



Rzeszów, 03.11.2025 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Kacpra Skarżyńskiego
pt. „Opracowanie technologii wytwarzania elementów
systemu pozyskiwania i bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej
z zastosowaniem techniki przyrostowej druku aerozolowego”**

Promotor: dr hab. inż. Marcin Słoma, prof. uczelni

Recenzja przygotowana na podstawie

***Uchwały nr 176/III/2025 r. Rady Naukowej Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne
z dnia 30 września 2025 r.***

w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy Pana mgr. inż. Kacpra Skarżyńskiego

1. Charakterystyka tematyki rozprawy doktorskiej

W dniu 17 października 2025 r. otrzymano do recenzji pracę mgr inż. Kacpra Skarżyńskiego pt. „*Opracowanie technologii wytwarzania elementów systemu pozyskiwania i bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej z zastosowaniem techniki przyrostowej druku aerozolowego*”, która stanowi podstawę dla prowadzonego na Politechnice Warszawskiej (PW) postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Tematyka pracy została ulokowana w obszarze konstrukcji i aplikacji układów radiowych (RF – ang. *radio frequency*), które są przeznaczone do pozyskiwania energii (EH – ang. *energy harvesting*) z pola elektromagnetycznego (EM – ang. *electromagnetic*) systemów radiokomunikacyjnych różnego przeznaczenia. Zagadnienie pozyskiwania energii z pola EM stanowi jedną z kilku dynamicznie rozwijających się metod konwersji energii dostępnej w otoczeniu, którą można także przetwarzać ze źródeł termicznych (za pomocą generatorów termoelektrycznych – ang. *thermal electric generator*), mechanicznych (generatory piezoelektryczne – ang. *piezo electric generators*) czy fotonicznych (ogniwa fotowoltaiczne – ang. *solar cell*). Istota koncepcji zawartej w pracy doktorskiej została wpisana w przekształcanie energii fali EM emitowanej przez nadajniki systemów radiokomunikacyjnych (np. telefonii komórkowej, Wi-Fi, telewizyjne, radiowe czy satelitarne), w energię elektryczną możliwą do wykorzystania przez urządzenia niskomocowe (ang. *low power devices*).

Podstawowym elementem układu RF do pozyskiwania takiej energii jest antena prostownicza/prostująca (ang. *rectenna*), która stanowi połączenie radiatora, układu dopasowania i prostownika, często realizowanego z wykorzystaniem diod Schottky’ego. Sprawność takiego systemu m. in. zależy od dopasowania impedancyjnego, charakterystyki promieniowania anteny oraz efektywności konwersji energii w układzie prostującym. Ze względu na niewielką wartość gęstości mocy w zurbanizowanym środowisku (rzędu $\mu\text{W}/\text{cm}^2$), aktualne badania są kierunkowane na minimalizację strat i poprawę parametrów obwodów dla pracy przy niewielkich mocach.

Współczesne zastosowania układów pozyskiwania energii z pola EM systemów radiowych głównie są widoczne w obszarze Internetu rzeczy (IoT – *internet of things*), systemów czujnikowych oraz elektroniki noszonej (ang. – *wearable electronics*), w której m. in. zawarte są rozwiązania tekstroniczne oraz urządzenia wykonywane w postaci elektronicznych opasek/naszyjników, gdzie nawet niewielka ilość pozyskiwanej energii umożliwia zasilanie układów o bardzo małym poborze mocy. Przykładem są autonomiczne czujniki środowiskowe, półpasywne identyfikatory techniki radiowej identyfikacji obiektów (RFID – ang. *radio frequency identification*), układy telemetryczne czy urządzenia do monitorowania procesów biologicznych. Rozwijane są również układy hybrydowe, w których pozyskiwanie energii z pola EM stanowi jedno z uzupełniających źródeł zasilania, jakie pozwala zwiększyć niezawodność i trwałość urządzeń działających w rozproszonych systemach informatycznych.

Znaczenie tych rozwiązań układowych wynika z globalnego trendu dotyczącego miniaturyzacji urządzeń elektronicznych, które mogą być autonomiczne, bezobsługowe. Chociaż efektywność pozyskiwania energii z fal radiowych jest obecnie dość ograniczona, to ciągły postęp naukowo-przemysłowy dotyczący: projektowania anten szerokopasmowych, wykorzystania nowych procesów technologicznych, stosowania materiałów o dużej sprawności konwersji oraz mało stratnych układów prostowniczych sprawia, że przedmiotowa koncepcja staje się coraz bardziej realna w praktycznych zastosowaniach. W dłuższej perspektywie zagadnienie pozyskiwania energii z pola EM systemów radiokomunikacyjnych różnego przeznaczenia wpisuje się w ideę inteligentnych środowisk sensorycznych, stanowiąc ważny kierunek przyszłościowych badań nad autonomicznymi systemami elektronicznymi.

Dzięki wymienionym cechom, zaproponowana w pracy koncepcja opracowania sposobu wytwarzania wybranych urządzeń systemu bezprzewodowego pozyskiwania energii elektrycznej z zastosowaniem techniki przyrostowej druku aerozolowego wyraźnie wpisuje się z tendencje rozwojowe w przedmiotowym zakresie. To sprawia, że przedstawioną do oceny pracę charakteryzuje wysoki stopień innowacyjności i oryginalności w zakresie podjętego tematu.

2. Charakterystyka układu pracy, struktury podziału treści, kolejności rozdziałów

Do recenzji dostarczono pracę w formie książkowej o rozmiarze B5-, której treść zawarto na 189 stronach, wliczając w to: podziękowania, polsko i anglojęzyczne streszczenie, wykaz skrótów, spis treści, główną część dziesięciu numerowanych rozdziałów oraz bibliografię. W ujęciu statystycznym można stwierdzić, że obszerny przegląd literatury (rozdział 2) zajmuje ok. 31% treści pracy, a bibliografia – 28% (co łącznie stanowi 59%), natomiast pozostała jej część (rozdziały: 1, 3-10) – ok. 41%.

Oceniając organizację recenzowanego materiału można stwierdzić, że w najbardziej ogólnym ujęciu jego struktura jest prawidłowa, a przedstawione założenia zostały odpowiednio sformułowane w tekście dla realizacji założonego celu. Niemniej jednak, układ pracy, podział treści i kolejność rozdziałów można było zorganizować w sposób bardziej czytelny.

Po pierwsze, cel i zakres pracy nie powinien stanowić treści odrębnego rozdziału 3, ponieważ nie ma w nim żadnego podziału treści (podobnie jak w rozdziale 1 czy 5). Dozwolonym wyjątkiem bez podziału jest podsumowanie (rozdział 10). W opinii recenzenta, treść rozdziału trzeciego mogła stanowić podrozdział wprowadzenia, w którym już częściowo omówiono zakres pracy. W tym kontekście, w rozdziale pierwszym można było omówić przedmiot pracy (rozdział 1.1), jej cel i zakres (rozdział 1.2) z nakreśleniem problematyki (rozdział 1.3), której rozwinięciem byłaby treść stanu wiedzy (omówiona przez Autora w obszernym rozdziale 2). Następnie powinna zostać zamieszczona uporządkowana treść autorskiej części pracy. Należało ją rozpocząć od odpowiednio sformułowanych założeń, których brakuje w tym miejscu. Dopiero w dalszej kolejności można było zawrzeć opis zrealizowanych zadań cząstkowych, łącznie z omówieniem użytych metod badawczych, uzyskanych wyników i ich krytycznej oceny.

