

Prof. dr hab. inż. Patryk Urban

18/09/2025

.....
tytuł, stopień, imię i nazwisko recenzenta

.....
data

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie

.....
miejsce pracy

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY NAUKOWEJ DYSCYPLINY AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA,
ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE KOSMICZNE
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Tytuł rozprawy: „Zintegrowane, wielokanałowe układy nadawczo-odbiorcze do zastosowań w sieciach dostępowych”

Autorka rozprawy: mgr inż. Aleksandra Paśnikowska

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (cel i teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez Autorkę?

Zagadnienie naukowe rozpatrzone w pracy dotyczy wielokanałowych układów nadawczo-odbiorczych wytwarzanych w generycznych technologiach fotoniki scalonej i przeznaczonych do zastosowań w elementach aktywnych sieci dostępowych tj. OLT i ONT/ONU wykorzystujących transmisję jednomodową i zwielokrotnienie w dziedzinie długości fali (WDM-PON) lub transmisję kilkumodową i zwielokrotnienie przestrzenne (SDM-PON).

Teza rozprawy postawiona przez Autorkę brzmi cyt. „Generyczne technologia fotoniki scalonej na platformie fosforku indu pozwala na wytworzenie w pełni funkcjonalnych układów scalonych do zastosowania w rzeczywistych systemach”.

Celem pracy było opracowanie zintegrowanych układów fonicznych nadawczo-odbiorczych od etapu projektu funkcjonalnego, przez przeprowadzenie symulacji oraz opracowanie topografii w celu fabrykacji fonicznych układów zintegrowanych, a skończywszy na zbadaniu próbek pod względem właściwości statycznych i dynamicznych. Fabrykacja próbek została przeprowadzona u partnerów zewnętrznych: Smart Photonics w Holandii i Fraunhofer HHI w Niemczech.

Zarówno teza oraz obrane cele zostały dostatecznie jasno sformułowane w przedmiotowej pracy.



2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle?

W pracy przeprowadzono analizę źródeł w wystarczający sposób. Ilość odwołań do źródeł wynosi 275 i charakteryzuje je duża różnorodność: periodyki naukowe o światowej renomie (w tym m.in. z wydawnictw IEEE), źródła konferencyjne o uznanym statusie, rekomendacje, specyfikacje itd.

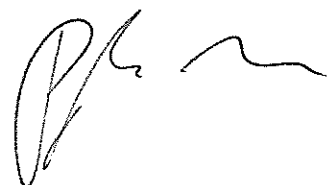
Taki dobór źródeł oraz ich adekwatne zastosowanie w rozprawie świadczy o dostatecznej wiedzy Autorki, znajomości współczesnej literatury i bardzo dobrym przygotowaniu Autorki do pracy naukowej.

3. Czy Autorka rozwiązała postawione zagadnienia, czy użyła właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Praca ma charakter głównie projektowy i doświadczalny z wykorzystaniem narzędzi projektowych, symulacyjnych oraz fizycznych z wykorzystaniem układu testowego emulującego rzeczywistą sieć dostępową.

Autorka zaprezentowała kompletne i poprawne rozwiązania naukowe do zdefiniowanych problemów. Przez kompletność w tym przypadku należy rozumieć: zdefiniowanie wymagań projektowych, projekty funkcjonalne układów, projekty topografii, projekty i realizacje systemów eksperymentalnych do badania i analizy właściwości statycznych i dynamicznych próbek potwierdzających działanie układów.

Zasadność założeń dotyczących funkcjonalności wykorzystanych elementów w projektowanych układach oraz funkcjonalności tychże układów jako podzespołów w systemach ONT i OLT nie budzi większych zastrzeżeń. Jednakże wybór rekomendacji sieci dostępowej GPON G.984 jako punktu odniesienia dla projektowanych układów (strona 29, Tabela 3 przedmiotowej pracy) powinien zostać bardziej szczegółowo uzasadniony i później przedyskutowany w odniesieniu do konkretnych parametrów technicznych np. długość fali, klasa optyki, pasmo modulacji itd. dotyczących zaprojektowanych, wykonanych i przebadanych próbek. Warto byłoby uzasadnić dokonany wybór rekomendacji GPON w porównaniu do niewymienionej w Tabeli 2 str 25 rekomendacji G.9802. GPON nie wspiera zwielokrotnienia w dziedzinie długości fali (WDM) ani modulacji 10Gbps na kanał falowy. Rekomendacja GPON dedykuje jedynie pojedynczy kanał falowy na dany kierunek transmisji (nie w pasmach, na których badane były próbki) przy maksymalnej modulacji 2.5Gbps. Symetryczna modulacja 10Gbps w systemach opartych o dzielnik mocy jest przewidziana w rekomendacji uznawanej za pochodną GPON tzn. XGS-PON (G.9807). Natomiast transmisja WDM w sieci dostępowej jest przewidziana w innej generacji sieci PON (G.9802), gdzie każdy kanał ma wspierać transmisję 10-25Gbps. Rekomendacja ta przewiduje wykorzystanie różnych architektur w sekcji dystrybucyjnej sieci PON (AWG i/lub dzielnik mocy), co częściowo może mogłoby uprościć kwestię filtrowania kanałów falowych w projektowanych układach nadawczo-odbiorczych. Kolejną – równie istotną – rekomendacją jest NGPON2 (G.989), który można uznać za „stacked-XGS-PON” wykorzystujący 4-8 kanałów falowych do implementacji transmisji paru systemów w oparciu o TDM (na wzór XGS-PON) na jednej infrastrukturze światłowodowej z dzielnikiem mocy.



