

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. **Konrada Pałysa**

pt. *„Dobór parametrów mechanizmów równoważenia obciążenia i przełączania użytkowników w sieciach LTE”*

### 1. Obszar problemowy rozprawy

Rozprawa dotyczy ważnej i aktualnej problematyki rozwoju i efektywnego funkcjonowania sieci Long Term Evolution (LTE) – standardu bezprzewodowego przesyłu danych, który w ostatnich latach stał się podstawą komunikacji w telefonii komórkowej. Z najnowszych badań firmy doradczej Deloitte "TMT Predictions 2017"<sup>1</sup> dotyczących również Polski i przedstawiających analizę stanu obecnego i prognozy dla sektora technologii, mediów i telekomunikacji wynika, że już 57% dorosłych użytkowników telefonów komórkowych w Polsce korzysta z sieci 4G/LTE. Raport wskazuje, że sieć LTE, będzie napędem rozwoju technologicznego w ciągu najbliższych lat. Raport pisze, że „na 2017 rok spodziewane są działania zmierzające do uruchomienia sieci mobilnej piątej generacji 5G. Planowane modernizacje sieci związane z technologią 4G oraz wprowadzenie (jak na razie jeszcze w bardzo ograniczonym zakresie) technologii 5G powinno przygotować użytkowników i operatorów do szerokiego wykorzystania sieci 5G, która charakteryzuje się znacznie większymi prędkościami przesyłania danych, niższym poziomem opóźnień oraz wsparciem dla czujników i urządzeń IoT (ang. Internet of Things) o niskim zużyciu prądu i małej szybkości transmisji”. Pomijając aspekt rozwoju przyszłej sieci 5G, możemy wskazać, że w ramach prac unowocześniających sieci LTE 4. Generacji, jednym z możliwych kierunków modernizacyjnych, mogłoby być wprowadzenie nowych mechanizmów przydziału zasobów sieci w celu efektywniejszego przełączania klientów, a w efekcie uzyskania tą drogą wyższych przepływności użytkowych i bardziej komfortowego i niezawodnego korzystania z sieci. Jest to problematyka, którą zajął się właśnie autor recenzowanej rozprawy.

Autor stawia tezę, że (...) „Usprawnienie przełączeń użytkowników w sieciach komórkowych nowej generacji, po analizie wpływu różnych technik zarządzania i wpływania na przełączenia użytkowników mobilnych, pozwala na lepsze wykorzystanie dostępnych zasobów radiowych i bardziej równomierne obciążenie stacji bazowych. Wpływa to na zmniejszenie liczby klientów, którzy nie mogą zostać obsłużeni i zwiększa średnią przepustowość dla klienta” (...). Doktorant sformułował też cel rozprawy, którym jest analiza dostępnych metod przełączania klientów w sieciach bezprzewodowych, by następnie zaproponować rozwiązanie pozwalające na bardziej efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów. Wg Autora (...) „Zostanie to osiągnięte poprzez nową strategię przełączania

---

<sup>1</sup> „TMT Predictions 2017”, Szesnasta edycja raportu Deloitte – Global TMT Predictions oraz Wdrożenia sieci mobilnej 5 generacji w Polsce. Źródło: Deloitte Global Mobile Consumer Survey 2016 – Wyniki dla Polski.

urządzeń bezprzewodowych między stacjami bazowymi. Brane pod uwagę są sieci bezprzewodowe jako takie, jednakże główny nacisk jest położony na sieci LTE” (...).

