

Oddziaływania elektromagnetyczne farm fotowoltaicznych

Streszczenie. Przedstawiony artykuł dotyczy identyfikacji poziomów natężeń pól elektromagnetycznych na terenie farmy fotowoltaicznej. Przeprowadzono opis typowych działań dotyczących analizy oddziaływania elektromagnetycznego farmy jako inwestycji oddziałującej na środowisko. Opracowano uzyskane pomiarowo wyniki, poszerzone o aspekt emisji elektromagnetycznej w ujęciu kompatybilności elektromagnetycznej instalacji. Analizę wyników odniesiono do obowiązujących limitów.

Abstract. The presented article includes the identification of the levels of electromagnetic field intensities at the site of a photovoltaic farm. Typical activities concerning the analysis of the electromagnetic impact of the farm as an investment affecting the environment are described. The results obtained by measurement were elaborated, extended by the aspect of electromagnetic emissions in terms of electromagnetic compatibility of the installation. The analysis of the results was related to the applicable limits. (**Electromagnetic impacts of photovoltaic farms**).

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, kompatybilność elektromagnetyczna, odnawialne źródła energii, farma fotowoltaiczna.

Keywords: electromagnetic field, electromagnetic compatibility, renewable energy sources, photovoltaic farms.

Wstęp

Rozwój gospodarczy ostatnich lat oznacza zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną. Aby sprostać tym potrzebom konieczne są zarówno rozwój i modernizacja przesyłowej sieci elektroenergetycznej jak i wzrost inwestycji zwiększających produkcję energii elektrycznej jej niezawodność i bezpieczeństwo. Światowe rekomendacje i wytyczne Unii wskazują na potrzebę powstawania instalacji pozwalających na produkowanie „zielonej” energii. Ważny udział w rynku OZE ma właśnie fotowoltaika, dzięki której można wytwarzać energię ze słońca.

Co do zasady, do konieczności rozwoju instalacji OZE w naszym kraju nie trzeba nikogo mocno przekonywać. Wynika to z osiągniętej już świadomości społeczeństwa o potrzebie łagodzenia i zapobiegania skutkom globalnego ocieplenia klimatu, jak i konieczności uodpornienia polskiego systemu energetycznego na skutki szantażu paliwowego w wymiarze fizycznym i ekonomicznym.

Od strony technologicznej, farma fotowoltaiczna nie wywołuje zagrożeń dla ludzi i ma neutralny wpływ na zdrowie. Dlaczego więc społeczeństwo nie chce inwestycji elektroenergetycznych w pobliżu domów? Przez przekonanie, iż budowa infrastruktury elektroenergetycznej wiąże się z różnego rodzaju oddziaływaniami na środowisko, na zdrowie ludzi czy spadek wartości posiadanych nieruchomości. Osoby lub organizacje, których uwaga skupia się na wartościach przyrodniczych, mogą także postrzegać budowę farmy jako zagrożenie dla krajobrazu, cennych roślin czy zwierząt.

Farmy fotowoltaiczne

Farma fotowoltaiczna (Rysunek 1) to duża instalacja słoneczna łącząca w jeden system setki lub tysiące modułów ustawionych na wspólnej przestrzeni. O ile standardowa, przydomowa instalacja fotowoltaiczna służy najczęściej do produkcji energii elektrycznej na własny użytek, o tyle celem farmy jest wytwarzanie dużej ilości energii, która następnie jest sprzedawana [1,2].

Opłacalność farmy fotowoltaicznej zależy od wielu czynników, na czele z jakością urządzeń, optymalnymi warunkami słonecznymi oraz prawidłową eksploatacją systemu na przestrzeni lat. Biorąc pod uwagę zmieniające się realia (także polityczne, oddziałujące na efektywność ekonomiczną) i coraz większą rolę OZE w krajowym, europejskim czy światowym rynku energetycznym, można potraktować tę inwestycję jako perspektywiczną.



