

Opole, 04.03.2025  
dr hab. Inż. Mariusz Pelc, profesor uczelni  
Uniwersytet Opolski  
Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki  
Instytut Informatyki  
u. Oleska 48, 45-910 Opole

## Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. Marcina Lewandowskiego, zatytułowanej „*Algorytmy dynamicznej selekcji węzła nadrzędnego w celu wydłużania czasu życia bezprzewodowej sieci sensorowej*”.

Promotorem recenzowanej rozprawy jest dr hab. Inż. dr hab. inż. Bartłomiej Płaczek, prof. UŚ, a promotorem pomocniczym rozprawy jest dr inż. Tomasz Orczyk.

Podstawę sporządzenia niniejszej recenzji stanowi Uchwała nr 58/2024 Rady Naukowej Instytutu Informatyki Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach z dnia 18.12.2024r.

Niniejsza recenzja zawiera ocenę spełnienia przez przedłożoną rozprawę doktorską warunków określonych w art. 13 ust 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz.U. z 2017 poz. 1789) w związku z art. 179 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r.

Recenzja została sporządzona na podstawie oceny rozprawy doktorskiej przedłożonej przez wnioskodawcę.

### Wybór tematyki pracy

Tematyka recenzowanej rozprawy dotyczy zagadnień związanych z bezprzewodowymi sieciami sensorycznymi, należącymi do szerszej klasy urządzeń Internetu Rzeczy (ang. Internet of Things). Pomimo, iż sama dziedzina naukowa związana z bezprzewodowymi sieciami sensorycznymi ma już bardzo dobrze ugruntowaną pozycję, o czym świadczą bardzo już liczne prace naukowe (tak artykuły naukowe, jak i prace awansowe różnych szczebli), to jednak bardzo daleko jest do stwierdzenia, że w dziedzinie tej właściwie wszystko zostało już powiedziane. Wręcz przeciwnie, szczególnie w czasach obecnych, gdy w zasadzie w sposób wykładniczy wzrosło zapotrzebowanie na dane pochodzące z monitoringu różnego rodzaju zjawisk nie tylko dotyczących tych typowych dziedzin zastosowań (np. monitoring środowiska, czy też np. monitoring w agrokulturze), pojawiają się nowe dziedziny zastosowań bezprzewodowych sieci sensorycznych, jak np. bardzo ostatnio popularny monitoring parametrów życiowych pacjentów za pomocą WBANs, skutkiem czego jest wprost proporcjonalny wzrost zapotrzebowania na rozwiązania pozwalające wydłużyć czas życia takich sieci sensorycznych. I to pomimo faktu, iż stosowane dzisiaj bezprzewodowe czynniki oferują już na start bardzo dobrą efektywność energetyczną.

Oczywiście, na przestrzeni czasu podejmowane były różnego rodzaju badania lokujące się w tej dziedzinie, m.in. związane z opracowaniem bardziej efektywnych i energooszczędnych protokołów komunikacyjnych, usprawnienia protokołów zarządzania energią, wprowadzenia technik inteligentnego uśpienia, aż po równie intensywne prace po stronie poprawy efektywności samych baterii/akumulatorów, czy w końcu wyboru ilości/pozycji węzłów odpowiedzialnych za komunikację pomiędzy siecią sensoryczną a siecią zewnętrzną (ang. sink position). Jedną z gałęzi badań wywodzącej

się z tej ostatniej grupy jest klasteryzacja węzłów sieci oraz wybór węzła nadrzędnego. W tej właśnie dziedzinie można umiejscowić badania, których wyniki są zawarte w recenzowanej rozprawie.

Na podstawie powyższych rozważań można zatem stwierdzić, że podjęcie tematyki badań ukierunkowanej na poprawę efektywności energetycznej poprzez wybór węzła nadrzędnego, a w konsekwencji możliwość wydłużenia w ten sposób czasu życia sieci sensorycznej uważam za bardzo trafny wybór, jako że praca nad tego typu rozwiązaniami jest uzasadniona, a sama **tematyka jest nie tylko aktualna, ale też istotna.**

## 2. Teza i cele pracy

W recenzowanej rozprawie najpierw zostały zaprezentowane i omówione jej główne cele (łącznie określono ich 6), następnie została sformułowana jedna teza pracy w brzmieniu: *„Uwzględnienie prawdopodobieństw transmisji danych w algorytmie podejmowania decyzji dotyczącej zmiany węzła nadrzędnego pozwala wydłużyć czas życia sieci sensorowej składającej się z węzłów współpracujących w ramach klastra.”*. W mojej ocenie postawione **cele badawcze są istotne**, a sama **teza ma właściwy ciężar gatunkowy oraz jest wyrazista** i co równie ważne – w pełni weryfikowalna.