Powyższe należy uznać za brak wystarczającego uszczegółowienia w zakresie dot. założeń projektowych. Należy jednak zaznaczyć, że nie rzutuje to na wartość naukową przedmiotowej pracy.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek Autorki, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Oryginalność i wartość naukowa rozprawy opierają się na opracowaniu innowacyjnych modułów nadawczo-odbiorczych do wielokanałowych światłowodowych sieci dostępowych, które wykorzystują włókna jednomodowe oraz, jako wątek dodatkowy w rozprawie, włókna kilkumodowe. Autorka udowodniła działanie zaprojektowanych obwodów fotonicznych w systemie testowym PON z wykorzystaniem modułów wykonanych na wybranej platformie materiałowej u partnerów zewnętrznych. Praca zawiera oryginalne osiągnięcia Autorki, które na tle zaprezentowanego stanu wiedzy stanowią wyraźny krok w rozwoju techniki.

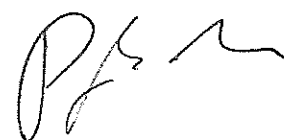
Oryginalność wyników, ich adekwatność oraz wartość naukowa została udowodniona publikacjami recenzowanymi. Przegląd najważniejszych osiągnięć został podsumowany w Rozdziale 8. przedmiotowej pracy. Zamieszczony tamże zestaw całkowitego dorobku Autorki zawiera wyraźnie zaznaczone oryginalne pozycje związane z tematyką rozprawy. Na wyróżnienie zasługuje duża aktywność Autorki w zakresie propagowania osiągnięć na istotnych wydarzeniach naukowych. W wielu publikacjach kandydatka jest wymieniona jako pierwsza Autorka, co świadczy o tym że była pomysłodawcą rozwiązań lub przynajmniej pełniła wiodącą rolę w powstaniu publikacji. Na szczególne wyróżnienie zasługuje współautorstwo licznych topografii układów scalonych, które uzyskały ochronę własności intelektualnej, co jest raczej rzadko spotykane na tym etapie kariery naukowej.

5. Czy Autorka wykazała umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Praca składa się z 9 numerowanych sekcji w tym „Podsumowanie” i „Bibliografia”. Na wyróżnienie zasługuje umieszczenie bardzo zrozumiałej, czytelnej sekcji wprowadzającej temat projektowania fotonicznych układów zintegrowanych. Dodanie sekcji z wykazem użytych w pracy skrótów byłoby bardzo przydatne dla odbiorcy.

Autorka wykazała się umiejętnością przekonującego, jasnego, zwięzłego, merytorycznego i stylistycznego przedstawienia przez siebie wyników. Należy podkreślić, że praca została bardzo dobrze osadzona w kontekście sieci FTTx i konkretnych wyzwań technicznych związanych z zastosowaniem proponowanych rozwiązań.

Przedstawione wyniki wskazują na bardzo dobrą jakość sygnału (brak tzw. „error floor” na wykresach BER nawet na poziomach niższych niż $\log(\text{BER}) = -9$), która pod względem potencjalnych zastosowań opracowanych układów jest warunkiem krytycznym. Czytelnik pozostaje jednak z lekkim niedosytem w zakresie analizy sygnału – np. na str. 140 stwierdzenie „(...) wartość współczynnika ekstynkcji maleje wraz ze wzrostem szybkości transmisji” nie daje odpowiedzi na pytanie o przyczynę takiego zachowania: czy jest to efekt działania układu nadawczego, ograniczenie pasma po stronie elektrycznego systemu testowego itd. Nie jest też jednoznacznie stwierdzone skąd wynika różnica w wartościach współczynnika ekstynkcji między Tabelami nr 18, 19 i 20 sięgająca wielu dB. W Tabeli nr 23



zniekształcenie diagramu oka dla CH16 na poziomie sygnału wysokiego (logiczne „1”) pokazuje pewną nieliniowość tj. dłuższy czas narastania wraz ze zbliżaniem się do poziomu maksymalnego. Narzędziem przydatnym w analizie diagramu oka jest tzw. maska diagramu oka, która posiada określone parametry, pomagające ustalić zgodność sygnału z rekomendacjami. Np. dla systemu XGS-PON (10Gbps/10Gbps) maska diagramu oka zdefiniowana jest w G.9807.1. Bardziej szczegółowa analiza wyników dałaby podstawy do nakreślenia dalszej drogi optymalizacji i rozwoju układu.