Rys.1. Przykładowy widok farmy zlokalizowanej na terenie województwa lubelskiego

Farmy fotowoltaiczne powstają właściwie na całym świecie i przynoszą realne korzyści ekonomiczne oraz społeczne. Trwająca transformacja eko-energetyczna nie zostanie więc zatrzymana. Również w naszym kraju od wielu lat rośnie zainteresowanie elektrowniami słonecznymi. W efekcie mapa polskich farm fotowoltaicznych rozrasta się.

Aby było bezpiecznie i zgodnie z obowiązującymi realiami prawnymi farma jako inwestycja musi podlegać wielu regułom. Niektóre mogą być hamulcem aby taka inwestycja była super ekonomicznym pomysłem (choćby Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym i jej nowelizacje), a inne czasami pomagają rozważać fotowoltaikę jako wsparcie działań (Ustawa o szczególnych rozwiązaniach służących ochronie odbiorców energii elektrycznej nałożyła m.in. obowiązek podjęcia działań, których celem jest ograniczenie o 10 proc. zużycia energii elektrycznej). Każdorazowo farma fotowoltaiczna podlega, jako inwestycja, procedurze przygotowania raportu oddziaływania jej na środowisko. Przedmiotem takiej opinii jest określenie ewentualnych zagrożeń oraz sformułowanie niezbędnych działań mających na celu uwzględnienie ich wpływu na etapie budowy, eksploatacji oraz likwidacji inwestycji, objętych analizą. Zgodnie z § 3 ust 1 pkt 54 rozporządzenia Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 2019 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (t.j. Dz.U. z 2019r. poz. 1839) farmy fotowoltaiczne klasyfikuje się jako potencjalnie mogące znacząco oddziaływać na środowisko.

Dla przedsięwzięć mogących potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko konieczne jest uzyskanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach wydawanej przez właściwy organ.

Opinia (oparta o wytyczne legislacyjne m.in. w [12-16]) w sprawie oceny oddziaływania obiektów infrastruktury instalacji fotowoltaicznej i elektroenergetycznej na środowisko służy dostarczeniu właściwym organom administracyjnym materiału pozwalającego na ocenę dopuszczalności przedsięwzięcia w określonej lokalizacji ze względu na panujące uwarunkowania środowiskowe.

Fotowoltaika jest stosunkowo nową technologią, dlatego może budzić wątpliwości pod względem bezpieczeństwa. Jednakże od strony technologicznej, dobrze zaprojektowana i eksploatowana farma fotowoltaiczna nie wywołuje żadnego zagrożenia dla ludzi i ma neutralny wpływ na zdrowie. Dlaczego więc społeczeństwo nie chce inwestycji elektroenergetycznych w pobliżu domów? Przez przekonanie, iż budowa infrastruktury elektroenergetycznej wiąże się z różnego rodzaju oddziaływaniami na środowisko, na zdrowie ludzi czy spadek wartości posiadanych nieruchomości. Osoby lub organizacje, których uwaga skupia się na wartościach przyrodniczych, mogą postrzegać budowę farmy jako zagrożenie dla krajobrazu, cenny roślino- czy zwierzęcy.

Analiza literatury w aspekcie oddziaływania pól elektromagnetycznych jest różnorodna [3-8]. Wiele krajów wprowadziło normy lub zalecenia ograniczające poziomy pola elektrycznego i magnetycznego w środowisku. Także i w Polsce ustalono dopuszczalne poziomy pól. Aktualne jest Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku - Dz.U. z 2019 r. poz. 2448. Celem tych ograniczeń jest ochrona zdrowia ludzi przed potencjalnie niekorzystnymi skutkami długotrwałego oddziaływania pola elektromagnetycznego, wytwarzanego przez m.in. infrastrukturę elektroenergetyczną do której przecież zaliczyć można farmy/elektrownie fotowoltaiczne.