## 3. Organizacja i strona redakcyjna rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa doktorska liczy łącznie 122 stron tekstu i została podzielona na 7 rozdziałów głównych (wraz z podsumowaniem). Dodatkowo w pracy zawarto bibliografię oraz rozdział zawierający załączniki do pracy. Bibliografia liczy 175 pozycji, tak artykułów konferencyjnych, jak i artykułów opublikowanych w różnych czasopismach naukowych. Wśród pozycji literaturowych dopatrzyłem się **1 pozycji stanowiącej publikacje Autora** (jest to praca współautorska z Promotorem, w pracy tej mgr. Lewandowski jest pierwszym autorem). Pracę tę opublikowano w czasopiśmie *Sensors* w roku 2019 zatem publikację tę można uznać za naukowo dobrą.

Jeśli chodzi o zawartość pracy i jej poszczególnych rozdziałów, to Rozdział 1. zatytułowany jest „Wprowadzenie” i zawiera onw istotnie prezentację problematyki pracy. Rozdział 2 zatytułowany jest „Przegląd metod wydłużania czasu życia sieci sensorowej”, jego zawartość opisuje ogólne rozwiązania dotyczące wydłużania czasu życia sieci sensorycznych. Rozdział 3. zatytułowany jest „Istniejące algorytmy wyboru węzła nadrzędnego”, a jego zawartość można uznać za prezentację ścisłego kontekstu badań, bowiem omówione zostały w nim stosowane dotychczas algorytmy wydłużania czasu życia bezprzewodowych sieci sensorycznych. Rozdział 4. zatytułowany „Proponowane algorytmy” można uznać za kluczowy z punktu widzenia wkładu Autora do dziedziny badań, jako że zawiera on propozycję autorskich algorytmów wyboru węzła nadrzędnego w celu poprawy czasu życia sieci sensorycznej. Rozdział 5. zatytułowany jest „Model bezprzewodowej sieci sensorowej” i jest również istotną częścią wkładu Autora do dziedziny, gdyż przedstawiono w nim model sieci sensorycznej pozwalający na badanie proponowanych algorytmów wyboru węzła nadrzędnego pod kątem czasu życia bezprzewodowej sieci sensorycznej. Rozdział 6. nosi tytuł „Eksperymenty i dyskusja wyników.” Zawiera najistotniejsze wyniki wraz z ich omówieniem. Rozdział 7. Zatytułowany „Podsumownie.” stanowi podsumowanie pracy.

Rozprawa napisana została w całości w języku polskim, w sposób zrozumiały i poprawny językowo, a jej edycja jest staranna. Struktura pracy jest poprawna, logicznie uporządkowana, dość typowe. Zawarte w pracy tabele i rysunki są czytelne i wyraźnie opisane.

Praca nie jest całkowicie wolna od niewielkich usterek stylistycznych i technicznych, o których piszę szerzej w punkcie 5. recenzji, jednak nie jest ich wiele. Rozdział ten zawiera również uwagi natury merytorycznej.

## 4. Osiągnięcia naukowe I uwagi pozytywne

Główne osiągnięcia przedstawione w pracy jako **nowatorskie i oryginalne** można znaleźć przede wszystkim w Rozdziale 4., gdzie zawarta została:

- propozycja algorytmu wydłużenia czasu życia sieci sensorycznej poprzez wydłużenie czasu do rozładowania jednego węzła oraz
- propozycja algorytmu wydłużenia czasu życia sieci sensorycznej poprzez wydłużenie czasu do rozładowania wszystkich węzłów.

Istotne w odniesieniu do wymienionych osiągnięć jest to, że zaproponowane algorytmy pozwalają na zauważalne wydłużenie czasu życia sieci sensorycznej w porównaniu do algorytmów stosowanych dotychczas, co potwierdzają przeprowadzone badania oraz załączone rezultaty tych badań.