Ponadto z treści rozprawy nie wynika dlaczego zastosowano jedynie 5km włókna w systemie testowym, podczas gdy przywoływane rekomendacje przewidują dystanse przekraczające nawet 20km, a dla systemów PON typu long-reach lub extended-reach sięgają nawet 40-60km. Należy dodać, że w praktyce dystanse sieci PON najczęściej zawierają się w przedziale 10-20km.

W pracy widoczne są nieliczne błędy strony redakcyjnej, jednak nie wpływają one znacząco na czytelność pracy ani tym bardziej na jej wartość naukową. Do takich uchybień należy zaliczyć: nieczytelność niektórych grafik np. rys. 20, rys. 75c, rys. 81 (brak jednostki na osi X), gramatyka w pierwszych akapitach sekcji 4.2.2. i 4.4.2., czy zapożyczenia z języka angielskiego mające już swoje odpowiedniki w języku polskim (np. str. 31 „warstwa korowa” to „warstwa szkieletowa”).

6. Jaka jest przydatność rozprawy z punktu widzenia nauk technicznych?

Praca odnosi się do rzeczywistej i bieżącej problematyki technicznej w rozwoju sieci PON, nad którymi pracują wiodące akademickie ośrodki naukowe i przemysłowe jednostki badawczo-rozwojowe na świecie. W szczególności dotyczy to właśnie wydajnych wspierających szerokie pasmo modulacji fotonicznych zintegrowanych modułów nadawczo-odbiorczych do zastosowań w sieciach najnowszych generacji ze zwielokrotnieniem w dziedzinie długości fali. Wkład przedmiotowej pracy w rozwój nauk technicznych w skali globalnej jest widoczny i znaczny natomiast w skali krajowej ze względu na brak przemysłowych ośrodków R&D zajmujących się rozwojem warstwy fizycznej światłowodowych sieci dostępowych obecnie przydatność ogranicza się głównie do świata naukowego akademickiego.

7. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Rozprawa nie zawiera istotnych wad wpływających na przekaz lub wartość naukową. Wymienione wcześniej niedociągnięcia szczególnie w zakresie analizy założeń technicznych (kwestia wyboru rekomendacji ITU jako punktu odniesienia dla projektowanych układów) stanowią znikome uchybienia. Do innych nieznaczących uchybień należy zaliczyć:

- a. Brak precyzyjnej definicji sieci PON. Kwestią otwartą w branży sieci dostępowych pozostaje definicja pasywnych sieci optycznych, gdzie „pasywność” najczęściej rozumiana jest jako brak elementów wymagających zasilania w sekcji dystrybucyjnej sieci PON – co zgodne jest z definicją zawartą w rozprawie na str. 23. Warto jednak zaznaczyć, że rekomendacje ITU przewidują zastosowanie w sekcji dystrybucyjnej sieci PON wzmacniaczy (ang. reach extenders) np. G.984.6 dla GPON lub G.9807.2 dla XGS-PON, które ze swojej natury wymagają zasilania. W związku z tym w/w definicję sieci PON coraz częściej uszczegóławia się poprzez wyraźne zaznaczenie, że w



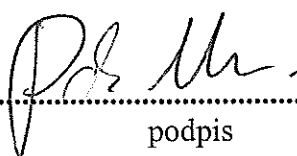
odróżnieniu od ang. *Active Optical Network (AON)* obszar dystrybucyjny sieci *Passive Optical Network (PON)* nie wymaga aktywnego węzła (np. router'a).

- b. Niepoprawna definicja FSAN. Na str. 24 przedmiotowej pracy FSAN określono jako grupę, w której opracowywane są standardy sieci dostępowych. Należy jednak wyjaśnić, że pokutuje tu powszechne postrzeganie tej organizacji, które od lat echem odbija się w różnych publikacjach. W praktyce i od strony formalnej organizacja ta jest jedynie zrzeszeniem grupy operatorów telekomunikacyjnych i producentów sprzętu telekomunikacyjnego, którzy cyklicznie debatują na temat technicznych aspektów sieci PON kolejnych generacji. Efektem tychże debat są niewiążące dokumenty techniczne, które przekazywane są do prac nad wiążącymi rekomendacjami np. w ITU. Dopiero zatwierdzone rekomendacje (np. ITU) są powszechnie dostępnymi dokumentami stanowiącymi wytyczne dla sektora telekomunikacyjnego.
- c. Brak wytyczenia następnych potencjalnych kroków w rozwoju koncepcji w kierunku np. zwiększenia zasięgu zaproponowanych układów nadawczo-odbiorczych, wykorzystania zaawansowanych technik modulacji, zastosowania gęstszej siatki WDM itd.

8. Czy rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy?

Praca prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedmiotem pracy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego udokumentowane publikacjami naukowymi. Praca została napisana w języku polskim i zawiera streszczenie w języku angielskim.

Przedmiotowa praca spełnia z nadmiarem wymagania – ze względu na uzyskaną ochronę własności intelektualnej dot. wielu topografii układów scalonych – stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z art. 187 Dz.U.2023.742 Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.


.....
podpis

