o charakterze jonizującym występuje zjawisko kumulacji dawki, co jest niszczące dla organizmów żywych, ludzi i fauny, a czego nie ma miejsca w OZE.

#### 14. Podsumowanie i wnioski ostateczne

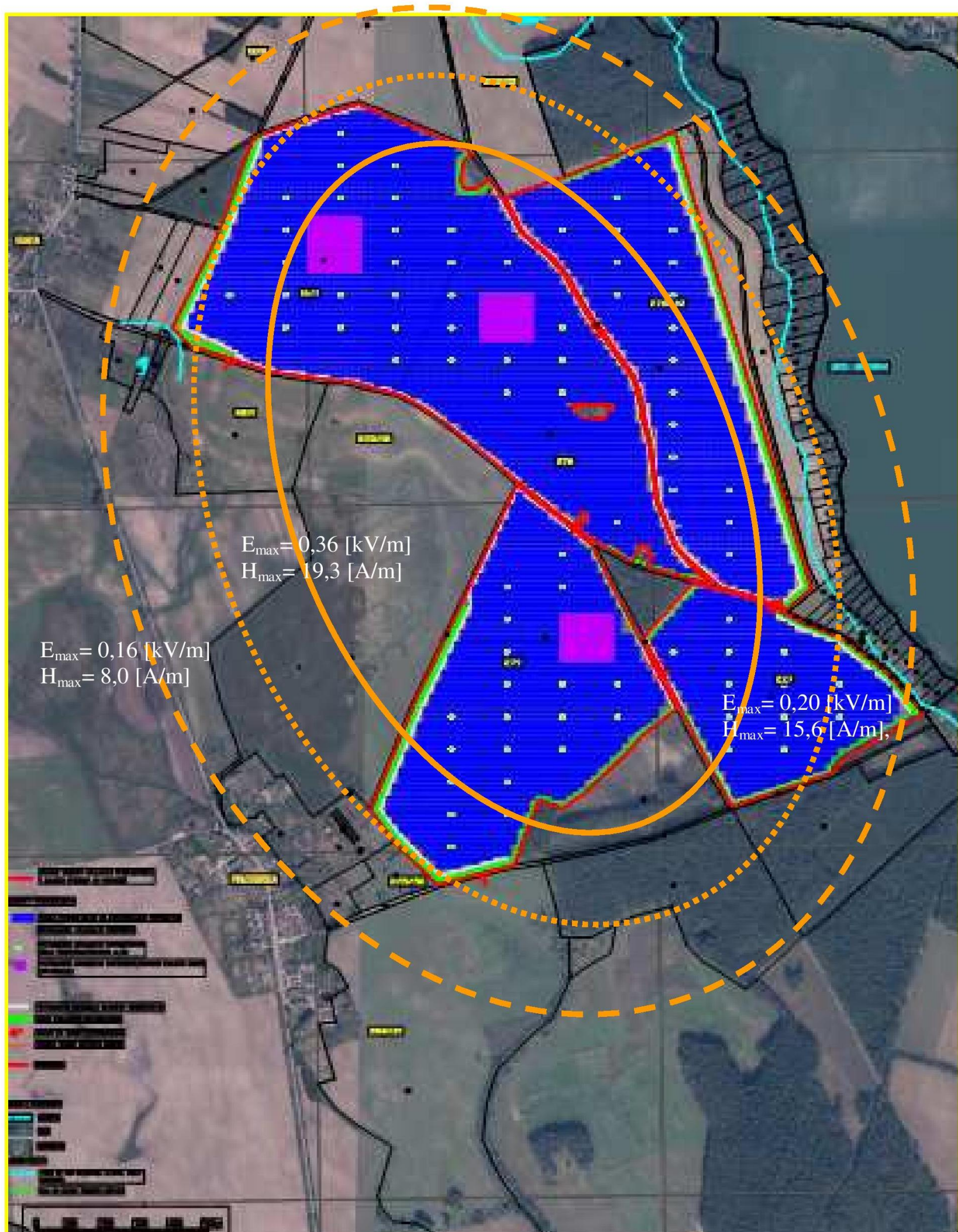
- 14.1. Założone cele niniejszego opracowania określone na podstawie wymagań ustaw i przepisów prawnych [II.2], ustaleń ze Zleceniodawcą i Projektantem oraz przedstawionych wyników analiz obliczeń i ocen oddziaływań PEM planowanej Farmy „Przybrda” o mocy do 400 MW w obrębie Biała, gmina Biały Bór, w pełni zrealizowano ze szczególnym uwzględnieniem chronionej zabudowy mieszkaniowej i miejsc dostępnych dla ludności w zakresie spełnienia:
12. wymagań pkt. 6 wezwania nr WST-K.4221.27.2024.MGN Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Szczecinie Wydział Spraw Terenowych w Koszalinie z dnia 4.04.2024 r. – określenie zasięgu pól elektromagnetycznych wokół planowanej farmy fotowoltaicznej Przybrda na etapie użytkowania przedsięwzięcia, również w ujęciu skumulowanym i udowodnienia, że zostaną zachowane dopuszczalne ustawowe wartości natężenia pola elektromagnetycznego (PEM) w miejscach dostępnych dla ludności.
  - ▲ zachowania standardów emisji PEM urządzeń fotowoltaicznych i instalacji elektrycznych w zakresie propagacji i oddziaływań pól elektromagnetycznych (PEM) do środowiska.
- 14.2. Zgodnie z § 3.1 pkt. 52 Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 9.11.2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko [II.2.11], planowaną Farmę „Przybrda” określono jako instalacje mogące znacząco oddziaływać na środowisko,
- 14.3. W opracowaniu szerzej omówiono zagadnienia związane z istotą fotowoltaiki, oddziaływaniem pola i promieniowania elektromagnetycznego niejonizującego, a także z wpływem urządzeń i instalacji fotowoltaicznych i elektrycznych na zdrowie ludzi i środowisko,