Natura powyższych osiągnięć stanowi o relewantności niniejszej rozprawy, należy też uznać, iż stanowią one **istotny wkład** Autora do dziedziny **informatyka**. Można przy okazji stwierdzić, iż Autor wykazał się zdolnością zdefiniowania problemu naukowego, znalezienia metody jego rozwiązania oraz jest w stanie dodatkowo skonstruować środowisko badawcze pozwalające na przeprowadzenie niezbędnych badań, zebrania oraz przedstawienia wyników oraz ich przedyskutowania i wyciągnięcia odpowiednich wniosków.

## 5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Uwagi, które nasuwają się po zapoznaniu z treścią rozprawy mają charakter tak redakcyjny, jak i merytoryczny. Nadmienię w tym miejscu, iż uwagi redakcyjne nie mają one wpływu na ocenę merytoryczną samej rozprawy, a ich przedstawianie ma na celu wskazanie obszarów, w których poprawki mogłyby w mojej ocenie wpłynąć pozytywnie na sam odbiór pracy. Zatem, od strony merytorycznej / reakcyjnej mam następujące uwagi, głównie o charakterze dyskusyjnym, a nie krytycznym:

### 1. Uwagi redakcyjne:

- a) Generalnie, w pracy zawarto wiele rysunków i tabel. Część z rysunków, przynajmniej fragmentami, jest mało czytelna, lub też opisana niejednorodną czcionką (chodzi konkretnie o rozmiar) jak przykładowo Rys. 2.1., w którym w zasadzie niemal każda z metod wydłużających czas życia sieci jest napisana innym rozmiarem czcionki, od zupełnie czytelnego do niemal całkowicie nieczytelnego. Abstrahując od samej czytelności, można po prostu stwierdzić że od strony prezentacji mogłoby to wyglądać lepiej.
- b) Z kolei, zastanawiam się dlaczego Rys. 6.5. nie został przeskalowany tak, aby wykresy stanowiły jego całość (a przynajmniej zdecydowaną większość)? Rozumiem, że długość poszczególnych wykresów jest zależna od rzeczywistego czasu rozładowania baterii, ale jedna oś czasu jest do 1100 minut (np. Rys. 6.5 i zdecydowana większość innych), podczas gdy czas rozładowania baterii to nieco ponad 800 minut, drugi wykres (Rys. 6.6) ma oś czasu sięgającą 2000 minut i tutaj dla odmiany wykresy rozciągają się na całej długości osi, a z kolei Rys. 6.9. ma oś czasu wyskalowaną do 3750 minut, podczas gdy same wykresy kończą się w okolicy 3100 minut. Zastanawiam się, czy taki sposób prezentacji jest dość

zrozumiały, a przede wszystkim, z czego wynika wyskalowanie osi czasu szczególnie w przypadkach, gdy wykresy nie rozciągają się na całej osi czasu.

- c) W mojej opinii praca zyskałaby, gdyby znalazł się w niej rozdział dotyczący przeglądu literatury. Jak pisałem we wstępie, tematyka pracy lokuje się w dziedzinie dość mocno eksplorowanej naukowo, dlatego też dokonany w sposób krytyczny i uporządkowany przegląd literatury pozwoliłby w łatwy sposób nie tylko mnie, ale również każdemu potencjalnemu odbiorcy pracy jej tło, a także pozwoliłby na ocenę rzeczywistego wkładu Autora i jak się on ma do tego, co do tej pory w tej dziedzinie zostało zrobione. Pewnych elementów przeglądu literatury można się doszukać w rozdziale 2.5, jakaś forma dyskusji z tym, co do tej pory zrobione w dziedzinie pracy jest do znalezienia również w rozdziale 3., ale jako takiego, przeglądu literatury według mnie brakuje.
- d) Oprócz tego w pracy tej brakuje mi również rozdziału typowo metodologicznego (zatytułowanego np. „Metodologia badań”), w którym zostałyby przybliżone w jaki sposób będą prowadzone badania, ich cel/celowość, pod jakim kątem, itp. Jest to o tyle istotne, że przy obecnym układzie pracy o tym co ja jak będzie badane dowiadujemy się w treści innych rozdziałów, w których te badania są w istocie prowadzone, ale tam jest to wymieszane z opisem parametrów oraz z samymi wykresami. Wyekstrahowanie z tego wszystkiego czystego opisu metodologii, a następnie odniesienie się do jej adekwatności jest przez to utrudnione. A przecież można było w łatwy sposób oddzielić metody od wyników, z pożytkiem (w mojej oczywiście opinii) dla każdego z tych elementów.
- e) Zastanawia mnie klucz, w jakim poukładana została kolejność referencji (rozdział Bibliografia)? Bo nie jest to porządek alfabetyczny (a przynajmniej nie wydaje mi się, żeby był, ale jeśli jednak jest, to ja nie zdołałem złamać klucza), nie wygląda również na chronologiczny. Dobrze, że przynajmniej pozycje literaturowe są podane w formacie IEEE, bo inaczej bibliografia byłaby po prostu trudna do ogarnięcia.
- f) Niektóre rysunki zdają się po prostu nie być niezbędne, jak np. Rys. 1.3. Myślę, że można przyjąć założenie, że docelowy odbiorca tej pracy rozumie ich specyfikę. Zamiast tego można było dodać ważniejsze elementy (rozdziały wcześniej wspomniane).
- g) Praca została napisana naprawdę bardzo dobrze od strony językowej, w związku z czym naprawdę trudno było wskazać jakieś istotne usterki w tym zakresie. Niemniej, znalazłem wprawdzie nieliczne, ale jednak przykłady, gdzie (chyba) zdarzyło się kilka bardzo niewielkich błędów stylistycznych/interpunkcyjnych, np.:

- strona 41, w zdaniu „W sytuacji, gdy jako pierwszy węzłem nadrzędnym jest węzeł o niższym poziomie energii początkowej ( $i = 2$ ) czas życia sieci zostaje wydłużony do 28 cykli.” wydaje mi się, że przed „czas” powinien być przecinek,

- strona 85, w zdaniu „Drugi etap przeprowadzonych eksperymentów rozpoczęto od scenariusza w którym rola węzła nadrzędnego (...)” chyba również brakuje przecinka przed „w którym”.

## 2. Uwagi merytoryczne:

- a) Generalnie, algorytmy wyboru węzła nadrzędnego (ang. Superior Node Selection) stanowią zauważalną część badań w dziedzinie bezprzewodowych sieci sensorycznych, dlatego też algorytmów tych trochę opracowano (są również stosowane metody wyboru typowo losowego). Tymczasem zaproponowane w pracy algorytmy zostały porównane z algorytmami LEACH, EDCR i FDCR. Dlaczego akurat z tymi?
- b) Kolejną wątpliwość dotyczy samego sposobu opracowania autorskich algorytmów wyboru węzła nadrzędnego. Mam tu na myśli fakt, że w szczególności geneza pierwszego algorytmu (z drugim jest tylko nieco lepsza sytuacja) nie jest zupełnie znana. Czy jest on modyfikacją

jakiegoś istniejącego algorytmu (wywodzi się z jakiegoś istniejącego)? Bo na ten moment cała ta idea spada trochę z nieba. Brakuje, jak choćby w przypadku drugiego algorytmu, przynajmniej jakiegoś powiązania faktologicznego pomiędzy wynikiem (za jaki można uznać propozycję nowego algorytmu) a danymi/obserwacjami, które do tego wyniku prowadzą. Dopuszczam oczywiście możliwość, że algorytm powstał w wyniku swego rodzaju przysłowiowego „oślnienia”. Jak zaznaczałem na początku tego punktu, z drugim algorytmem jest znacznie mniejszy problem, ponieważ opisane zostało tło oraz przeprowadzona została pewna dyskusja pozwalające zorientować się, przynajmniej co do zasady, w jaki sposób on powstał.