Po drugie, kolejność treści w autorskiej części pracy (rozdziały 4-9) także nie została do końca dobrze przemyślana i uporządkowana zarówno w kontekście związku przyczynowo skutkowego, jak również w odniesieniu do realizacji zadań cząstkowych, jakie szczegółowo należało rozszerzyć i omówić w zakresie pracy, czyli w proponowanym rozdziale 1.2. W tym względzie niebudzącym żadnych wątpliwości, kluczowym osiągnięciem Autora jest opracowanie i rozwój stanowiska drukarki aerozolowej, które bez żadnych założeń czy koncepcji – częściowo zostało omówione w rozdziale 4.2, a obszerniej w rozdziale 5. W opinii recenzenta autorską część (czyli rozdział 5) należało rozpocząć od założeń dla zapowiedzianej w temacie koncepcji „*opracowania technologii (...) z zastosowaniem techniki druku aerozolowego*”. Następnie można było przejść do omówienia procesu zaplanowanych w tym stanowisku prac eksperymentalnych, a w dalszej kolejności do realizacji badań, uzyskiwania wyników i ich oceny. Wprawdzie te wszystkie elementy można odnaleźć w różnych częściach rozdziałów 4-9, ale nie są one uporządkowane. Ponadto, treści rozdziałów 7-9 nie ma swojej reprezentacji ani w celu, ani w zakresie pracy. W ocenie recenzenta możliwe było opisanie związku tych uzupełniających prac badawczych z tytułem doktoratu. Żeby to osiągnąć należało jedynie odpowiednio sformułować dla nich zadania cząstkowe, jakich realizacja była konieczna dla osiągnięcia trochę bardziej rozbudowanego celu pracy, co powinno zostać omówione w zmodyfikowanym rozdziale 1.

Po trzecie, w kilku rozdziałach można zaobserwować wytłuszczone tytuły, którym nie przypisano numeracji (dotyczy rozdziałów: 2.2.1, 2.3, 2.4.2, 2.4.3, 3, 5, 6.1 oraz 9.2). Z punktu widzenia ciągłości tekstu, takie sekcje powinny być odpowiednio ponumerowane, nawet w przypadku konieczności zastosowania podziału kolejnego rzędu. Ponadto, nazwy rozdziałów nie powinny się dublować. Przykładowo, dla głównego rozdziału 6 i jego sekcji 6.8 przypisano tę samą nazwę „anteny prostownicze”. Dodatkowo, czasami można napotkać niewłaściwą numerację kolejnych podrozdziałów. Przykładowo na s.78 zamiast 2.3 powinien być numer 4.3, którego adnotacja powinna być także zawarta w spisie treści, ponieważ obecnie jej nie ma.

Po czwarte, nieścisłość wprowadza „wykaz oznaczeń i skrótów”, w którym zawarto tylko skróty bez jakiegokolwiek oznaczenia. Chociaż aparat matematyczny zaprezentowany w pracy jest dość skromny, ponieważ obejmuje zaledwie 6 wzorów, to w tym wykazie należało także zamieścić oznaczenia, które są często przywoływane w tekście ze względu na realizowane obliczenia i pomiary. Ponadto, oznaczenia wyspecyfikowane w tym spisie powinny być uporządkowane alfabetycznie.

3. Charakterystyka treści pracy

W ramach ocenianej pracy doktorskiej Autor postanowił rozwiązać oryginalny problem naukowy, którego nadrzędnym celem było „*opracowanie technologii wytwarzania elementów systemu pozyskiwania i bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej z zastosowaniem techniki przyrostowej druku aerozolowego*”. Jak wspomniano w pierwszym punkcie recenzji, tak sformułowane zagadnienie badawcze bardzo dobrze wpisuje się w aktualne potrzeby poszukiwania skutecznych techniczno-technologicznych sposobów na pozyskiwanie energii

elektrycznej dla celu zasilania urządzeń IoT z różnych źródeł, w tym z fali EM systemów radiokomunikacyjnych różnego przeznaczenia.

W rozdziale pierwszym Autor skrótowo nakreślił podstawowy obszar zastosowania przyjętej koncepcji układowo-technologicznej na tle przewidywanego wzrostu liczby urządzeń IoT z perspektywą do 2030 roku. Ten przegląd w zrozumiały sposób uzasadnia potrzebę układowej realizacji radiatorów anten prostowniczych/prostujących z wykorzystaniem wybranej metody przyrostowego druku aerozolowego. Metoda ta została zestawiona przez Autora z innymi znanymi procesami technologicznymi, czyli z drukiem strumieniowym, grawiurą czy sitodrukiem, które od wielu lat są wykorzystywane laboratoryjnie i przemysłowo m. in. do wytwarzania radiatorów anten prostowniczych/prostujących. Opis ten w wystarczający sposób uzasadnia dokonaną krótką charakterystykę zakresu pracy, która znajduje swoje odzwierciedlenie w kolejnych rozdziałach przyjętego przez Autora podziału treści. Zgodnie z uwagą zawartą w drugim punkcie recenzji, to uzasadnienie mogłoby być pełniejsze, ale po odpowiednim uzupełnieniu i uporządkowaniu treści. Nie zmienia to jednak faktu, że Autor zrealizował wszystkie wymagane elementy założonego zadania badawczego, które są wystarczające do kompleksowego rozpatrywania pracy.

Główną część dla uzasadnienia podjętego tematu można odnaleźć w treści wyjątkowo obszernego przeglądu literatury, jaki zawarto w rozdziale 2. W tej części pracy Autor szczegółowo odnosi się do wybranych zagadnień stanu wiedzy, które przede wszystkim dotyczą: Internetu rzeczy (rozdział 2.1), istoty i konstrukcji układów pozyskiwania energii elektrycznej z pola EM systemów radiokomunikacyjnych (rozdział 2.2), a także obszaru drukowanych urządzeń elektronicznych (rozdział 2.3) i ich zastosowania (rozdział 2.4). Na podkreślenie zasługuje fakt, że Autor bardzo skrupulatnie selekcjonuje i przywołuje źródła literaturowe, a ponadto prowadzi właściwą narrację zarówno dla omawianych zagadnień ogólnych, jak też szczegółowych. Przywołanie w tym rozdziale ponad 420 aktualnych źródeł literatury świadczy o dobrym rozeznaniu przedmiotowych zagadnień, na podstawie których przewidziano rozwiązanie założonego problemu badawczego. Jego cel i skrótowy zakres (obejmujący niepełną stronę tekstu) sformułowano w rozdziale 3.

Przeprowadzony przegląd literatury stanowił podstawę do omówienia zagadnień autorskiej części pracy, którą zawarto w rozdziałach 4-9. W pierwszej kolejności Autor dokonał charakterystyki materiałów technologicznych wykorzystywanych do realizacji prac eksperymentalnych (rozdział 4.1). Następnie (w rozdziale 4.2) zostały wymienione narzędzia programowe wykorzystywane przez Autora do modelowania radiatora anteny prostowniczej/prostującej (komercyjny Ansys HFSS) oraz jej układu przetwarzania energii (darmowy QucsStudio). W rozdziale tym dokonano także wstępnego omówienia kluczowego dla pracy doktorskiej – stanowiska drukarki aerozolowej, a także procesu wytwarzania w nim próbek badawczych. W podsumowaniu tej części pracy (rozdział 4.3) Autor dokonał krótkiej charakterystyki narzędzi wykorzystywanych w procesach pomiarowych prac eksperymentalnych, w obszarze: wyznaczania parametrów impedancyjnych anten (z wykorzystaniem niskobudżetowego wektorowego analizatora obwodów – NanoVNA w wersji 2), analizy efektywności konwersji mocy w układzie prostownika (VNA) oraz pomiaru geometrii

przygotowywanych próbek (z wykorzystaniem mikroskopu Motic D-EL2 oraz starszego modelu profilometru Tayler-Hobson Talysurf 10).