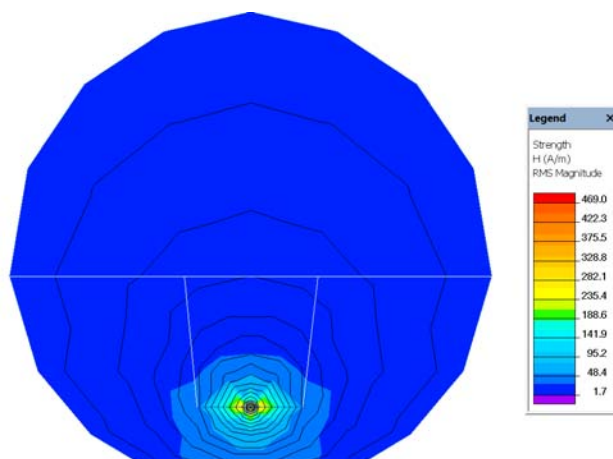
Opiniowanie oddziaływania elektromagnetycznego

Każdorazowo, celem opiniowania jest zaprezentowanie i analiza wyników identyfikacji pól elektromagnetycznych uzyskiwanych na drodze pomiarowej jak i symulacyjnej.

Pierwszych identyfikacji oddziaływań inwestycji fotowoltaicznej dokonuje się już na początkowym etapie, tj. w trakcie powstawania koncepcji czy projektu. Ma to na celu określenie czy w pobliżu planowanej inwestycji, w miejscach dostępnych dla ludzi, wystąpi pole elektryczne i magnetyczne o wartościach przekraczających uznane za bezpieczne. W tym celu przeprowadzane są analizy numeryczne emisji składowej elektrycznej E i magnetycznej H pola elektromagnetycznego. Podstawowe relacje numeryczne obejmują zazwyczaj oddziaływania w paśmie częstotliwości roboczej (np. 50Hz lub pola stałego). Przykładową symulację prezentuje rysunek 2. Przybliżono tu typowe rozwiązanie stosowane na farmach – prowadzenie toru zasilania w ziemi, a projektowane dla farmy poziomy napięć i prądów są danymi wejściowymi do symulacji. Stosowane kable, ich ekran oraz metrowe zakopanie w ziemi są najczęściej wystarczającą barierą aby na terenie otwartym natężenia składowych elektrycznych i magnetycznych pola były poniżej dopuszczalnych limitów.

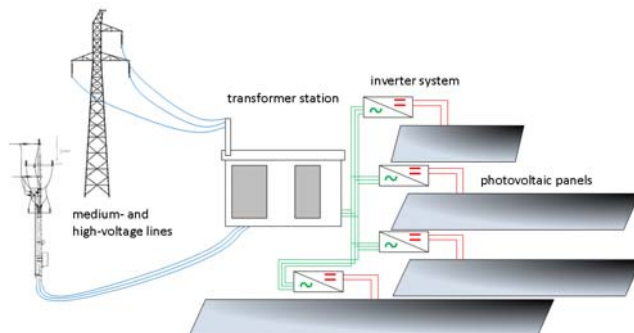
Na podstawie planowanych w projekcie danych, a także symulacji wyciągane są wnioski i działania, służące dalszemu opracowywaniu inwestycji, także w kierunku doboru technologii bardziej przyjaznych środowisku. W efekcie tych analiz realizowane mogą być tylko takie inwestycje, które funkcjonując nie zagrażają zdrowiu ludzi.

W przypadku uzyskania na drodze numerycznej wartości natężeń nie spełniających poziomów dopuszczalnych lub w przypadku planowania inwestycji dużych mocy konieczne są pomiarowe weryfikacje rzeczywiste bezpośrednio na terenie inwestycji.