Cel pracy jest realizowany poprzez rozwiązanie kilku zadań szczegółowych, a w tym:

1. Badanie wpływu progu przełączeń na wydajność w sieci 802.11 i 3G oraz LTE
2. Zarządzanie przełączeniami przy użyciu tabeli Neighbour Relation Table w sieci LTE
3. Badanie przydziału podnośnych z wykorzystaniem mechanizmu Soft Frequency Reuse w sieci LTE
4. Opracowanie mechanizmu regulującego moc nadawania w zależności od obciążenia w sieci LTE

Zaprezentowane zadania szczegółowe tworzą pewien zbiór problemów, który jest w miarę spójny, zarówno od strony merytorycznej, jak i metodycznej oraz który w mojej ocenie może odpowiadać oczekiwaniom czytelnika wynikającym z tytułu pracy, który przypomnę, że brzmi następująco: *„Dobór parametrów mechanizmów równoważenia obciążenia i przełączania użytkowników w sieciach LTE”*.

Przedstawiona generalna koncepcja pracy uwzględnia stan badań dotyczących zarządzania i sterowania sieciami komputerowymi, jak również stan wdrożeń oraz wymagania użytkowników sieci LTE. Dotyczy to także użycia narzędzi symulacyjnych oraz modelu łańcuchów Markowa. Oczywiście generalny schemat zaproponowanego doboru parametrów rozważanych mechanizmów, to nie wszystko, bowiem ostateczna skuteczność zaproponowanych w rozprawie rozwiązań zależy od m.in. od tych czynników, które nie zostały, bądź nie mogły być uwzględnione w badaniach, oraz od możliwości technicznych ich wdrożenia w konkretnych sieciach LTE.

W celu rozwiązania problemów zastosowano następujące narzędzia badawcze:

- Modele symulacyjne w środowisku symulatora OMNeT++ z biblioteką INET
- Metody optymalizacyjne i oprogramowanie PyLTES
- Modele oparte o łańcuchy Markowa

W świetle dotychczasowych rozważań uważam, że cel rozprawy sformułowany w p. 1.1 na stronie 6 jest zdefiniowany poprawnie, dobrze określa zakres prac zrealizowanych w ramach rozprawy oraz odpowiada potrzebom badań prowadzonych w obszarze problemowym rozprawy.

Reasumując uważam, że podjęcie sformułowanych w rozprawie badań jest trafne i uzasadnione, a postawiony cel oraz zakres tematyczny rozprawy odpowiadają aktualnym kierunkom badań prowadzonych nad współczesnymi sieciami teleinformatycznymi. Praca ma charakter projektowo-eksperymentalny (eksperyment symulacyjny).

## **2. Koncepcja i realizacja rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska ma objętość 76 stron i składa się z dziesięciu rozdziałów, bibliografii, rozwinięcia skrótów. Brak jest spisu rysunków, spisu. Bibliografia zawiera 43 źródła literaturowe, w tym 2 współautorskie publikacje Autora. Wszystkie pozycje literaturowe zostały zacytowane w tekście rozprawy. Jednak odnośników do literatury jest

zbyt mało. Format zapisu pozycji bibliograficznych uwzględnia wszystkie niezbędne informacje.

**Rozdział pierwszy** wprowadza cel i tezę rozprawy i omawia jej zakres. W podrozdziale 1.4 zawarte jest własne podsumowanie Doktoranta uzyskanych przez siebie oryginalnych rezultatów pracy. **Rozdział drugi** zawiera podstawowe informacje o technologii LTE, w tym o mechanizmach tablicy relacji sąsiedzkich, miękkiego podziału pasma oraz przełączaniu użytkowników. **Rozdział trzeci** przedstawia podstawy wybranej metodologii oceny efektywności wpływu zarządzania przełączeniami na wydajność, w tym wykorzystane miary wydajności sieci, model symulacji który został przyjęty w badaniach, wraz z uzasadnieniem i opisem wykorzystanych modeli propagacji sygnału i modeli mobilności.

**Kolejne rozdziały** odpowiadają wykonanym badaniom. Każdy rozdział posiada części wspólne w postaci podrozdziałów będących wstępem do danego zagadnienia, opisu szczegółowego modelu symulacyjnego wykorzystanego w danym przypadku oraz podsumowania. Taką organizacją rozprawy doktorskiej, w której wyraźnie rozdzielono część prezentującą wyniki własne od części powstałej na podstawie literatury przedmiotu, uznaję za bardzo dobrą organizację tekstu rozprawy, zarówno ze względu na prezentację wyników pracy przez Doktoranta, jak i ich oceny przez recenzenta.