W rozdziale 5 Autor dokonał szczegółowego omówienia konstrukcji, przeprowadzanych modyfikacji oraz walidacji stanowiska druku aerozolowego. W pierwszej kolejności uwaga została zwrócona na autorską modyfikację modułu atomizera ultradźwiękowego, dzięki której możliwe było zastosowanie regulowanego źródła mocy. Następnie omówiono konstrukcję opracowanego stolika podciśnieniowo-grzewczego, za pomocą którego możliwe było uzyskiwanie bardziej precyzyjnych wydruków. W kolejnej części uwagę zwrócono na problemy wizualizacji procesu druku, które podczas realizacji prac badawczych rozwiązano za pomocą samodzielnie opracowanego mocowania kamery cyfrowej. W ostatniej części znajduje się opis doświadczeń badawczych Autora, które w efekcie doprowadziły do opracowania niedrogiej głowicy z wykorzystaniem druku 3D mSLA. Na podkreślenie w tych pracach zasługuje fakt, że omawiane stanowisko do druku aerozolowego było uzupełniane i rozwijane przez Autora w okresie wielu lat, wpierw w ramach jego pracy inżynierskiej, następnie w trakcie studiów magisterskich, a w finale – w recenzowanej pracy doktorskiej. Tak duże zaangażowanie w tym obszarze umożliwiło Autorowi zbudowanie warsztatu naukowego, który stał się narzędziem dla jego indywidualnego rozwoju, a także realizacji zaplanowanych prac badawczych, jakie mogą być rozwijane w przyszłości.

Treść rozdziału szóstego dotyczy głównej części eksperymentalnych prac badawczych, jakie zaplanowano i zrealizowano w ramach sformułowanego celu. W pierwszej kolejności Autor streścił efekty prac, dzięki którym wydłużono czas operacyjny druku aerozolowego w opracowanym stanowisku. Pomimo tego, że w tekście znajduje się tylko krótkie podsumowanie tych prac eksperymentalnych (sekcja „optymalizacja procesu” w rozdziale 6.1), to w odniesieniu do światowej wiedzy – stanowią one istotny wkład Autora dotyczący pierwszej części tytułu, a także celu pracy. W dalszej kolejności opisano proces syntezy poszczególnych komponentów stanowiska pomiarowego oraz anteny prostowniczej/prostującej, jakie wykonano dla wybranego pasma częstotliwości 2,45 GHz. Ze względu na skomplikowanie procesu technologicznego druku aerozolowego, radiator tej anteny został wykonany w konfiguracji siatkowej (podobnie jak część opracowanych linii transmisyjnych). Z kolei układ prostownika wykonano z wykorzystaniem klasycznej technologii PCB. Główną część badań parametrów impedancyjnych omówiono dla: aerozolowo drukowanego radiatora siatkowego anteny prostowniczej/prostującej (rozdział 6.2) oraz siatkowej konstrukcji linii transmisyjnej (rozdział 6.3). Następnie powtórzono i porównano eksperymenty dla podwójnie siatkowanego radiatora anteny (rozdziały 6.4, 6.5). Rozważono także przypadek wykonania tych urządzeń radiowych z zastosowaniem tuszu o innych parametrach (rozdział 6.6). W przedmiotowych badaniach eksperymentalnych próbowano także wyznaczyć zysk energetyczny przygotowanych próbek anten (rozdział 6.7), jednak te wyniki można rozpatrywać wyłącznie jakościowo, co szerzej skomentowano w czternastym punkcie sformułowanych uwag (piąty punkt recenzji). Finalne badania aplikacyjne zrealizowano z wykorzystaniem autorskiego prostownika przeznaczonego do pracy np. ze zintegrowanym układem zarządzania energią Texas Instruments bq25570 (rozdział 6.8). Badania te przeprowadzono w pobliżu kuchenki mikrofalowej oraz routera WiFi, czyli dwóch typowych źródeł pola EM pracujących w paśmie 2,45 GHz (Rozdział 6.8).

W opinii recenzenta, uzyskane wyniki badań można uznać za wystarczające dla osiągnięcia sformułowanego celu. Mogły one także potwierdzać nasuwającą się nie do końca oczywistą tezę, jakiej brakuje w pracy. Jej istotę mogło stanowić założenie, że z wykorzystaniem metody druku aerozolowego możliwe jest wykonanie wybranych komponentów anteny prostowniczej/prostującej, która będzie przeznaczona do pozyskiwania energii z pola EM systemów radiowych powszechnego użytku. Ten brak w żaden sposób nie obniża wartości naukowej wykonanych i opisanych prac.

W dalszej części pracy Autor omówił wyniki uzupełniających prac badawczych, które były przez niego realizowane samodzielnie lub we współpracy z badaczami z różnych ośrodków naukowych (rozdziały 7-9). Zgodnie z uwagą sformułowaną w punkcie 2 recenzji, treść tych rozdziałów nie ma wyraźnej reprezentacji ani w celu, ani w zakresie pracy. Niemniej jednak ich dołączenie wydaje się słuszne z punktu widzenia przyjętej koncepcji, która mogła być zmodyfikowana poprzez rozszerzenie nadrzędnego celu pracy (lub określenie celów szczegółowych) i specyfikację koniecznych do realizacji dodatkowych zadań cząstkowych.

Przyjmując w recenzji powyższe założenia, w pierwszej kolejności zaprezentowano efekty badań związanych z możliwością zastosowania druku aerozolowego do konstrukcji czujników mikrofalowych pracujących w paśmie do 43 GHz (rozdział 7). Badania te Autor zrealizował w ramach stypendium i współpracy z zespołem z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, pod kierownictwem Profesora Krzysztofa Winczy, w obszarze zakończonego w 2025 r. projektu NCN Sonata BIS pn. *„Wysokowydajne elementy układów front-end pracujące w zakresie fal milimetrowych wykonane z zastosowaniem technologii addytywnego oraz hybrydowego wytwarzania do zastosowań w systemach komunikacyjnych i czujnikowych nowej generacji”*. Główne prace Autora w tym obszarze dotyczyły wykonania mikrofalowego czujnika do pomiaru stężenia glukozy w ślinie z wykorzystaniem techniki druku aerozolowego. Na podstawie uzyskanych wyników, które zostały przedstawione we współautorskiej publikacji [451], potwierdzono użyteczność druku aerozolowego w aplikacjach RF bardzo wielkich częstotliwości.

W kolejnej części opisu uzupełniających prac badawczych Autor postanowił zaprezentować możliwość wytwarzania układów radiowych z wykorzystaniem druku FDM (rozdział 8). Te prace były wykonywane przy współpracy z dr. inż. Bartłomiejem Podsiadłym z PW. W wyniku ich realizacji rozważono możliwość bezpośredniego druku radiatorów, linii mikropaskowych oraz rezonatorów/filtrów za pomocą kompozytowych filamentów przewodzących, z uwzględnieniem możliwości ich elektrochemicznej galwanizacji. Zaprezentowane wyniki nie są bezpośrednio powiązane z główną tematyką pracy doktorskiej, jednak z użytkowego punktu widzenia, mogą one stanowić alternatywę dla druku aerozolowego w przypadku konieczności integracji anten z obiektami, co jest interesującym trendem rozwoju ukierunkowanym na potrzeby przemysłowe.