- c) Autor wspomniał o problemach związanych z przeprowadzeniem miarodajnego, czy też powtarzalnego procesu pomiaru czasu rozładowania baterii związanego z fizycznymi parametrami baterii. Z jednej strony doceniam, że informacja na ten temat znalazła się w pracy (wraz zresztą z opisem w jaki sposób problem wyeliminowano/zminimalizowano). Z drugiej strony, jeśli dobrze rozumiem, zastosowano w efekcie metodę pośrednią pomiaru poziomu energii w baterii, a nie bezpośrednią. Podano również informację, że w tej metodzie pośredniej brał udział nie tylko dodatkowy węzeł, ale użyto również zasilacza. W efekcie przyznam, że nie wiem co tak naprawdę zostało zmierzone i jak? Bo jeśli użyto zasilacza, to gdzie i w jaki sposób. Z kolei, w jaki sposób ten dodatkowy węzeł tę energię mierzył? A może nie był to pomiar, a raczej była to swego rodzaju procedura szacowania/estymacji ilości energii w baterii? A jeśli był to szacunek, to czy da się stwierdzić, jakim błędem mógł on być obciążony? Tutaj wracamy do pytania zadanego na początku tego punktu recenzji, czyli co tak naprawdę było mierzone i w jaki sposób?
- d) W pracy Autor wielokrotnie używa sformułowania „proponowana metoda”. Jest to o tyle niefortunne sformułowanie, że Autor, jeśli dobrze rozumiem zaproponował dwa algorytmy poprawy czasu życia sieci. Zakładam (może błędnie, ale jeśli tak, to w mojej opinii nie zostało to dostatecznie dobrze wyjaśnione w pracy) że przez metodę Autor rozumie algorytm? Pytanie jest o tyle zasadne, że w Tab. 6.8. Autor porównuje alternatywne algorytmy do „proponowanej metody”. Której konkretnie? I jeśli jest to jedna z dwóch, to dlaczego akurat tej, a nie tej drugiej? Można przecież w tej sytuacji odnieść się choćby we wspomnianej tabeli do nazw(y) metod(y), co powoliłoby na uniknięcie jakichkolwiek niejednoznaczności. Tymczasem, zrozumienie tego co tak naprawdę przedstawia tabela wymaga się „przegryzienia” przez strony tekstu przed miejscem jej zamieszczenia.
- e) Mam również pytanie czysto techniczne. Mianowicie, pomiary trwały często bardzo, bardzo długie godziny (nawet powyżej 100h). Zakładam, że środowisko badawcze pozwalało na testowanie jednego algorytmu na raz? Jeśli tak, to jak zepewniono powtarzalność pomiarów również w kontekście powtarzalności parametrów otoczenia (np. temperatura), które mają również niebagatelny wpływ na pojemność baterii, a tym samym na czas życia sieci sensorycznej?
- f) W Tab.1.2. można by jeszcze dodać definicję, że za czas życia sieci można uznać czas, w trakcie którego nie dochodzi do segmentacji sieci.
- g) Zastanawia mnie jeszcze jedno. Otóż, w Tab.1.2. wymienionych zostało łącznie 12 definicji czasu życia sieci. Zważywszy, że praca liczy 122 strony, z pewnością można było przeprowadzić bardziej rozległe badania sprawdzając skuteczność opracowanych algorytmów także chociaż w kilku innych przypadkach. Tymczasem skupiono się na definicji dotyczącej czasu rozładowania jednego oraz wszystkich węzłów. Czy mimo wszystko sprawdzana była skuteczność opracowanych algorytmów w odniesieniu do innych definicji?

## 6. Konkluzja

W mojej ocenie praca mgr. Marcina Lewandowskiego zawiera wartościowe wyniki i wedle przedstawionych wyników w wybranych przypadkach bardzo wyraźnie poprawia czas życia sieci sensorycznej. Przedstawione/opracowane przez Autora algorytmy mają charakter nowatorski, a to jest jednym z wymaganych warunków stawianych pracom doktorskim. Warto jednak podkreślić, że dokonana analiza pod kątem wpływu opracowanych algorytmów na czas życia sieci definiowanego jako czas do rozładowania jednego węzła oraz wszystkich węzłów mogła zostać poszerzona o inne przypadki, co pozwoliłoby na zdecydowanie lepszą ocenę faktycznej wartości opracowanych przez Autora algorytmów.

Kolejną zaskakującą sprawą jest dorobek publikacyjny Autora. Z nieco trudnych do zrozumienia powodów w rozprawie zacytowana została tylko jedna praca Autora związana z jej tematyką pomimo, iż Autor łącznie opublikował 13 prac. Wszystkie te publikacje są współautorskie, 3 a z nich wg. Punktacji ministerialnej to publikacje za 100 punktów. W 9 z nich Autor jest wymieniony na pierwszym miejscu. Ponadto, warto podkreślić autorstwo 2 patentów (acz niezwiązanych z tematyką pracy).

W związku z powyższym uważam, że, pomimo, iż wedle mojej opinii zakres badań zawartych w pracy można było zdecydowanie poszerzyć i tym samym pokazać skuteczność zaproponowanych algorytmów w szerszym kontekście, to ostatecznie **rozprawa ta spełnia wymagania spełnia warunki** określone w art. 13 ust 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz.U. z 2017 poz. 1789) w związku z art. 179 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. I może być przedmiotem publicznej obrony w dyscyplinie **informatyka**.



Recenzent

dr hab. inż. Mariusz Pelc, prof. UO