

wpłynęło dnia 23.07.2024

nr ..... zał. ....

Warszawa, 18 lipca 2024

prof. dr hab. inż. Roman Szewczyk  
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP  
Al. Jerozolimskie 202, 02-486 Warszawa  
email: roman.szewczyk@piap.lukasiewicz.gov.pl, tel: [REDACTED]

### Recenzja pracy doktorskiej pt.:

„Efektywne kodowanie korekcyjne dla systemów transmisji w Internecie rzeczy”

Autor: mgr inż. Jakub Hyla

Promotor: dr hab. inż. Wojciech Sułek, prof. PŚ

prowadzonej na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej

#### 1. Wstęp

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Jakuba Hyla została wykonana na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, Pani prof. dr hab. inż. Moniki Kwoki z dnia 13 maja 2024 roku.

#### 2. Ogólna charakterystyka rozprawy, ocena tematu i celu pracy

Przedstawiona praca doktorska została zrealizowana w ramach Programu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt. „Doktorat wdrożeniowy”. Rozprawa doktorska stanowi cykl sześciu powiązanych tematycznie publikacji, w których Doktorant jest współautorem, przy czym Doktorant jest pierwszym autorem w pięciu publikacjach (w tym w publikacjach o najwyższym wskaźniku wpływu – impact factor). Do rozprawy dołączono oświadczenia współautorów pięciu z publikacji, które w sposób jednoznaczny potwierdzają znaczący i oceniony ilościowo, następujący zakres wkładu Doktoranta w przygotowanie publikacji:

1.	Sułek, W., Hyla, J. (2020). Aplikacje kodów korekcyjnych LDPC we współczesnych systemach radiokomunikacyjnych. In J. Izydorzyc (ed.), Elektronika, telekomunikacja, mobilność (Vol. 870, pp. 179–189).	40%
2.	Hyla, J., Sułek, W., Izydorzyc, W., Dzikowski, L., Filipowski, W. (2022). Efficient LDPC encoder design for IOT-type devices. Applied Sciences, 12(5), 2558. <a href="https://doi.org/10.3390/app12052558">https://doi.org/10.3390/app12052558</a>	70%



1

3.	Hyla, J., Sułek, W. (2023). Dekoder LDPC implementowany W Mikrokontrolerze dla Systemów Internetu rzeczy. Przegląd Elektrotechniczny, 1(4), 135–141. <a href="https://doi.org/10.15199/48.2023.04.23">https://doi.org/10.15199/48.2023.04.23</a>	60%
4.	Hyla, J., Sułek, W. (2023b). Energy-efficient raptor-like LDPC coding scheme design and implementation for IOT Communication Systems. Energies, 16(12), 4697. <a href="https://doi.org/10.3390/en16124697">https://doi.org/10.3390/en16124697</a>	70%
5.	Hyla, J., Sułek, W. (2024). Niebinarne Kodowanie LDPC DLA Systemów Internetu rzeczy. Przegląd Elektrotechniczny, 1(3), 251–258. <a href="https://doi.org/10.15199/48.2024.03.44">https://doi.org/10.15199/48.2024.03.44</a>	70%

Szósta z publikacji: Hyla, J., Sułek, W. „Short Blocklength Nonbinary Raptor-Like LDPC Coding System Design and Simulation” została zgłoszona do czasopisma IEEE Access i jest w trakcie recenzji. W odniesieniu do tej publikacji nie podano udziału współautorów. Ponieważ Doktorant jest pierwszym współautorem należy przyjąć, że jego udział w przygotowaniu publikacji wynosi co najmniej 50%. Należy także uwzględnić fakt, że zgodnie z interpretacją Rady Doskonałości Naukowej przedstawioną w dniu 09.11.2020 r w Komunikacie nr 19/2020 dopuszczalne jest, aby rozprawa doktorska, składała się zarówno z prac opublikowanych, jak i nieopublikowanych w chwili składania rozprawy doktorskiej.

Tematyka rozprawy doktorskiej jednoznacznie wpisuje się w obszar dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Obejmuje ona zagadnienia z zakresu elektroniki, w szczególności w zakresie systemów wbudowanych (ang. embedded systems) oraz systemów Internetu rzeczy.

Cel pracy związany jest z rozwojem i walidacją praktyczną rozwiązań w zakresie kodowania korekcyjnego LDPC (ang. Low-Density Parity-Check) w systemach Internetu rzeczy. Zaproponowane rozwiązanie ma charakter oryginalny i zostało dostosowane do implementacji w układach mikroprocesorowych systemów wbudowanych. Należy podkreślić, że zagadnienia kodowania w transmisji danych mają kluczowe znaczenie dla rozwiązań w zakresie Internetu rzeczy. Z tego względu są obiektem intensywnych prac badawczo-rozwojowych w wiodących ośrodkach światowych, zarówno uniwersyteckich, jak i związanych z działającymi globalnie firmami komercyjnymi.