W ostatniej części opisu uzupełniających prac eksperymentalnych Autor zaprezentował wyniki badań, które mają wskazać możliwość konstrukcji większej liczby komponentów anten prostowniczych/prostujących z wykorzystaniem metody druku aerozolowego (rozdział 9). W tym względzie rozważano druk elementów indukcyjnych (rozdział 9.1), które przykładowo mogą być wykorzystywane do pozyskiwania energii z niejednorodnego pola magnetycznego indukcyjnie

sprzężonych systemów RFID. Następnie Autor omówił wyniki swoich badań związane z zastosowaniem tuszy o różnych parametrach i przeznaczeniu, które mogą być wykorzystywane do konstrukcji pasywnych elementów pojemnościowych, układów wielowarstwowych, a także struktur półprzewodnikowych (rozdział 9.2). W ostatniej części badań uwaga została skupiona na realizacji wydruków aerozolowych na podłożach niepłaskich (rozdział 9.3).

W ostatniej części doktoratu Autor w syntetyczny sposób podsumował wyniki zrealizowanych prac badawczych uzasadniając ich unikalność w odniesieniu do dokonanego przeglądu literatury (Rozdział 10). Na podstawie charakterystyki poszczególnych etapów swoich badań oraz wyszczególnionych najważniejszych osiągnięć naukowych, Autor jednoznacznie stwierdził, że nadrzędny cel pracy został osiągnięty. W opinii recenzenta, na podkreślenie zasługuje jeszcze fakt, że koncepcja technologii wytwarzania anten o konstrukcji siatkowej metodą druku aerozolowego stanowi przedmiot zgłoszenia patentu na wynalazek pt.: „*System bezprzewodowego zasilania elektroniki noszonej*”, z dnia 30.10.2024, zarejestrowanego pod numerem P.450162 (<https://ewyszukiwarka.pue.uprp.gov.pl/search/pwp-details/P.450162?lng=pl>).

4. Charakterystyka doboru i wykorzystania źródeł

W trakcie kolejno omawianych zagadnień, Autor przywołał bardzo dużą liczbę 463 pozycji prawidłowo wyselekcjonowanych i aktualnych odnośników literaturowych, jakie zawarto na 53 stronach manuskryptu, które stanowią 28% jego treści. Należy do nich zaliczyć artykuły w czasopiśmie naukowych, komunikaty konferencyjne, monografie, a także dokumentacje techniczne oraz doniesienia internetowe. Największa część z tych źródeł (do pozycji [426]) znalazła swoje odzwierciedlenie w ramach tematycznego przeglądu literatury, jaki dokonano w rozdziale 2. Na podkreślenie zasługuje fakt, że Autor bardzo skrupulatnie przywoływał kolejne pozycje literatury, z których korzystał w trakcie omawiania szczegółowych zagadnień. W trakcie prowadzonej narracji, szczególnie w obszarze przeglądu literatury (rozdział 2), Doktorant przywołał także swój współautorski dorobek publikacyjny, w którym zawarto pięć wysoko punktowanych artykułów z czasopiśm naukowych zawartych w bazie WoS ([201] – 100 pkt., [269, 356, 451] – 140 pkt. oraz [357] – 200 pkt.).

Drobne niedociągnięcie w tym obszarze stanowi nieuporządkowany i niejednolity wykaz bibliograficzny, w którym często brakuje wymaganych danych, co uniemożliwia czytelnikowi wiarygodną ocenę przywoływanych pozycji. Przykładowo w pozycji [2] podano tylko autorkę i tytuł pracy. Dopiero po weryfikacji okazuje się, że w tym przypadku chodzi o pracę doktorską opublikowaną w USA na Uniwersytecie Kalifornijskim w Los Angeles. Z kolei przy pozycji [3] podano jedynie pierwszego autora, tytuł, rok wydania i DOI. Po weryfikacji okazuje się, że chodzi o publikację w czasopiśmie APL Materials (vol. 12, issue 9). W dalszej pozycji [273] podano tylko skróty nazwiska i imion „B. Y. Y.”, a przytoczony link do publikacji jest niewłaściwy. Nieuporządkowanie widoczne jest także w specyfikacji numerów DOI. W niejednolity sposób są podawane albo same numery DOI, albo ich pełne linki. Ponadto, drobnym błędem jest to, że kilka odnośników przywołanych w tekście zostało wyróżnianych pogrubioną czcionką, nawet pomimo

tego, że w ten sposób Autor chciał zwrócić uwagę czytelnikowi na swoje publikacje. Czasami zdarzało się także Autorowi zbiorowe przywołanie obszernej liczby odnośników, które zdaniem recenzenta powinny być szczegółowo wyjaśnione (np. s.38 [285-294]). Takie działania powodują nadmierne rozszerzanie już i tak bardzo obszernego spisu literatury.

5. Uwagi merytoryczne

Na podstawie lektury pracy doktorskiej, w opinii recenzenta nasuwają się uwagi, które powinny zostać wyjaśnione przez Autora.

1. Proszę o odniesienie się do uwag dotyczących charakterystyki układu pracy, struktury podziału treści i kolejności rozdziałów, jakie zawarto w rozdziale 2 recenzji.
2. W tytule i w celu wskazano, że istotą pracy doktorskiej jest „*opracowanie technologii wytwarzania elementów systemu pozyskiwania i bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej z zastosowaniem techniki przyrostowej druku aerozolowego*”. Po pierwsze, cel nie powinien być kopią tytułu. Po drugie, brakuje jednoznacznego określenia zadań cząstkowych, które były niezbędne dla osiągnięcia sformułowanego celu. Po trzecie, z opisu wykonanych prac wynika, że Autor skupił się na wytwarzaniu techniką druku aerozolowego zaledwie jednego elementu (impedancyjnie dopasowanego radiatora anteny prostowniczej), który został opracowany tylko dla układu pozyskiwania energii z pola EM. W tym kontekście prostownik eksperymentalnego systemu pozyskiwania energii dla pasma 2,45 GHz został wykonany w klasycznej technologii PCB. Po czwarte, treści rozdziałów 7-9 nie są powiązane z nadrzędnym celem pracy.
3. W kilku miejscach już od s.19, 20, Autor popełniał błędy w charakterystyce trzech stref wokół źródła promieniowania, co ma istotny wpływ na rozumienie i wykorzystanie zjawiska pozyskiwania energii w układach różnych pasm częstotliwości. Warto tu przypomnieć, że pierwsza z nich to obszar bliski pola indukcyjnego, powszechnie określany strefą indukcji/bliską. Można ją charakteryzować względem długości fali λ za pomocą odległości r od źródła promieniowania (o największym rozmiarze liniowym L) wg zależności:

$$r \ll \lambda, \quad 0 < r < 0,62\sqrt{L^3/\lambda}.$$

W tej strefie wektor natężenia pola elektrycznego ma dwie współfazowe składowe E_r i E_θ , a wektor natężenia pola magnetycznego – jedną składową H_ϕ . Ponadto, wektory $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ są przesunięte względem siebie o 90° , co powoduje brak promieniowania (gęstość mocy $S=0$). Druga strefa, to obszar bliski pola promieniowania (inaczej strefa pośrednia lub Fresnela), gdzie składowe E_θ i H_ϕ stają się współfazowe ($S>0$, rozpoczyna się przepływ energii wzdłuż kierunku propagacji). Trzeci to obszar pola dalekiego (nazywany także strefą promieniowania, daleką lub Fraunhofera), który można scharakteryzować wg zależności:

$$r \gg \lambda, \quad 2L^2/\lambda < r < \infty.$$

W tej strefie wektory $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ są prostopadłe do siebie i do kierunku rozchodzenia się fali, która lokalnie może być rozpatrywana jako TEM (ang. *transverse electromagnetic wave*).