Rys.2. Rozkład natężenia pola magnetycznego wokół kabla 30kV umieszczonego metr poniżej poziomu gruntu

Farma to instalacja złożona z kilku stref, które w ujęciu ich oddziaływania elektromagnetycznego wymagają szczegółowej analizy. Wymienić tu należy same moduły fotowoltaiczne, inwertery, okablowanie, infrastrukturę związaną ze stacjami transformatorowymi/rozdzielniemi a także odcinki linii SN lub WN przesyłające energię elektryczną do systemu elektroenergetycznego (rysunek 3). Rzeczywiste badania obejmują więc w tych strefach identyfikację przestrzenną natężeń pola elektromagnetycznego szczególnie w paśmie częstotliwości przemysłowej. W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki uzyskane na terenie farmy zlokalizowanej na terenie województwa lubelskiego (rysunek 4). Infrastrukturę farmy stacja transformatorowa SN 15kV/ nN 0,4kV, panele fotowoltaiczne BEP-255W (P_{mpp} 255Wp; I_{mpp} 8,35A; V_{mpp} 30,55V) oraz falowniki SMA inwerter.



Rys.3. Rozkład natężenia pola magnetycznego wokół kabla 30kV umieszczonego metr poniżej poziomu gruntu

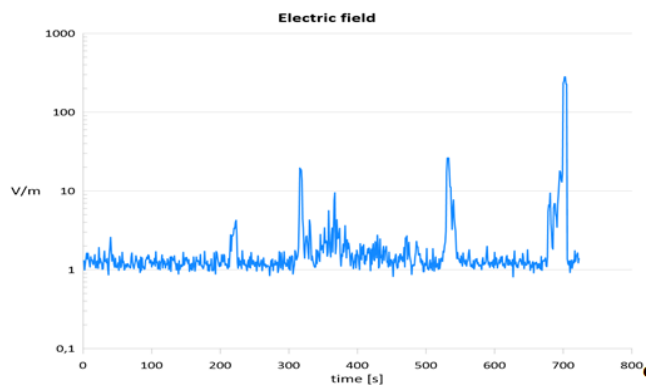


Rys.4. Zdjęcia z badań na terenie farmy fotowoltaicznej

Badania terenowe

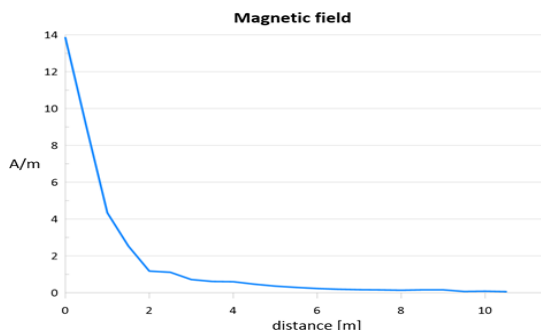
Badania przeprowadzono przy użyciu miernika Mashek ESM100 (dla składowej 50Hz) oraz zestawu dwóch anten pomiarowych i odbiornika pomiarowego ESCI3 Rohde&Schwarz (zakres 9kHz-1GHz) zgodnie z praktyką inżynierską i zasadami monitoringu pól [10].

Ważnym czynnikiem oceny oddziaływania elektromagnetycznego infrastruktury farmy fotowoltaicznej była właściwa ocena jej pracy w trakcie różnego nasłonecznienia. Większość dnia pomiarowego panowała podobna pogoda (bezczmurne niebo), niemniej zdarzały się okresy z chmurami i prześwitami. Efekt różnych poziomów „pracy” instalacji jest widoczny na wykresie rysunku 5, a zarejestrowane skoki poziomu natężenia są właśnie związane z wyjściem słońca zza chmur i zwiększoną wówczas produkcją i przesyłem energii elektrycznej.