**Rozdział czwarty** zawiera pierwsze rezultaty badań dotyczących wpływu wielkości histerezy na wydajność sieci heterogenicznej 802.11 i 3G oraz w sieci LTE. Dla sieci 802.11 i 3G wyniki zawarto w podrozdziałach 4.1 – 4.3. Poprzez symulacje sprawdzono dwa scenariusze z sieciami składającymi się z punktów dostępowych obu sieci, oceniając wpływu wielkości histerezy przełączenia na przepustowość połączeń. Symulacje przeprowadzono w znanym i uznanym w środowisku symulatorze OMNeT++ z biblioteką INET. Przebadano dwa scenariusze zabudowy przestrzennej (przedmieście, obszar przemysłowy) z zadanymi scenariuszami mobilności. Podrozdział 4.4 pokazuje wyniki eksperymentów symulacyjnych w kontekście sieci LTE. Eksperymenty symulacyjne pokazały dla badanych scenariusz, że wprowadzenie już niewielkiej histerezy znacząco zredukowało liczbę przełączeń, co zwiększyło stabilność połączenia, przy jednoczesnej bardzo niewielkiej redukcji osiągniętej przepustowości.

**Rozdział piąty** przedstawia wyniki zastosowania mechanizmu blokowania przełączeń z wykorzystaniem tablicy relacji sąsiedzkich (NRT - ang. *Neighbour Relation Table*). Wykonane symulacje pokazały, że właściwie zabronione przełączenia prowadzą do zredukowania liczby niepotrzebnych przełączeń (tzw. ping-pongów), ryzyko nieudanego przełączenia, a także redukują ilość czasu, w którym urządzenie jest w trakcie procedury przełączenia. Na tę okoliczność Autor zaproponował prosty algorytm optymalizacyjny wykrywania i eliminacji sytuacji, w których przełączenia obniżają wydajność sieci lub podnoszą prawdopodobieństwo utraty połączenia z siecią i aktualizowania NRT. Algorytm ocenia liczbę błędnych przełączeń dla par stacji bazowych w ciągu zadanego okna czasowego. Badano wydajność dla różnych przedziałów czasowych. Wykorzystano ponownie symulator OMNeT++, ale dla innego scenariusza zabudowy przestrzennej i poruszania się urządzeń mobilnych. Symulację przeprowadzono dla miasta Hanower w Niemczech. Uzyskane wyniki pokazały pewną skuteczność tej zaproponowanej metody.

**Rozdział szósty** zawiera wyniki rozwiązania zadania przydziału podnośnych z użyciem mechanizmu Soft Frequency Reuse, który jest stosowany wtedy gdy występuje problem interferencji między komórkami, gdy wiele nadajników wykorzystuje to samo pasmo radiowe. Badania dotyczyły odpowiedniego doboru podnośnych by znacząco zminimalizować efekt interferencji. Ze względu na możliwości implementacji poszukiwana jest najlepsza statyczna

konfiguracja SFR. Badania zostały wykonane w oprogramowaniu PyLTES, gdzie rozmieszczono 1024 urządzenia klienckie w dwóch scenariuszach. Pierwszy scenariusz zakładał rozmieszczenie stacji bazowych na wzór plastra miodu, natomiast drugi przedstawiał przypadek bliższy rzeczywistości z rozmieszczeniem zakładanym dla miasta Hanower. Zaproponowana metoda znajdowania możliwie najlepszego podziału zasobów, pozwoliła na uzyskanie wyższych przepustowości sieci w każdym z przypadków.