- 14.4. Poziom emisji PEM można monitorować zestawem mierników elektromagnetycznych jako sprawdzające dotrzymanie dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku oraz uzyskać odpowiedź czy urządzenia i instalacje PV są bezpieczne dla ludzi i środowiska,
- 14.5. Przetawione głębiej analizy i oceny idei promieniowania, jego rodzajach i interakcji PEM w aspekcie wpływu planowanej Farmy „Przybrda” na chronione środowisko mieszkańców i miejsc dostępnych dla ludności jest niezwykle istotne i przydatne. Z uwagi na coraz częściej pojawiające się tzw. konflikty społeczne, związane z protestami części mieszkańców przeciw nowej inwestycji OZE i jej „negatywnym wpływie” na otoczenie powoduje, iż sprawy te mają podstawowe znaczenie, kiedy te inwestycje są szczególnie kontestowane, a zwalczane i nawet wstrzymywane przez naciski grup społeczności, tworzące fałszywe mity, wpływające negatywnie na terminy realizacji i związanych z tym kosztami przedsięwzięć,
- 14.6. Planowana farma fotowoltaiczna „Przybrda” będzie pracować na napięciu niskim nn i średnim SN. Prąd wychodzący z paneli fotowoltaicznych do inwerterów ma wartość niskiego napięcia nn – takiego jak spotykane powszechnie w gniazdach elektrycznych domów mieszkalnych, przedsiębiorstwach i biurach. Prąd płynący z paneli i inwertera do transformatora ma wartość napięcia  $U \approx 600 \text{ V}$ , a więc również niskie napięcie jak doprowadzane do domów liniami nn,
- 14.7. Planowane przedsięwzięcie nie należy do inwestycji, dla których tworzy się obszar ograniczonego użytkowania. Przyjęte rozwiązania techniczne, technologiczne i organizacyjne zapewniają eliminowanie negatywnego wpływu na środowisko poza terenem przedmiotowych działek, na których lokalizowane będzie planowane przedsięwzięcie. Z przeprowadzonej analizy możliwych zagrożeń wynika, iż przedmiotowa inwestycja nie spowoduje szkodliwego wpływu na środowisko. Zatem zmian w środowisku nie będzie, bo utrzyma się status quo ante,