Rys.5. Wpływ zachmurzenia i słońca na poziom emisji pola magnetycznego, punkt pomiarowy przy rozdzielni

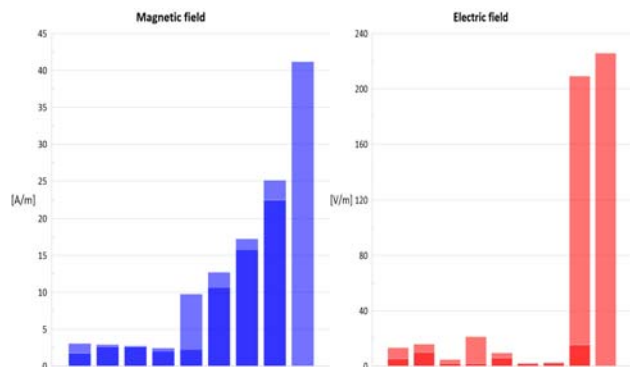
Ocena oddziaływania infrastruktury na farmach sprowadza się do określenia poziomów emisji pola od głównych obiektów elektroenergetycznych – stacji rozdzielczo-transformatorowych, analogicznie jak i innych obiektach [9-11]. To w stacji schodzi się wiele sekcji, tu energia jest przetwarzana i poprzez transformator dopasowywana do odbiorczego poziomu średniego lub wysokiego napięcia. Kluczowym jest określenie czy rejestrowana wokół obiektu rozdzielni emisja pola oddziałuje w dalszej odległości. Wykres na rysunku 6 prezentuje zmianę natężenia H pomiędzy rozdzielnią a krańcem farmy (za siatką ogrodzeniową droga publiczna). Zgodnie z teorią, największe wskazania natężenia rejestrowane są przy obiekcie, ale już po kilku metrach poziom maleje i osiąga średnie wartości tła na tym terenie.



Rys.6. Wykres zmienności natężenia pola magnetycznego pomiędzy obiektem rozdzielni a ogrodzeniem terenu farmy

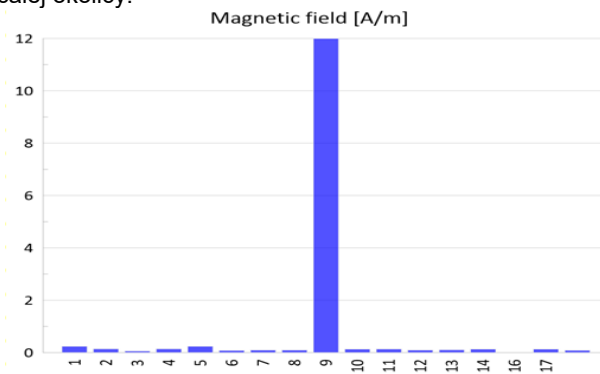
Na kolejnym wykresie zaprezentowano wartości natężeń składowej elektrycznej i magnetycznej wokół budynku i w środku rozdzielni. Pierwsze słupki to wyniki

uzyskane chodząc wokół stacji (miernik w odległości ok. 30 cm od ścian). Przedostatni słupek to pomiar w „drzwiach”, a ostatni to pomiar w środku stacji. Pomiary wykonano dwukrotnie – przy zamkniętych drzwiach (ciemniejsza barwy) i otwartych (jaśniejsza barwa wykresów).



Rys.7. Wartości natężenia pól E i H wokół budynku stacji przy otwartych i zamkniętych drzwiach

Ważnym punktem z punktu widzenia opinii środowiskowej jest również strefa w pobliżu samych paneli fotowoltaicznych. W tym celu wykonano kilka serii pomiarów przemieszczając się pomiędzy sekcjami paneli PV. Na wykresie, rysunek 8, zaprezentowano przykładową serię pomiarów. Punkt 9. z największą zarejestrowaną wartością to lokalizacja tuż przy falowniku, zamontowanym na konstrukcji paneli pomiędzy sekcjami, pozostałe punkty nie wykazują wartości znacząco przekraczających średnie tło całej okolicy.