Temat pracy należy uznać za aktualny i ważny, przede wszystkim z punktu widzenia badań stosowanych oraz rozwoju polskich rozwiązań na potrzeby elektroniki. Ponadto stwierdzam, że ze względu na ostrą konkurencję w obszarze podjętych badań, zakres pracy doktorskiej jest ambitny, a jej wyniki należy traktować jako nowatorskie i konkurencyjne w skali globalnej.

Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że opracowane w ramach pracy doktorskiej rozwiązanie w zakresie kodowania korekcyjnego LDPC zostało wdrożone komercyjnie w firmie TKH Technology Poland sp. z o.o. Stanowi to walidację praktyczną opracowanego w ramach pracy doktorskiej rozwiązania i potwierdza, że zrealizowano z powodzeniem założenia Programu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt. „Doktorat wdrożeniowy”.

### 3. Merytoryczna ocena pracy

W pracy wprost przedstawiono tezę naukową, co świadczy o konserwatywnym podejściu zarówno Doktoranta jak i Promotora do struktury pracy doktorskiej w obszarze nauk inżynieryjno-technicznych. Należy jednak zauważyć, że Doktorant w przewodniku po publikacjach, będącym integralną częścią rozprawy doktorskiej, nie wskazał wprost, które wyniki przedstawione w publikacjach potwierdzają przedstawioną tezę. Pomimo tego, fakt dowiedzenia tezy nie budzi wątpliwości pod względem merytorycznym.

Rozprawa doktorska obejmuje sześć publikacji, których struktura i powiązanie tematyczne jest klarowne. Stanowią one łącznie opis procesu analizy, opracowania i weryfikacji praktycznej oraz implementacji rozwiązań w zakresie kodowania korekcyjnego LDPC.

W publikacji nr 1 pt. „Aplikacje kodów korekcyjnych LDPC we współczesnych systemach radiokomunikacyjnych” dokonano przeglądu kodów korekcyjnych LDPC w zastosowaniach radiokomunikacji cyfrowej. Praca ta stanowi podstawę dalszych analiz i rozwoju zaproponowanego rozwiązania.

W publikacji nr 2 pt. „Efficient LDPC encoder design for IOT-type devices” zaproponowano implementację kodowania LDPC w systemie o ograniczonych zasobach sprzętowych, ukierunkowane na aplikacje w zakresie Internetu rzeczy. Opracowane rozwiązanie zaimplementowano z wykorzystaniem niskomocowego mikroprocesora STM32L476. W artykule oszacowano zużycie energii przez mikroprocesor poprzez analizę czasu obliczeń niezbędnych do realizacji kodowania. Uprzejmie proszę o doprecyzowanie w trakcie obrony, w jaki sposób potwierdzono liniowy związek czasu realizacji obliczeń z poborem mocy przez mikroprocesor. Czy w trakcie realizacji procesów kodowania nie zachodzi ryzyko, że na pobór mocy wpłyną np. zróżnicowane schematy zapotrzebowania na dostęp do pamięci mikrokontrolera STM32L476?

W publikacji nr 3 pt. „Dekoder LDPC implementowany w mikrokontrolerze dla systemów Internetu rzeczy” podano przybliżoną zależność opisującą przepustowość dekodera zaimplementowanego w typowym mikrokontrolerze, której niepewność zawiera się w granicach 5%. Zależność ta jest szczególnie użyteczna w praktycznym procesie projektowania układów Internetu rzeczy i umożliwi oszacowanie praktyczne o charakterze inżynierskim.

W publikacji nr 4 pt. „Energy-efficient raptor-like LDPC coding scheme design and implementation for IoT communication systems” zaproponowano algorytm korekcyjny QC-RL-LDPC (ang. quasi-cyclic, raptor-like low-density parity-check). W referacie analizowano pobór mocy implementacji zaproponowanego algorytmu kodowania. Autorzy deklarują pomiary poboru mocy przez mikrokontroler, jednak w publikacji w sposób dość skrótowy opisano metodę pomiaru i oszacowanie niepewności pomiaru poboru mocy. Informacja o niepewności pomiaru jest istotna, ponieważ obserwowane różnice (rys. 13 i rys. 14) są stosunkowo niewielkie. Uprzejmie proszę o doprecyzowanie tej informacji w trakcie obrony.