- 14.8. Prąd płynący z transformatora przyłączem kablowym SN do miejsca przyłączenia GPZ i KSE – ma takie napięcie jak podobne linie biegnące często w pobliżu zabudowy, czasem poprzez działki przy domach i nie generują one uciążliwości. Jest to prąd  $I$  [A] około 100 razy mniejszy niż ten płynący w liniach wysokiego napięcia 110 kV. Tym samym nie może w żaden sposób oddziaływać znacząco szkodliwie na zdrowie i życie człowieka. Skoro PEM nie oddziałuje na ludzi, nie będzie też wpływać na faunę,
- 14.9. Należy specjalnie podkreślić, iż Farma „Przybrda” generując prąd elektryczny o napięciu nn i SN tworzy niejonizujące pole elektromagnetyczne o podobnej charakterystyce, jak płynący w domowej sieci elektroenergetycznej, więc nie może ono znacząco napromieniować ludzi, przedmiotów, żywności, otoczenia i domów mieszkalnych, w tym np. gruntów rolnych itp. Zatem brak jest jakichkolwiek dowodów na negatywnie szkodliwe oddziaływania PEM takich urządzeń i instalacji PV na zdrowie człowieka i fauny,
- 14.10. Na podstawie zastosowanej metodologii symulacji obliczeń PEM według implementacji cyfrowego programu komputerowego APEM/2000 uzyskano pozytywne wyniki interakcji Farmy „Przybrda” jako źródła oddziaływań PEM, a mianowicie:
- ⊗ wielkości natężeń  $E_{\max}$  [kV/m] i  $H_{\max}$  [A/m] nie powodują przekroczeń ustawowych  $E_0$  [kV/m] i  $H_0$  [A/m], bo są kilka- i wielokrotnie mniejsze od dopuszczalnych wartości,
  - ⊗ brak skumulowanych synergicznie wpływów od sąsiednich eksploatowanych elektrowni wiatrowych i innych planowanych fotowoltaicznych B, C, D, E wraz z przedmiotową Farmą „Przybrda” na środowisko zabudowy mieszkaniowej i miejsc dostępnych dla ludności,
  - ⊗ występuje polaryzacja jako zjawisko uporządkowania kierunku drgań fal poprzecznych lub uporządkowanie wektorów natężenia pola elektrycznego  $E$  [kV/m] i magnetycznego  $H$  [A/m],
  - ⊗ zbędne są zalecenia i sposoby zapobiegania i zmniejszania negatywnych oddziaływań,
  - ⊗ podczas budowy, eksploatacji i likwidacji mogą wystąpić niewielkie wpływy: bezpośredni, wtórny, krótko-, średnio- i długoterminowy, stały na środowisko,.
- 14.11. Reasumując stwierdza się, iż warunkiem zapewnienia skutecznej ochrony przed potencjalnym wpływem planowanej Farmy „Przybrda” w zakresie oddziaływań PEM na chronione tereny zabudowy mieszkaniowej, jednorodzinnej, wielorodzinnej, zagrodowej i rekreacyjnej oraz miejsc dostępnych dla ludności są:
- ⊗ wyniki analiz obliczeń PEM i ocen potwierdzające explicite prawidłowe lokalizacje urządzeń i instalacji, opisane analizą graficzną i na wykresach na rys. W-1, W-2, W-3,
  - ⊗ właściwe rozmieszczenie źródeł PEM – urządzeń PV, instalacji i infrastruktury technicznej, w tym stacje transformatorowe, inwertery, stringi, magazyny energii, odsunięte od granic farmy i od terenów chronionej zabudowy w m. Biała, Przybrda i Jeziernik,
  - ⊗ na terenie Farmy „Przybrda” nie będzie zlokalizowana abonencka stacja elektroenergetyczna GPZ 15/110 kV lub GPZ 30/110 kV, która jest oddalona na dużą odległość 1,7 km poza teren planowanego obiektu. Tym samym odległe GPZ od planowanego przedsięwzięcia także nie wpłynę na kumulowanie synergicznych interakcji PEM w obrębie Biała.