4. W pracy często pojawiają się skróty myślowe, które prowadzą do błędów merytorycznych. Przykładowo, na s. 27 Autor stwierdza, że stacje bazowe systemów radiokomunikacyjnych emitują stałą wartość promieniowania, co nie jest prawdą. Czym innym jest moc wyjściowa układu nadawczego, czym innym gęstość powierzchniowa mocy promieniowanej fali elektromagnetycznej, a jeszcze czym innym rzeczywisty poziom modulowanej w czasie mocy, który jest zależny od przesyłanych danych i zapotrzebowania na określone usługi telekomunikacyjne.
5. W pracy błędnie jest rozumiana istota systemów radiokomunikacyjnych. Nie zostały one opracowane do transferu mocy (WPT – ang. *Wireless Power Transfer*) tylko do transmisji radiowej, w której energia fali elektromagnetycznej jest niezbędna do jej realizacji. Ta energia może być charakteryzowana przez moduł wektora Poyntinga, czyli przez gęstość powierzchniową mocy promieniowanej fali (w systemach z propagacją fali EM), a także przez niejednorodne pole magnetyczne (pole bliskie – ang. *near field*) reprezentowane przez wartość natężenia pola magnetycznego lub indukcji magnetycznej (np. w indukcyjnie sprzężonych systemach RFID pasm LF i HF). Cechą immanentną tych systemów jest bezprzewodowa transmisja danych, a nie transfer mocy. Wprawdzie faktem jest, że w przypadku indukcyjnie sprzężonych systemów RFID pasm LF (typowo 125 kHz) i HF (13,56 MHz) oraz propagacyjnych systemów pasma UHF (860-960 MHz), energia jest niezbędna do zasilania pasywnych lub półpasywnych identyfikatorów. Jednak to przekazywanie energii (WPT) znów jest niezbędne do realizacji bezprzewodowej transmisji danych. Inaczej jest w przypadku systemów: indukcyjnych (Qi, PMA, WiTricity, Halo), magnetorezonansowych (AirFuel Resonant, WiTricity DRIVE 11/22), pojemnościowych (UCPT, CPT), RF (Powercast, Energous WattUp), optycznych (PowerLight, Emrod) czy ultradźwiękowych (uBeam), gdzie faktycznie transmisja energii jest ich podstawową cechą (pomimo także zachodzącej bezprzewodowej transmisji danych).
6. Funkcje NFC są wykorzystywane w zakresie indukcyjnie sprzężonych systemów RFID pasma HF pracujących z częstotliwością 13,56 MHz. Nie można więc pisać „RFID i NFC”, ponieważ funkcje NFC są elementem techniki RFID. Ponadto, NFC to nie jest ani standard dla transmisji energii czy bezprzewodowego transferu mocy – jak założył Autor, ani żaden protokół. W tych systemach RFID obowiązują protokoły ISO IEC 14443 A/B oraz 15693, w których zawarte są mechanizmy ciągłego przesyłania mocy za pomocą nośnej o częstotliwości 13,56 MHz oraz typu transmisji danych *downlink/uplink* w szczylinie czasowej (HDX – ang. *half duplex*). To nadal są systemy bezprzewodowej transmisji danych (uwaga w punkcie 3).
7. W technice RF nie używa się zwrotu „energia odpadowa” (s. 12), ponieważ podczas każdej transmisji radiowej emitowane fale elektromagnetyczne są tracone w środowisku. Z tego powodu w tym przypadku stosowany jest zwrot „pozyskiwanie energii” albo z fal radiowych (np. w systemach, gdzie zachodzi ich propagacja w wolnej przestrzeni lub w innych ośrodkach materialnych), albo z niejednorodnego pola magnetycznego (jak np. podczas wspomnianej w punkcie 3: radiowej identyfikacji obiektów pasm LF, HF lub w indukcyjnie sprzężonych systemach ładowania urządzeń powszechnego użytku). O części odpadowej (czyli produkcji

ubocznym) powszechnie mówi się przy rozpatrywaniu zagadnień energetycznych w procesach przemysłowo-technologicznych (np. cieplnych, mechanicznych czy chemicznych).

8. W kwestiach przepisów odnoszących się do zagadnień związanych z ograniczeniami emitowanej mocy, Autor popełnił kilka błędów. Po pierwsze, treść rozdziału 2.2.3 jest nieuporządkowana i częściowo błędna. Nie wiadomo z jakiego powodu przyjęto tytuł „*Przepisy regulujące emitowaną moc urządzeń i sieć 5G*”. Przecież te regulacje (ERP/EIRP) odnoszą się do wszystkich systemów radiokomunikacyjnych (nie tylko 5G). Po drugie, Autor nieprawidłowo zdefiniował skrót ERP, ponieważ zamiast błędnej i często powtarzanej definicji „efektywna moc promieniowana” powinno być „zastępcza moc promieniowania”. Ponadto, ten przegląd należało uzupełnić o definicję EIRP, czyli zastępczą moc promieniowaną izotropowo. Po trzecie, Autor przyjął złe założenie, że te przepisy coś „uniemożliwiają” i nie są ze sobą zbieżne (zharmonizowane). Przecież już na ich podstawie powszechnie realizuje się pozyskiwanie energii z pola EM czy buduje systemy WPT, czego dowodem m. in. ma być przedmiotowa praca doktorska. Ponadto, te przepisy właśnie po to są zharmonizowane na poziomie międzynarodowym, europejskim i krajowym, żeby zapewnić efektywne i bezkolizyjne wykorzystanie widma radiowego. Wyjaśniając, na poziomie międzynarodowym ramy są wyznaczone przez zalecenia ITU-R i CEPT (np. ERC/REC 70-03), a w Europie – szczegółowe limity są zdefiniowane w normach ETSI EN dla poszczególnych systemów, takich jak np. RFID, Wi-Fi, GSM, LTE czy 5G. W Polsce limity te są implementowane przez prawo komunikacji elektronicznej (do niedawna prawo telekomunikacyjne) oraz rozporządzenia wykonawcze, a nadzór sprawuje UKE. W USA odpowiednie przepisy znajdują się w częściach FCC Part 15, 22, 24, 27 i innych. Wspólnym celem tych regulacji jest ograniczenie zakłóceń, zapewnienie kompatybilności między systemami i racjonalne gospodarowanie zasobami pasma częstotliwości. Czym innym są natomiast regulacje dotyczące dopuszczalnych poziomów pól EM w środowisku.
9. W systemach RFID pasma UHF nie można mówić, że identyfikator np. „odbiera sygnał o sile -53 dBm” (s.62). Parametrem granicznym identyfikatora jest minimalna moc na zaciskach jego chipu. To zapewnia prawidłowy transfer energii z układu czytnika/programatora (RWD – ang. *read/write device*) do identyfikatora. Z kolei czułość to minimalna moc na wejściu układu RWD dla sygnału fali odbitej od identyfikatora. Parametr ten umożliwia prawidłową detekcję sygnału przesyłanego w kierunku identyfikator-czytnik/programator za pomocą tzw. zjawiska rozproszenia wstecznego (ang. *backscatter communication*). Przykład systemów RFID pasma UHF jest bardzo dobry dla zobrazowania idei, która przyświecała Autorowi podczas opracowania systemu do pozyskiwania energii z pola EM systemów radiokomunikacyjnych powszechnego użytku. Można tu zarówno mówić o skuteczności transferu energii, wymaganych parametrach układów antenowych, jak również o niełatwym dopasowaniu impedancyjnym (sprzężenie impedancji, z których jedna jest zmienna) anteny identyfikatora do pasywnego chipu (klasyczny przykład anteny prostowniczej/prostującej).