Publikacja nr 5 pt. „Niebinarne kodowanie LDPC dla systemów Internetu rzeczy” zaproponowano niebinarne kodowanie danych, w którym kluczowa złożoność obliczeniowa wiąże się z dekodowaniem, a więc może być zrealizowana w węźle centralnym systemu, zamiast w procesorze lokalnym w systemie rozproszonym. Zaproponowane rozwiązanie mają

duże znaczenie praktyczne z punktu widzenia rozwoju rozwiązań transmisji danych w urządzeniach Internetu rzeczy.

W publikacji nr 6 pt. „Short Blocklength Nonbinary Raptor-Like LDPC Coding System Design and Simulation” przedstawiono wyniki analiz symulacyjnych z wykorzystaniem metody Monte-Carlo w zakresie porównania zaproponowanych metod kodowania z kodowaniem standardowo stosowanym w sieci 5G. Wykazano poprawę efektywności kodowania w porównaniu z kodowaniem stosowanym w sieci 5G, co należy uznać za znaczące osiągnięcie o charakterze praktycznym.

Należy podkreślić, że przedstawione w recenzji uwagi mają charakter uzupełniający. Nie zmieniają one mojej wysokiej oceny wartości merytorycznej przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej i składających się na nią publikacji.

#### 4. Ocena redakcyjnej strony rozprawy

Publikacje będące kluczową częścią rozprawy doktorskiej są starannie przygotowane, z dużą dbałością o jakość edycyjną. W mojej opinii jest to przede wszystkim zasługa Autorów, a staranność edycyjna publikacji wykracza poza typową korektę oferowaną przez obsługę techniczną wydawców. Jednak Doktorant nie ustrzegł się uchybień językowych i redakcyjnych w przewodniku po publikacjach, które nie obniżają jakości naukowej pracy, lecz utrudniają jej lekturę. W szczególności:

- str. 8: żargonowe określenie „transmisja po łączu w górę”, bez wyjaśnienia znaczenia,
- str. 12: informacje podane na rysunku 1 nie są przypisane do pozycji literaturowej 113, co stanowi edycyjną niespójność z tekstem,
- str. 20: brak dwukropka przed tezą,
- str. 33: podpis rysunku 4 w części w języku angielskim jest po polsku,

Pomimo wskazanych powyżej, drobnych uchybień edycyjnych, należy podkreślić, że Doktorant w sposób ścisły i z dużą dbałością o poprawność operuje w pracy ścisłymi definicjami, terminologią naukową oraz specjalizowanym nazewnictwem fachowym. Jest to bardzo ważne w odniesieniu do prac w dziedzinie nauk technicznych i potwierdza dojrzałość naukową Doktoranta.

#### 5. Wniosek końcowy

Podsumowując szczegółową część opinii o rozprawie Pana mgr. inż. Jakuba Hyli stwierdzam, że:

- Zagadnienie naukowe podjęte przez Doktoranta mieści się w obszarze dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, jest aktualne oraz zostało sformułowane w sposób jasny i jednoznaczny.
- Cel pracy został przez Doktoranta osiągnięty, a teza pracy potwierdzona. Realizacja założonych celów pracy doktorskiej stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.
- Realizując pracę Doktorant wykazał się zaawansowaną wiedzą o charakterze specjalistycznym.
- Wyniki prac opisanych w rozprawie doktorskiej poszerzają stan wiedzy w zakresie rozwoju i walidacją praktycznej kodowania korekcyjnego LDPC (ang. Low-Density Parity-Check) w systemach Internetu rzeczy.
- Opracowane w ramach pracy doktorskiej rozwiązanie w zakresie kodowania korekcyjnego LDPC zostało wdrożone komercyjnie w firmie TKH Technology Poland sp. z o.o. Stanowi to walidację praktyczną opracowanego w ramach pracy doktorskiej rozwiązania i potwierdza, że zrealizowano z powodzeniem założenia Programu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt. „Doktorat wdrożeniowy”.
- Wyniki przedstawione w rozprawie doktorskiej zastały opublikowane w czasopismach o zasięgu międzynarodowym, znaczącym współczynniku wpływu (impact factor) przekraczającym 3 i wysokiej punktacji na liście Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Potwierdza to w sposób niezależny wysoką jakością naukową publikacji składających się na rozprawę doktorską.

Stwierdzam, iż rozprawa Pana mgr. inż. Jakuba Hyli spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określonym w artykule 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U. z 2018 poz. 1668 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ze względu potencjał aplikacyjny rozprawy doktorskiej oraz duże znaczenie dla polskiego przemysłu zaawansowanych technologii, jak również ze względu na potwierdzenie jakości naukowej pracy publikacjami w czasopismach o wysokim prestiżu, wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Jakuba Hyli.

Roman Szewczyk