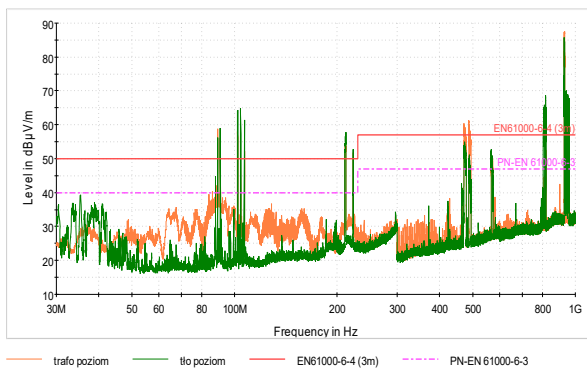


Rys.8. Wartości natężenia pola magnetycznego wzdłuż zestawu paneli fotowoltaicznych

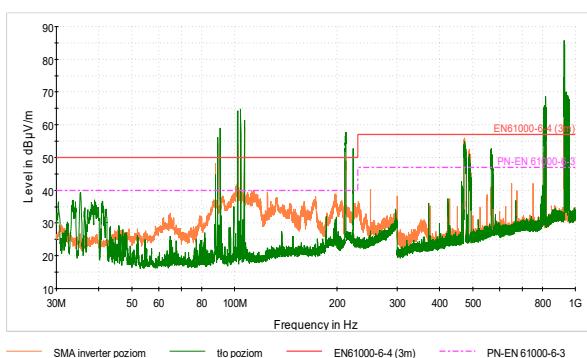
Ostatni etap badań terenowych obejmował pomiary natężenia pola elektromagnetycznego w paśmie 9kHz-1GHz. To zakres badań emisyjnych prowadzonych w przypadku analizy kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń i instalacji. Mimo stosowania certyfikowanych elementów instalacji (modułów PV, falowników itp.) całościowo po pełnym uruchomieniu instalacja może wykazywać odstępstwa od dopuszczalnych limitów, dlatego zasadne są weryfikacje na obiekcie rzeczywistym.

Na kolejnych, dwóch rysunkach (Rys. 9 oraz 10) zaprezentowano wyniki uzyskane w dwóch punktach na terenie farmy. Pierwszy wykres prezentuje pomiar przy rozdzielni (usytuowanie pokazuje rysunek 4). Poziom emisji aparatury elektroenergetycznej, pomiarowej, telekomunikacyjnej i samych instalacji zaprezentowano kolorem pomarańczowym. Jako poziomy odniesienia, tła elektromagnetycznego wskazano poziom jako zidentyfikowano na krańcach farmy, kilkadziesiąt metrów od urządzeń elektrycznych. Analogicznie zaprezentowano

wyniki dla drugiego punktu zlokalizowanego w pobliżu falowników przy panelach.



Rys.9. Poziomy emisji elektromagnetycznej zlokalizowane przy rozdzielni oraz tła elektromagnetycznego na terenie farmy



Rys.10. Poziomy emisji elektromagnetycznej zlokalizowane pomiędzy sekcjami paneli PV, w pobliżu falowników oraz tła elektromagnetycznego na terenie farmy

W obydwu punktach można stwierdzić, że działająca w pobliżu infrastruktura – urządzenia i instalacje są źródłem poziomu emisji które dla środowiska nieuprzedmiotowionego stanowiłoby już niedopuszczalny poziom zaburzeniowy.

Wnioski

Investycja w fotowoltaikę to nie tylko inwestycja ekologiczna, przyjazna dla środowiska naturalnego, ale także dla samych użytkowników. Można stwierdzić, że prawidłowo zainstalowana i eksploatowana instalacja fotowoltaiczna nie stanowi żadnego zagrożenia dla życia i zdrowia ludzi.

Każdy projektowany i budowany projekt farmy fotowoltaicznej wymaga analizy wpływu pól elektromagnetycznych na środowisko (wykonanej czy to poprzez modelowanie czy pomiary terenowe).