15. Źródła informacji i literatura

- 15.1. A Checklist of Safe Practices for Storage, Distribution, Use and Disposal of Toxic and Hazardous Gases in Photovoltaics Cell Manufacturing,
- 15.2. Alsema E., Wild-Scholten M.: Environment Impact of Crystalline Silicon Photovoltaic Module Production. 2005,
- 15.3. Environmental Impact of Soil and Sand Mining: A Review, M. Naveen Saviour, International Journal of Science, Environment and Technology, Vol. 1, No 3, 2012, 125–134,
- 15.4. Fthenakis V.M., Fuhrmann M., Heiser J., Lanzirrotti A., Fitts J. and Wang W.: „Emissions and Encapsulation of Cadmium in CdTe PV Modules During Fires,” Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 13 (8): 713-723, 2005,
- 15.5. Fthenakis, V.M., Kim H.C., and Alsema E.: „Emissions from Photovoltaic Life Cycles” Environmental Science and Technology, 42, 6, 2008,
- 15.6. Gryz K., Karpowicz J.: Oddziaływanie pola elektromagnetycznego, CIOP PIB, według [http://nop.ciop.pl/m6-5/m6-5\\_4.htm](http://nop.ciop.pl/m6-5/m6-5_4.htm),
- 15.7. Gryz K., Karpowicz J., Zradziński P., Pole magnetyczne wytwarzane przez wyposażenie elektroenergetyczne w budynkach – zalecenia profilaktyczne dotyczące ograniczenia narażenia długotrwałego, „Bezpieczeństwo Pracy – nauka i praktyka”, 2011, nr 5,
- 15.8. Jarzębski Z.M.: Energia Słoneczna. Konwersja Fotowoltaiczna, PWN, Warszawa 1990,
- 15.9. Kasprzyk R. , Butlewski M.: Pole elektromagnetyczne jako czynnik szkodliwy w przemyśle elektroenergetycznym, ZN politechniki Poznańskiej nr 59, Organizacja i Zarządzanie 2013,
- 15.10. Klugman–Radziszewska E. Technologiczny postęp w fotowoltaice, Czysta Energia nr 5.2014,
- 15.11. Klugman–Radziszewska E.: Fotowoltaika w teorii i praktyce. BTC, 2010,
- 15.12. Klugmann E., Klugmann–Radziemska E.: Alternatywne źródła energii, energetyka fotowoltaiczna, wydanie Białystok: Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, 1999,
- 15.13. Klugmann–Radziemska E. i inni: Aspekty ekologiczne i ekonomiczne recyklingu krzemowych ogniw i modułów fotowoltaicznych. NAFTA–GAZ, czerwiec 2010,
- 15.14. Klugmann–Radziemska E.: Technologiczny postęp w fotowoltaice. Czysta Energia, maj 2014,
- 15.15. Krzywda M. Jurasz J.: Wpływ technologii PV na środowisko. Wyd. Zarządzania AGH Kraków,
- 15.16. Linie i stacje elektroenergetyczne w środowisku człowieka – Wyd.5. PSE W-wa, 2008,
- 15.17. Majchrzak H.: Oddziaływanie pola elektromagnetycznego, Czysta Energia, 12.2010,
- 15.18. Pole elektromagnetyczne a człowiek, Copyright by Ministerstwo Cyfryzacji, Warszawa 2019
- 15.19. Politechnika Wrocławska: Ogniwa słoneczne. Wydział Elektroniki, Mikrosystemów i Fotoniki. Optoelektronika. 2014,
- 15.20. Radecki T., Kondyba A.: Przetwarzanie energii w elektrowniach słonecznych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2000,
- 15.21. Ruoss D.: Market Overview of Silicon and Non-Silicon Technologies and a Perspective of the PV Market and Technologies Development,
- 15.22. Sarniak M.T.: Podstawy fotowoltaiki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2008,
- 15.23. Smoliński S.: Fotowoltaiczne źródła energii i ich zastosowania, Wyd. SGGW, Warszawa 1998,
- 15.24. Smoliński S. red.: Podstawowe problemy współczesnej techniki, tom XXVI, Optoelektronika, część II, PWN Warszawa 1992,

- 15.25. Swatowska B.: Struktury cienkowarstwowe typu a-Si:C:H do zastosowania w słonecznych ogniwach, rozprawa doktorska, AGH, WEAIiE, Katedra Elektroniki, wyd. Kraków AGH, 2005,
- 15.26. Szuba M.: Ochrona przed polami elektromagnetycznymi w świetle ostatnich zmian w prawodawstwie polskim. XV Konferencja Naukowo-Techniczna Bezpieczeństwo Elektryczne, Wrocław 2005,
- 15.27. Tauc J.: Zjawiska fotoelektryczne i termoelektryczne w półprzewodnikach. PWN W—wa 1966,
- 15.28. Toward a Just and Sustainable Solar Energy Industry, A Silicon Valley Toxics Coalition, White Paper, January 14, 2009,
- 15.29. [www.biomagnetic](http://www.biomagnetic)