10. Do realizacji układów radiowych konieczna jest precyzyjna specyfikacja parametrów użytych materiałów, w tym m. in. względnej przenikalności elektrycznej oraz tangensa kąta stratności dla dielektryków oraz konduktywności dla użytych materiałów lub uzyskanych nadrukowanych warstw przewodzących. Ich znajomość ma kluczowe znaczenie dla realizacji projektów urządzeń radiowych, a później weryfikacji doświadczalnej ich parametrów (np. impedancyjnych za pomocą wektorowego analizatora obwodów – VNA). W tym względzie w opisie rozdziału 4.1 odnotowano wyraźne braki. Proszę o uzupełnienie tych informacji, a także o wyjaśnienie skąd pochodzą wskazane dane, czy i jak je wyznaczano/mierzono. Ponadto, jakie parametry przyjęto w obliczeniach numerycznych ANSYS HFSS, których wyniki są zestawiane z pomiarami w rozdziałach 6 i 8. Takie informacje powinny być podawane dla każdej próbki, żeby można było określać wiarygodność uzyskiwanych wyników, jakie można porównywać z innymi pracami B+R.
11. Wektorowy analizator obwodów nanoVNA jest dedykowany do zastosowań amatorskich lub edukacyjnych, ponieważ ma niewielką dynamikę, a jej niestabilny zakres powyżej 1,5 GHz wprowadza istotny czynnik niepewności w pomiarach realizowanych przez Autora (przykład jest widoczny już na rysunku 45). Problem ten pogłębia także kalibracja tego przyrządu, którą najprawdopodobniej przeprowadzano przy wykorzystaniu dołączonego zestawu SOLT (brak modeli, kompensacji adaptacyjnej itp.). Dlaczego Autor nie skorzystał z profesjonalnej aparatury tego typu dostępnej albo w innych laboratoriach Politechniki Warszawskiej, albo w innych ośrodkach naukowych?
12. W przypadku pomiarów dwuportowych linii transmisyjnych nie jest jasne jak wyznaczano S_{11} . Czym była obciążana na końcu badana linia (np. rysunek 48, 49, 52, tablice 3, 4)?
13. Wyniki S_{21} linii mikropaskowej wykonanej na laminacie FR4 przedstawione na rysunku 45 budzą wątpliwości. Skąd tak duża wartość strat? To wygląda albo jak S_{11} linii mikropaskowej zakończonej dopasowanym impedancyjnie obciążeniem, albo jak S_{21} ale dla tłumika o wartości ok. 20 dB. Proszę porównać wyniki S_{21} pomiędzy rysunkiem 45, 48 i 49. Taką samą wątpliwość można sformułować do parametru S_{21} podawanego na s.117 w odniesieniu do anteny drukowanej metodą FDM (-41,4 dB, -52,4 dB). Nieprawidłowe są albo wartości, albo specyfikowane parametry.
14. Wyniki S_{21} drukowanych aerozolowo linii transmisyjnych w paśmie do 40 GHz przedstawione na rysunku 62 także budzą wątpliwości. Wyniki powinny być zupełnie odwrócone w paśmie, ponieważ linia powinna wykazywać coraz większe straty dla coraz większej częstotliwości.
15. O jakim „pomiarze rezystancji” Autor wspomina na s.95? Co to za wartości $57,5 \pm 0,5 \Omega$, $127 \pm 15 \Omega$? Podobne pytanie można sformułować w odniesieniu do pomiarów chyba rezystancji DC, jakie zamieszczono w rozdziale 7 na s.111 ($4,6 \pm 0,6 \Omega$, $3,4 \pm 0,6 \Omega$, $5,4 \pm 1,7 \Omega$). Nie wiadomo co i jak mierzono, jaką metodę i aparaturę wykorzystano, jak wyznaczono błędy pomiarowe itp.
16. Niepoprawne jest określanie długości elektrycznej linii transmisyjnej bez podawania częstotliwości fali, jaka ma się w niej rozchodzić. Dla jakiej częstotliwości rozważano długość elektryczną badanych linii (np. s.96)?

17. Przy definicji i pomiarach zysku popełniono wiele błędów. Po pierwsze, wszystkie parametry należało zdefiniować. Po drugie, błędnie określono strefę promieniowania dla wykorzystanej w pomiarach anteny Yagi-Uda wykonanej w technologii PCB (zależność (4) na s.79). Odległość 2,61 cm leży w obszarze konstrukcji tej anteny i w tym miejscu z pewnością fala nie będzie płaska. Jak zaznaczono w uwadze nr 3, do tych obliczeń należy brać największy rozmiar liniowy anteny, a ten jest związany z długością osiową konstrukcji Yagi-Uda. Po trzecie, nie ma czegoś takiego jak „średni zrealizowany zysk energetyczny” czy „średni maksymalny absolutny zysk energetyczny”, natomiast „bezwzględny zysk energetyczny” (zapewne chodziło o ang. *absolute gain*) trzeba było doprecyzować (brak zależności i wyjaśnienia). Jest natomiast kierunkowość, zysk energetyczny, który można wyznaczać na zadanym kierunku. Po czwarte, w odniesieniu do informacji z rozdziału 6.7, pomiary zysku dla przedmiotowego przypadku muszą być realizowane z wykorzystaniem badanej, pomiarowej i wzorcowej anteny o kierunkowej charakterystyce promieniowania. Ponadto, anteną wzorcową musi być konstrukcja o znanym zysku. W tym względzie, w ujęciu ilościowym, wyniki z rozdziału 6.7 budzą wątpliwości. Można je analizować jedynie jakościowo. Zalecaną literaturą może być np.: C.A Balanis: *Antenna Theory – Analysis and Design* lub J. Szóstka: *Fale i anteny*.
18. Wg recenzenta ważnym osiągnięciem Autora jest efekt jego prac eksperymentalnych, dzięki którym w odniesieniu do światowej wiedzy – wydłużono użyteczny czas druku aerozolowego (sekcja „optymalizacja procesu” w rozdziale 6.1). Dlaczego Autor nie przytoczył w tym względzie wyników tych prac eksperymentalnych ani przyjętych dla nich założeń? Te wyniki są istotne z punktu widzenia pierwszej części tytułu lub celu pracy. Ponadto warto pamiętać, że z naukowego punktu widzenia optymalizacja to proces poszukiwania ekstremum określonej funkcji celu, za pomocą której można opisać jakościową miarę poszukiwanego rozwiązania. Proces ten odbywa się w przestrzeni zmiennych decyzyjnych, przy uwzględnieniu ograniczeń wynikających z warunków fizycznych, technologicznych lub matematycznych. Z przytoczonego opisu wynika, że Autor przeprowadził tylko eksperyment, a nie optymalizację. Jeżeli brakuje funkcji celu lub formalnego kryterium jakości, a „optymalizacja” polega jedynie na dobieraniu parametrów „aż zadziała”, to ten proces nie jest optymalizacją, lecz metodą prób i błędów.
19. Finalne badania sprawności energetycznej przeprowadzono w pobliżu dwóch typowych źródeł pola EM pracujących pasma 2,45 GHz, czyli kuchenki mikrofalowej oraz routera WiFi (Rozdział 6.8). Jak wyglądały te stanowiska badawcze? Wskazane byłoby zwizualizowanie i omówienie tych stanowisk, w których uzyskiwano wyniki zestawione w tabelicy 6 (s.108-109).
20. Dla oceny użyteczności wyników z rozdziału 9.1 warto wyjaśnić kilka wątpliwości. Czy były przyjmowane założenia aplikacyjne dla realizacji konkretnie takiego projektu drukowanych elementów indukcyjnych? Jaką aparaturą i z jaką częstotliwością wykonywano pomiary indukcyjności, jaka była częstotliwość rezonansu własnego badanych próbek?
21. Jakie perspektywy widzi Autor dla rozwoju druku aerozolowego w zakresie techniki RF, zarówno w kontekście czasu trwania tego procesu technologicznego, różnorodności wytwarzanych za jego pomocą komponentów urządzeń radiowych, możliwości komercjalizacji i innych czynników?