**Rozdział siódmy** prezentuje wyniki optymalizacji wykorzystania zasobów radiowych z użyciem mechanizmu Soft Frequency Reuse. Poszukiwano optymalną konfigurację mechanizmu SFR w celu osiągnięcia maksymalnej możliwej przepustowości sieci w kontekście różnych (czterech) modeli mobilności i w zadanych (dwóch) konfiguracjach mechanizmu harmonogramowania przydzielanych zasobów. Konfigurację tego mechanizmu określają, oprócz sposobu podziału podnośnych (p. rozdz. 6), także metoda podziału komórki na obszar wewnętrzny i zewnętrzny oraz stosunek mocy nadawania między obiema częściami. Doborowi podlegają: stosunek mocy obu obszarów oraz stosunek części wewnętrznej do zewnętrznej. Przedstawione wyniki symulacji dają wgląd na wpływ parametrów konfiguracyjnych mechanizmu SFR, a pokazują też, że nie ma jednego, najlepszego zestawu parametrów.

**Rozdział ósmy** przedstawia wyniki badań nad rozłożeniem urządzeń klienckich w sieci LTE, by jak najbardziej zrównoważyć obciążenia stacji bazowych. Zaproponowany algorytm dynamicznie dostosowuje moc transmisji (sprzęt zapewniający łączność między urządzeniem mobilnym a siecią) w sieci w odpowiedzi na zmieniające się obciążenie. Model symulacyjny został opracowany w środowisku OMNeT++ dla urządzeń eNodeB rozmieszczonych wg wzorca plastra miodu, z zadanymi parametrami SFR oraz dla jednego scenariusza mobilności. Oceniono, że zaproponowany mechanizm ma szansę się sprawdzić w przypadkach, gdy sieć jest przeciążona miejscowo i wtedy sąsiednie komórki mają możliwość przejęcia części ruchu sieciowego.

**Rozdział dziewiąty** przedstawia wyniki wstępnych analiz problemu na jakim obszarze przełączenie klientów pomiędzy komórkami w sieci LTE jest możliwe i jak to wpływa na modulację w transmisji danych. Problem ten jest analizowany na prostym przykładzie dwóch stacji bazowych o takiej samej mocy nadawania. Podjęto próbę stworzenia opisu matematycznego, aby dla założonego schematu mobilności użytkowników oraz oszacowania rozkładów czasu przebywania użytkowników w poszczególnych obszarach, można byłoby następnie przedstawić model analityczny czasu przebywania urządzeń w danym obszarze sieci komórkowej. Wykorzystano kolejno oprogramowanie PyLTES, HyperStar oraz PRISM. Utworzony model oparty na łańcuchu Markowa pozwala w sposób analityczny zajmować się zagadnieniem przełączeń użytkowników, w celu pod kątem optymalizowania wydajności sieci.

**Podsumowanie** zawiera zebrane wnioski z poprzednich rozdziałów i zestawia je z tezą rozprawy.

Z merytorycznego punktu widzenia przyjęty układ pracy jest właściwy, a kompozycja tekstu rozprawy dobrze koresponduje z postawionymi celami pracy.

Na podstawie przedstawionego skrótowego omówienia treści rozprawy, należy odnotować, że pisząc rozprawę Doktorant posłużył się dobrze swoją wiedzą z zakresu tematyki rozprawy oraz wykazał się umiejętnościami formułowania problemów naukowo-badawczych na podstawie studiowanej literatury i własnych obserwacji.

### 3. Oryginalne osiągnięcia

Mgr inż. Konrad Połys w swej rozprawie zaproponował autorskie rozwiązania dla wybranej grupy problemów związanych z rozwojem i eksploatacją sieci LTE, bazujące na krytycznej analizie istniejących rozwiązań i własnych spostrzeżeniach, mogących skutecznie poprawić efektywność komunikacji użytkowników sieci komórkowej w technologii LTE.