Zaprezentowane w artykule wyniki badań własnych autora są zgodne z informacjami zawartymi w literaturze branżowej i raportami środowiskowymi inwestycji fotowoltaicznych. Zidentyfikowane natężenia pól elektrycznych i magnetycznych o niskiej częstotliwości są niższe niż wartości graniczne określone w normach i nie stanowią negatywnego oddziaływania. Pola elektromagnetyczne o wysokiej częstotliwości są również mniejsze niż limity norm środowiskowych, ale wykazują podwyższone poziomy w aspektach kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń i instalacji.

Badania współfinansowane z grantu Politechniki Lubelskiej, FD-20/EE-2/412

Autor: dr inż. Paweł A. Mazurek, Politechnika Lubelska, Katedra Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Nadbystrzycka 38a, 20-618 Lublin, E-mail: p.mazurek@pollub.pl.

LITERATURA

- [1] Dąbrowski M., Dąbrowski A., Urządzenia do pozyskiwania i przetwarzania energii słonecznej – stosowane technologie i zagrożenia dla użytkowników, *Bezpieczeństwo Pracy*, 2/2016, 23-27
- [2] Łukasik Z., Kozyra J., Kuśmińska - Fijałkowska A., Oddziaływanie przesyłu i rozdziału energii elektrycznej na środowisko naturalne, *Autobusy*, 2017, 06, 312-315
- [3] Gryz K., Karpowicz J., Zradziński P., Pole magnetyczne wytwarzane przez wyposażenie elektroenergetyczne w budynkach – zalecenia profilaktyczne dotyczące ograniczenia narażenia długotrwałego, *Bezpieczeństwo Pracy*, 2011, nr 5, 16-19
- [4] Rochalska M., Wpływ pól elektromagnetycznych na florę i faunę, *Medycyna Pracy*, 2009(60), 43-50
- [5] Nadolny Z., Oddziaływanie pola elektrycznego i magnetycznego na organizmy żywe. (pod red.) Jankiewicz S., *Uwarunkowania i wyzwania dla energetyki*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Bankowej w Poznaniu, Poznań 2015
- [6] Noga H., Olszewska D., Ptak P., Prauzner T., Migo P., Badanie i symulacja oddziaływania zmiennego pola elektromagnetycznego na rozwój mikroorganizmów, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2018, 1, doi:10.15199/48.2018.01.19
- [7] Zmyślony M., Działanie biologiczne i skutki zdrowotne pól elektromagnetycznych w aspekcie wymagań raportów o oddziaływaniu przedsięwzięć na środowisko, *Medycyna Pracy*, 2007(58), 27-36
- [8] Szuba M., Hasiec I., Papiński P., Śmietanka H., Zajdler K., Zmyślony M., Gryz K., Karpowicz J., Narażenie na pole elektromagnetyczne w przestrzeni pracy podczas użytkowania systemów elektroenergetycznych i elektrycznych instalacji zasilających prądu przemiennego w energetyce. Metoda pomiaru pola elektromagnetycznego in situ – wymagania szczegółowe, *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 2016, nr 4(90), 91–150
- [9] Bieńkowski P., Podlaska J., Pole elektromagnetyczne w środowisku - pomiary i monitoring w Polsce, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2017, 12, 71-74
- [10] Horyński M., Majcher J.: Application of cloud computing in programming intelligent electric networks in prosumers' households. *Journal of Ecological Engineering*, 2016, nr 5, vol. 17, 107-113
- [11] Goleman, R., Majcher, J., & Bańka, K. (2023). Electromagnetic compatibility of selected elements of building automation. *Przegląd Elektrotechniczny*, 99(5)
- [12] Ustawa Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001r. (t.j. Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627)
- [13] Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (t.j. Dz.U. z 2017r., poz. 1405 z późn. zm.)
- [14] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 2019 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (t.j. Dz.U. z 2019r. poz. 1839)
- [15] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. 2007 nr 120 poz. 826)
- [16] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 grudnia 2019 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku (Dz.U. poz. 2448)