6. Ocena formalnej strony pracy

Praca została wykonana z umiarkowaną starannością pod względem technicznym, co świadczy o opanowaniu przez Autora podstawowych zasad przygotowywania tekstów technicznych. Wyszczególnione w tej sekcji błędy zasadniczo nie obniżają wartości merytorycznej doktoratu oraz oceny całości wykonanych prac. Niemniej jednak dla przejrzystości recenzji, poniżej wyszczególniono językowe oraz edytorskie uwagi szczegółowe.

W pierwszej grupie można wyodrębnić typowe błędy stylistyczne, które m. in. wynikają ze stosowania skrótów myślowych, z wyjątkowo częstej tautologii (s.18 – „*Pozyskiwanie energii (...) jest techniką pozyskiwania energii (...)*”, s.20 – „*antena prostownicza składa się z anteny (...)*”, s.81 – „*Atomizer ultradźwiękowy jest urządzeniem służącym do atomizacji ultradźwiękowej (...)*”, s.102 – „*z siatką z linii siatkowych*” itp.), a także z budowania przez Autora zdań wielokrotnie złożonych. Po pierwsze, takie konstrukcje są błędne językowo, a po drugie, stają się one niezrozumiałe dla czytelnika. Przykładem tych błędów może być kilka zdań wybranych z różnych części pracy doktorskiej:

- s.11 – „*Współczesny rozwój możliwy jest przez zwiększanie pojemności miniaturowych baterii i dopasowanie ich kształtu do aplikacji poprzez wykonywanie spersonalizowanych baterii przez twórców poszczególnych rozwiązań, np. baterie w kształcie okręgu w inteligentnych pierścieniach*”;
- s.14 – „*Zweryfikowano możliwości wykonywania elementów indukcyjnych metodą druku aerozolowego, proces przygotowania i weryfikacja możliwości atomizacji i nanoszenia tuszy wykonywanych – przewodzącego na bazie reaktywnej miedzi, dielektrycznego na bazie PMMA oraz półprzewodnikowego na bazie nanocząstek IGZO – oraz komercyjnych – dielektrycznych na bazie tlenków metalii*”;
- s.15 – „*Baterie po pewnym czasie muszą być ładowane lub wymieniane, co wymaga zarówno obsługi przez człowieka jak i konieczności zakupu nowych baterii [24], a wymieniane baterie powodują niekorzystne skutki dla środowiska jako źródła emisji dwutlenku węgla [25]*”;
- s.18 – „*Praktyczne zastosowanie takich anten prostowniczych jest jednak ograniczone przez niezadowalającą integrację diod uniemożliwiającą prawidłowe wyprostowanie pozyskanego sygnału przy wykonywaniu anten prostowniczych metodą odgórną (ang. top-down, np. metodami nano-litografii) albo przez trudność w zebraniu pozyskanego ładunku w podejściu oddolnym (np. diody z antenami typu „patch” z nanocząstek) [52]*”;
- s.20 – „*Anteny prostownicze wykorzystywane w radiacyjnym bezprzewodowym transferze mocy w dalekim polu mogą być również wykorzystane w systemach pozyskiwania energii z fal elektromagnetycznych, dzięki wszechobecności fal elektromagnetycznych w obszarach miejskich [61]*”;

- s.25 – „Użycie komercyjnie dostępnych elementów elektronicznych do wytworzenia układu dopasowania impedancyjnego może być wymagające ze względu na występowanie tych elementów w określonych łańcuchach technologicznych i zakres tolerancji parametrów owych komponentów, powodujące brak możliwości uzyskania komponentów o dokładnie takich wartościach jakich potrzeba”;
- s.39 – „Podczas druku nie wszystkie krople koncentrują się w centralnym punkcie strugi na podłożu – niektóre pojedyncze osadzają się dookoła ścieżki, zmniejszając rzeczywistą rozdzielczość tej techniki, gdyż po pierwsze odpowiednio gęsto usadowione mogą przewodzić, po długie przy pomocy standardowych wizualnych metod inspekcji trudno jest znaleźć granicę między ścieżką a Overspray’em”;
- s.94-95 – „W trakcie eksperymentów najwyższy procent udanych próbek nastąpił podczas lutowania próbek w suszarce komorowej w temperaturze 160 stopni, jednakże i tam nie wszystkie próbki wychodziły udane, a biorąc pod uwagę długi czas wykonywania próbek aerozolowych, możliwość występowania różnic w próbkach z powodów różnic na etapie łączenia ich ze złączami, jak również trudności w symulacji tak sytuowanych względem próbek złączy w oprogramowaniu Ansys HFSS, stwierdzono konieczność zastosowania innego typu łącznika próbek”.

Pomimo powszechnego stosowania niektórych zwrotów w języku potocznym, co do zasady, w pracy technicznej wpierw powinny być one wyjaśnione, zdefiniowane/doprecyzowane, a następnie jednolicie stosowane. W tym kontekście przy pierwszym powołaniu należało doprecyzować, że „antena prostownicza/prostująca (ang. *rectenna*)” stanowi połączenie radiatora, układu dopasowania i prostownika. Ponadto, należało utrzymywać jednolite tłumaczenia zwrotów anglojęzycznych. Autor nie dotrzymuje tej zasady, jak np. w przypadku zwrotu ang. *wearable electronics*, który raz jest (prawidłowo) określany skrótem myślowym „elektronika noszona” (s. 5), a innym razem (niejednolicie i nie do końca prawidłowo) – zwrotem „elektronika osobista” (s. 11, 19, 31, 32, 45).

W pracy można zauważyć niewłaściwą – osobową formę treści (np. stronach: 14 – „przedstawiam”, 16 – „zaliczamy”, 76 – „moich”), a także typowe błędy personifikacji (np. na stronach: 16, 46, 106 – rysunek/ilustracja/przegląd „przedstawia”). Problematyczna jest też interpunkcja, ponieważ Autor często nie wstawia przecinków przed spójnikiem „który”, co powoduje brak rozdzielenia zdania nadrzędnego od podrzędnego. Brakuje także właściwych znaków interpunkcyjnych w wypunktowaniach i w innych miejscach, w których należy zachować ciągłości zdania (np. po dwukropku). Ponadto, „liczba” dotyczy rzeczy policzalnych, natomiast „ilość” – niepoliczalnych. Takie błędy odnotowano w miejscach, gdzie powinna być użyta forma policzalna (np. na stronie 11 powinna być „liczba urządzeń”, 19 – „liczba przeszkód”, 26 – „liczba stopni”, 49, 68, 124 i 136 – „liczba zwojów”, 93, 113, 131, 134 – „liczba warstw”, 98 – „liczba linii”). Autor niewłaściwie stosuje także inne zwroty językowe, gdzie „za pomocą” należy używać względem czegoś, a „przy pomocy” odnoście kogoś (błędy w 54 miejscach). Dodatkowo, w tekście formalnym należy używać słowa „kilkanaście”, a nie „paręnaście” (s.11), które wprawdzie jest dopuszczalne, ale tylko jako forma potoczna. Podobnie, zamiast przestarzałej

formy „jednakowoż” (s.95) należało użyć spójnika „jednakże” lub „jednak”, a zamiast „podobnież” (s.29) – „podobnie”. Zamiast niefortunnego stwierdzenia „antena cewkowa” (strony: 42, 49, 50, 51, 52) – „pętla antenowa”. W pracy odnotowano więcej podobnych przykładów.