Do najważniejszych rezultatów zaliczam przede wszystkim:

- Określenie różnic we wpływie wielkości histerezy przełączeń na wydajność sieci.
- Opracowanie mechanizmu wykrywającego i blokującego zbędne przełączenia między stacjami bazowymi przy wykorzystaniu Tablicy Relacji Sąsiedzkich.
- Opracowanie metody przydziału podnośnych dla mechanizmu Soft Frequency Reuse (SFR) i analiza wzajemnego wpływu parametrów mechanizmu SFR na wydajność sieci.
- Opracowanie mechanizmu równoważenia obciążenia poprzez zmianę mocy nadawania z wykorzystaniem SFR.
- Wykonanie stanowisk badawczych do badań symulacyjnych zaproponowanych metod i algorytmów.

Zaproponowane przez Autora podejście, użyte metody badawcze oraz rozważane problemy badawcze stanowią autorski wybór, który jak zawsze może podlegać dyskusji (por. p. 4 Uwagi). Swoje rezultaty Autor przedstawiał na konferencjach oraz zawarł w 14 publikacjach.

Autor rozprawy sformułował cele rozprawy w sposób właściwy, a zadania do rozwiązania zostały zdefiniowane i rozwiązane poprawnie. Stwierdzam, że postawiony cel rozprawy został osiągnięty, a Autor wykazał się wiedzą i umiejętnościami niezbędnymi do samodzielnego rozwiązywania trudnych problemów badawczo-rozwojowych.

### 4. Uwagi

Lektura rozprawy skłania do uwag, tak ogólniejszej, jak i bardziej szczegółowej natury:

1. Cel rozprawy jest jasny i nie wymaga komentarza. Przedstawione do zrealizowania konkretne zadania badawcze – również. Natomiast mam komentarz do tezy, która z jednej strony brzmi w sposób oczywisty, ale z drugiej strony może budzić wątpliwości. Teza brzmi: *„Usprawnienie przełączeń użytkowników w sieciach komórkowych nowej generacji, po analizie wpływu różnych technik zarządzania i wpływania na przełączenia użytkowników mobilnych, pozwala na lepsze wykorzystanie dostępnych zasobów radiowych i bardziej równomierne obciążenie stacji bazowych. Wpływa to na zmniejszenie liczby klientów, którzy nie mogą zostać obsłużeni i zwiększa średnią przepustowość dla klienta”*. Czynność *„usprawnienie przełączeń użytkowników ...”*, użyta w definicji tezy zawiera w sobie oczywisty swój sens polegający na tym, że służy ono ulepszeniu i jeśli takowe jest wprowadzone, to wpływa pozytywnie na stan badanego zjawiska – tutaj *„wykorzystanie dostępnych zasobów radiowych i bardziej równomierne obciążenie stacji bazowych”*, gdyby było inaczej, nie byłoby przecież *„usprawnieniem”* (nie nazwalibyśmy nasze postępowania usprawnieniem). Usprawniać to powodować sprawniejsze działanie, funkcjonowanie czegoś. Sprawniejsze oznacza tylko i jedynie dobrze działające.