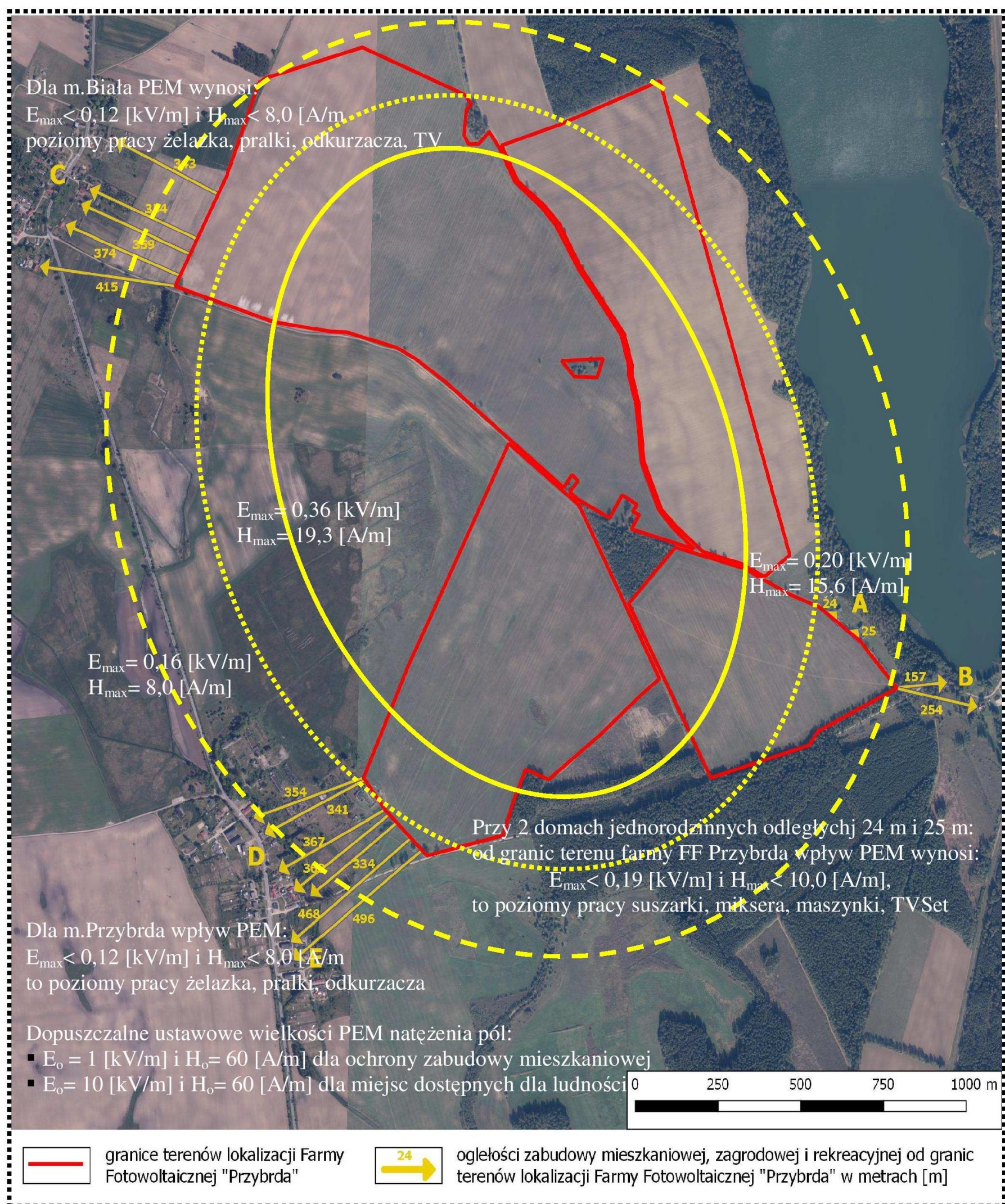
#### Objaśnienia:

Izopemy – krzywe równego poziomu wartości oddziaływań PEM wg obliczeń na wysokości 0,3 – 1,80 m npt.:

-  wartości PEM dla  $E_{\max} = 0,36 \text{ [kV/m]}$  i  $H_{\max} = 19,3 \text{ [A/m]}$  ( $E_{\max}/E_0 = 36 \%$ ,  $H_{\max}/H_0 < 3,11 \%$ )
-  wartości PEM dla  $E_{\max} = 0,20 \text{ [kV/m]}$  i  $H_{\max} = 15,6 \text{ [A/m]}$  (E praca suszarki, monitora komputera)
-  wartości PEM dla  $E_{\max} = 0,16 \text{ [kV/m]}$  i  $H_{\max} = 8,0 \text{ [A/m]}$  (E poziom pracy miksera, TVSet, suszarki)

Wyniki analiz obliczeń i izopemy potwierdzają, iż podane wartości są kilkakrotnie mniejsze od ustawowych dopuszczalnych wielkości natężenia pól elektrycznych  $E_0 = 1 \text{ [kV/m]}$  i magnetycznych  $H_0 = 60 \text{ [A/m]}$  dla ochrony zabudowy mieszkaniowej oraz  $E_0 = 10 \text{ [kV/m]}$  i  $H_0 = 60 \text{ [A/m]}$  dla miejsc dostępnych dla ludności.

**Rys. W – 1.** Rozkład oddziaływań pól elektromagnetycznych (PEM) urządzeń i instalacji PV oraz podziemnej linii kablowej 15 kV (30 kV) planowanej farmy FF „Przybrda” na ortofotomapie PZT



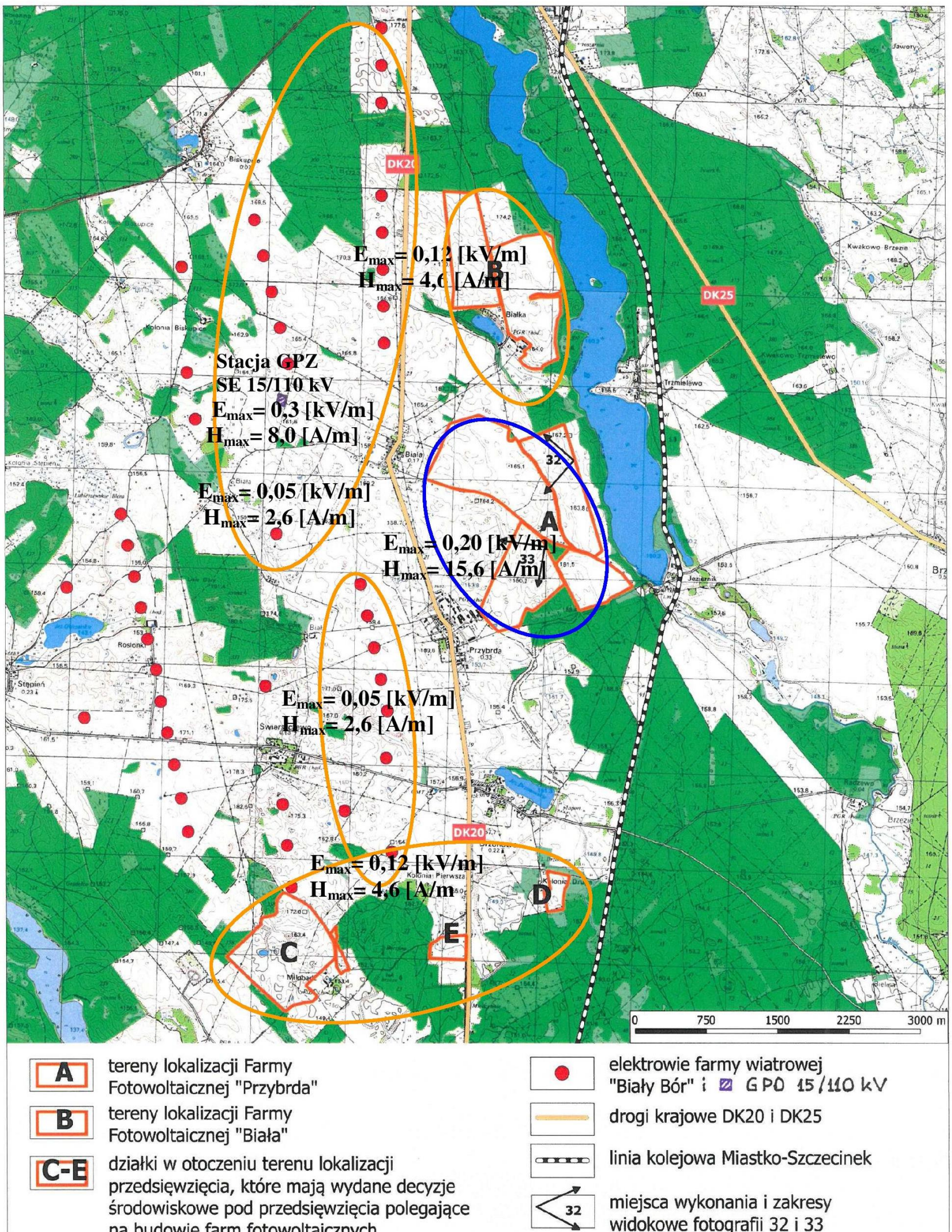
#### Objaśnienia:

Izopemy – krzywe równego poziomu wartości oddziaływań PEM wg obliczeń na poziomie wysokości 1,80 m npt. z wyszczególnieniem odległości do chronionej najbliższej zabudowy mieszkaniowej, jednorodzinnej, wielorodzinnej i zagrodowej w m. Biała, Przybrda, Jeziernik:

- poziom wartości PEM dla  $E_{\max} = 0,36$  [kV/m] i  $H_{\max} = 19,3$  [A/m] ( $E_{\max}/E_0 = 36\%$ ,  $H_{\max}/H_0 < 32,2\%$ )
- poziom wartości PEM dla  $E_{\max} = 0,20$  [kV/m] i  $H_{\max} = 15,6$  [A/m] ( $E$  poziom pracy monitora komputera)
- poziom wartości PEM dla  $E_{\max} = 0,16$  [kV/m] i  $H_{\max} = 8,0$  [A/m] ( $E < \text{niż}$  praca miksera, TVSet, suszarki)

Wyniki analiz obliczeń PEM i graficzne obrazy izopem potwierdzają, iż nie występują przekroczenia dopuszczalnych ustawowych wielkości natężenia pól elektrycznych  $E_0$  [kV/m] i magnetycznych  $H_0$  [A/m]. Zatem dotrzymano wysokie standardy jakości środowiska w zakresie oddziaływań pól elektromagnetycznych.

**Rys.W-2.** Oddziaływanie pól elektromagnetycznych urządzeń i instalacji planowanej farmy FF „Przybrda” oraz odległości do chronionej zabudowy mieszkaniowej na ortofotomapie PZT terenu obrębu Biała



#### Objaśnienia:

- izopemy – krzywe jednakowego poziomu wartości interakcji PEM  $E_{\max} = 0,12$  i  $0,05 \text{ [kV/m]}$  oraz  $H_{\max} = 2,6 \text{ [A/m]}$  i  $H_{\max} = 4,6 \text{ [A/m]}$  analizowane i ocenione na wysokościach  $0,3 - 1,80 \text{ m npt}$ :
- od najbliższej pracujących 22 szt. turbin wiatrowych typ Vestas V126–3,4 MW o średnicy wirnika 126 m i wysokości wieży 117 m npt. w odległości 1010 m od granic terenu farmy FF „Przybrda”,
- od stacji elektroenergetycznej GPZ SE 15/110 kV w odległości 1700 m od granic farmy FF „Przybrda”,
- strefy C, D, E i B „Biała” z docelową mocą do 120 MW w odległości 595 m od farmy FF „Przybrda”,
- izopem – krzywa jednakowego poziomu wartości  $E_{\max} = 0,20 \text{ [kV/m]}$  i  $H_{\max} = 15,6 \text{ [A/m]}$  na terenie farmy FF „Przybrda” wykazała, iż skumulowane oddziaływania PEM badanych wielu źródeł **nie występują**.

**Rys.W-3.** Wyniki analiz skumulowanych oddziaływań pól elektromagnetycznych (PEM) planowanej farmy FF „Przybrda” wraz z innymi źródłami interakcji PEM na tle obrębu Biała.