Typową uwagę językową można także odnieść do słów „technika/technologia”, które w języku polskim oznaczają co innego (w odróżnieniu do ang. *technology*, które łączy obie definicje). Słowo technika to inaczej metoda (np. technika przyrostowego druku aerozolowego). Z kolei technologia odnosi się do procesu produkcyjnego/wytwórczego (np. technologia wytwarzania elementów systemu). Plusem jest tutaj dobrze sformułowany temat pracy z rozróżnieniem tych dwóch słów. Niemniej jednak w kilku miejscach pracy już nieprawidłowo użyto słowa technologia (np. na stronach: 15, 16, 24, 28, 29, 45, czy 115).

Ponadto, częstotliwość jest „mała/mniejsza” lub „wielka/większa”, a nie „niska/niższa” czy „wysoka/wyższa” (błędy na stronach: 5, 12, 20, 24, 25, 29, 31, 35, 41, 43, 48, 49, 53, 55, 56, 57, 63, 67, 73, 74, 102, 103, 123). W dalszej kolejności, układ pracuje „z częstotliwością” (jak nielicznie prawidłowo zapisano np. na stronach: 44, 50, 68), a nie „na częstotliwości” ani „w częstotliwości” (jak zazwyczaj nieprawidłowo pisano np. na stronach: 29, 32, 41, 43, 44, 46, 51, 52, 53, 54, 56, 58, 59, 62, 68, 75, 78, 90, 96, 97, 99, 100, 106, 110, 112, 136). To samo odnosi się do stwierdzenia, w którym wartość parametru należy opisywać „dla częstotliwości”, a nie „w częstotliwości” (przykładowe błędy na stronach: 119, 122, 133, 134, 135).

Zgodnie z powszechnie obowiązującymi zasadami redakcyjnymi dla prac technicznych, wzory, rysunki i tablice powinny być kolejno numerowane w poszczególnych rozdziałach, co ułatwia odwoływanie się do tych elementów w tekście. Dla przykładu, numery (2.1), (2.2) powinny dotyczyć kolejnych zależności rozdziału drugiego, natomiast Rys. 3.1, Rys. 3.2 – następujących po sobie rysunków rozdziału trzeciego. Na tej podstawie w dowolnej części tekstu można się odwoływać do konkretnej zależności, tablic lub rysunków i nie trzeba ich wielokrotnie powtarzać, jak np. w przypadku wzoru (2.1), który Autor ponownie przywołuje w tekście rozdziału 4 (s.80).

Odnosząc się do błędów edytorskich można wyszczególnić następujące uwagi szczególne:

- wszystkie skróty lub definicje powinny być wyjaśniane jednokrotnie, przy ich pierwszym przywołaniu w tekście, a ponadto, należy stosować ich jednolite formatowanie (np. PCE bez kursywy);
- formatowanie oznaczeń i jednostek powinno być jednorodne w całej pracy (w wykazie ważniejszych oznaczeń, w tekście, na rysunkach, we wzorach, w tablicach), a także zgodne z obowiązującymi zasadami. W tym kontekście zmienne skalarne należy formatować kursywą, macierze/wektory – pogrubieniem bez kursywy (np. **S**), a jednostki – bez kursywy (błędy np. na stronach: 17, 22, 67, 79). Wykorzystywane w pracy wybrane parametry macierzy rozproszenia **S**, to także wielkości skalarne, które należy formatować kursywą za wyjątkiem cyfr w ich indeksach dolnych (S_{11} , S_{12} , S_{21});

- należy stosować właściwy zapis jednostek (kHz zamiast KHz – błędy np. na s.16, 28);
- separatorem dziesiętnym w języku polskim jest przecinek, a nie kropka (błąd np. na s.79);
- rysunki, tablice, punktacje czy wzory nie mogą zaczynać lub kończyć rozdziałów (jak np. na stronach: 20, 21, 31,35, 36, 41, 55, 72, 93, 103, 104, 106. Przed lub po takich elementach wymagany jest co najmniej jeden akapit tekstu. Dozwolony wyjątek stanowi tylko koniec strony, gdzie taki element może być wstawiany (jak np. na stronach: 44, 47);
- w podpisach rysunków po numerze powinna być kropka, która wymusi następującą po niej wielką literę;
- w tekście należy powołać się na każdy rysunek (brak odniesienia do rysunku 40);
- niewielkie tablice nie powinny być dzielone na dwie strony (np. s.100-101);
- należy zadbać o jednolite formatowanie wyjaśnień anglojęzycznych akronimów;
- wartość wielkości i jej jednostka powinna być zapisane w jednej linii (błędy np. na stronach: 5, 32, 54, 59, 64, 66, 67, 73, 93, 94, 97, 98, 113, 119);
- jednostkę od wartości wielkości należy separować spacją za wyjątkiem stopni i procentów (błędy na stronach: 27, 28, 37, 49, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 66, 67, 72, 77, 83, 130);
- temperatura jest parametrem, więc należy używać jej liczby pojedynczej. W tym kontekście na stronach 43, 44, 68 powinno być odniesienie do różnych wartości temperatury;
- mając na uwadze funkcję urządzenia w systemie RFID, prawidłowo powinno być „identyfikator (ang. *transponder*)” (s.53);
- warto byłoby zadbać o eliminację tzw. wdów;
- należało skorygować inne drobne błędy edytorskie (np. s.22 – „wzorem: [82]”) oraz literówki (np. s.39 – „po długie”, s.62 – „wscalonego”).

7. Podsumowanie

W ocenie recenzenta Doktorant spełnił wymogi stawiane pracom technicznym, co przy dalszym rozwoju przedmiotowych badań może zapewnić ich użyteczność dla otoczenia społeczno-gospodarczego. W tym kontekście, po pierwsze, zrealizowane prace zostały ukierunkowane na praktyczny problem badawczy. Po drugie, w części były one rozwijane przy współpracy z innymi ośrodkami naukowymi (np. z zespołem z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie). Po trzecie, chociaż praca w większości ma charakter eksperymentalny, to zawarto w niej innowacyjne aspekty technologiczne, szczególnie w obszarze techniki przyrostowej druku aerozolowego, które przyczyniają się do interdyscyplinarnego rozwoju poszczególnych obszarów dziedziny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Jej odpowiedni poziom naukowy w tym względzie został potwierdzony pięcioma współautorskimi publikacjami zamieszczonymi w wysoko punktowanych czasopismach naukowych. Ponadto, efekty tych prac znalazły swoje odzwierciedlenie w ubiegłorocznym zgłoszeniu patentowym. Tak przeprowadzona prezentacja cząstkowych wyników prac Doktoranta została odpowiednio skorelowana ze światową wiedzą, jaka m. in. wynika z dokonanego obszernego przeglądu literatury tematu.

Podsumowując, praca doktorska pt. *„Opracowanie technologii wytwarzania elementów systemu pozyskiwania i bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej z zastosowaniem techniki przyrostowej druku aerozolowego”* autorstwa mgr inż. Kacpra Skarżyńskiego dotyczy istotnego problemu naukowego, a jej temat wpisuje się w aktualne kierunki badań w dziedzinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Autor wykazał się dogłębną znajomością literatury przedmiotu, wystarczającą umiejętnością stosowania odpowiednich metod badawczych oraz samodzielnością w formułowaniu wniosków. Przedstawiona rozprawa spełnia wymogi formalne i merytoryczne stawiane pracom doktorskim, a wyniki badań wnoszą wkład w rozwój wiedzy w danej dziedzinie naukowej. Pomimo sformułowanych uwag i wskazanych błędów uznaję, że nie wpływają one na ogólną wartość naukową rozprawy. W związku z powyższym rekomenduję dopuszczenie tej pracy doktorskiej do publicznej obrony.

Piotr Jankowski - Mihułowicz