2. W tezie pojawia się ponadto bardzo niesprecyzowane pojęcie „*bardziej równomierne obciążenie stacji bazowych*”. Jakie są algorytmy równomiernego obciążenia w stacjach bazowych?
3. Teza nie artykułuje metod rozważanych w pracy.
4. Uważam, że generalnie w pracach badawczych dotyczących problemów techniki trudno jest zbudować nietrywialną tezę. Wg mnie wystarczające dla rozprawy jest właściwe określenie celu rozprawy.
5. Celem niniejszej rozprawy jest analiza dostępnych metod przełączania klientów w sieciach bezprzewodowych, by następnie zaproponować rozwiązanie pozwalające na bardziej efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów. Zostanie to osiągnięte poprzez nową strategię przełączania urządzeń bezprzewodowych między stacjami bazowymi. Lepsze sformułowanie powinno wskazać o jakie zasoby i o jaką nową strategię przełączania chodzi. Jakie metody przełączenia zostały przedstawione, przebadane? (ja doszukałam się przełączenia z histerezą). Co to są dostępne zasoby? Co to jest nowa strategia przełączania? Czy jest to autorska metoda/algorytm, na czym polega, na czym bazuje? Czy nowa oznacza lepsza? W jakim sensie?
6. Moją wątpliwość budzi ograniczenie się w kolejnych zadaniach jedynie do niektórych parametrów konfiguracji sieci. Brakuje mi uzasadnienia tych wyborów. W złożonych systemach komputerowych nie jest to proste zadanie, co pokazuje wiele przykładów. Wybór parametrów, którymi chcemy się zająć w badaniach systemów sieciowych jest poważnym dylematem. Zazwyczaj borykamy się z problemem zbyt dużej liczby możliwych do obserwacji i sterowania wielkości (parametrów). Stąd potrzebna jest uzasadniona metodologicznie i technicznie analiza, w wyniku której można dokonać racjonalnego wyboru parametrów, które będą (mogą być) istotne w badanym problemie.
7. Doktorant nie porównuje swoich propozycji z rozwiązaniami alternatywnymi (np. tymi stosowanymi w rzeczywistych sieciach LTE, a przecież mając modele symulacyjne swoich algorytmów, nie stanowiłoby to znacznego problemu.
8. Autor rozpatruje problemy lokalnie. Ale przecież w jakości usług chodzi o komunikację od źródła do ujścia. Jak można i należałoby odczytać uzyskane rezultaty w kontekście całej sieci komputerowej, w której strumienie ruchu pochodzące z różnych źródeł i prowadzone do różnych węzłów końcowych krzyżują się i mieszają ze sobą, powodując problemy przeciążeniowe i inne. Na ile pojedynczy węzeł, podejmujący swoje decyzje autonomicznie może pomóc (albo utrudnić) w realizacji paradygmatu QoS dla komunikacji „end-to-end”?
9. W strukturach sieciowych występuje bardzo wiele różnych urządzeń o różnej funkcjonalności dotyczącej różnych warstw komunikacyjnych. Autor w ogóle nie ustosunkował się w pracy do tego problemu, pisząc ogólnie o przełącznikach LTE i sieciach IP, nie analizując wpływu przełączania na działanie warstw wyższych. Jak wnioski wypracowane dla warstwy LTE można zinterpretować na poziomie warstwy aplikacyjnej użytkownika końcowego?
10. Zaproponowane modele są bardzo „wyidealizowane”. W jaki sposób należałoby przejść do sytuacji rzeczywistych systemów i jak interpretować wówczas uzyskane rezultaty?
11. Mało jest informacji o stanowisku badawczym i przeprowadzonych badaniach symulacyjnych. W moim odczuciu brak przejrzystego planu eksperymentów. Co było na wejściu systemu co jest na wyjściu systemu? Czy długości ścieżek w różnych obszarach zabudowań ma znaczenie? Przedstawiono sposoby obliczania sygnału, które

współczynniki wykorzystywano w badaniach symulacyjnych? Czy przeprowadzone symulacje miały wpływ na siebie, czy były to rozłączne eksperymenty. Na ile interpretacje i wnioski wypracowane z badań przeprowadzonych w różnych symulacjach tworzą wspólny wniosek, który potwierdzałby tezę pracy? Modele są tylko wybranymi przypadkami użycia, a nie wspólną platformą modelową. Czy można więc z przypadków użycia konkludować globalnie?

12. Jakie są metody na lepszą wydajność sieci LTE? (zarządzanie przełączaniami użytkowników będących w ruchu, jakie jeszcze?).
13. Czemu właściwie służyło użycie łańcuchów Markowa? Dlaczego na początku pracy o tym nie wspomniano i w podsumowaniu też nie? Ten problem jest przedstawiony zbyt zdawkowo i wygląda mi na przypadkowo (w ostatniej chwili) dołączony do treści pracy. Czy wkład własny Autora do rozprawy polegał jedynie na użyciu odpowiedniego oprogramowania?
14. W podsumowaniu jest napisane: *„Osiągnięto to poprzez nową strategię przełączania urządzeń bezprzewodowych między stacjami bazowymi, która wykorzystuje także regulację mocy nadawania, a także przez automatyczny mechanizm wykrywania i blokowania niepożądanych przełączeń”*. Jaką strategię? Na czym ona polega?
15. Użycie w podsumowaniu terminu „dowodzić” w sformułowaniu „Przeprowadzone badania dowiodły postawionej tezy...” jest dla mnie nieprawidłowym i zbyt mocnym stwierdzeniem. Szczególnie, że w pracy nie ma weryfikacji statystycznej uzyskanych wyników.
16. Rozdział 1.1 zatytułowano „opis celów”. W tytule rozdziału cele są w liczbie mnogiej, a ostatni akapit rozdziału wyraźnie wymienia tylko jeden cel. W rozdziale 1 brakuje wprowadzenia do tematu, umiejscowienia problemu w literaturze. (Jak mają się sieci 3G do LTE czym się różnią co mają wspólnego? Geneza sieci i może porównanie w tabelce byłoby pomocne, mechanizmy szyfrowania, techniki transmisji danych).
17. Rozdział 1.4. jest zatytułowany „Oryginalny wkład pracy a w stan wiedzy”. Wpisanych jest tam 6 rezultatów, które Autor uważa za oryginalne, ale nie ma żadnego odniesienia jak one mają się do stanu wiedzy, co zapowiada tytuł.
18. Autor nie przedstawia dalszych kierunków prac. Jak można tę pracę dalej rozwijać? Dlaczego zajmujemy się nadal siecią LTE, podczas gdy zbliża się rewolucja 5G, a technologie LTE Advanced/ LTE Advanced Pro, będące pewnym wstępem do niej, są już wdrażane, także w Polsce.
19. W ramach uwag redakcyjnych chcę stwierdzić, że praca jest przygotowana starannie i napisana poprawnie. Układ pracy jest logiczny. Język jest poprawny. Brak jest znaczących usterek stylistycznych. Nie widać w niej też błędów maszynowych. Użyty szablon redaktorski i edytor mają charakter profesjonalny, a wyprodukowany tekst charakteryzuje się odpowiednią proporcją pomiędzy wielkościami obszarów zadrukowanych i świateł. Rysunki są czytelne z podpisami, chociaż na kilku z nich brakuje opisu osi. Osie rysunków są opisywane jedynie słownie – brakuje mi użycia w tekście i na rysunkach oznaczeń (symboli) literowych dla poszczególnych wielkości. Na kilku rysunkach użyto sformułowanie „ilość” zamiast „liczba”. Brak jest wspólnego wykazu podstawowych oznaczeń i stosowanej nomenklatury. W tym zakresie mamy dostępny jedynie rozdział „Rozwinięcie skrótów”. Dostarczone wersje, papierowa i elektroniczna, różnią się liczbą stron. W wersji papierowej mamy 76 stron, a wersji pdf jest ich 75. Stąd powstał błąd w numeracji stron w spisie treści w wersji elektronicznej.

## 5. Podsumowanie

Doktorant wykazał się dobrą znajomością problematyki projektowania i zarządzania sieciami komórkowymi oraz pokazał, że potrafi samodzielnie i poprawnie rozwiązywać problemy badawcze. Przedstawione uwagi mają charakter dyskusyjny i nie zmniejszają mojej pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy.

Podsumowując wszystkie powyższe oceny i uwagi – stwierdzam, że przedstawiona przez mgra inż. Konrada Połysa praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez aktualnie obowiązujące przepisy. W związku z tym wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

