

Równoważenie obciążeń w sieciach komórkowych standardu LTE

Krzysztof Grochla

Posiedzenie Sekcji Telekomunikacji,
Komitet Elektroniki i Telekomunikacji PAN,
Gliwice, 26.09.2016

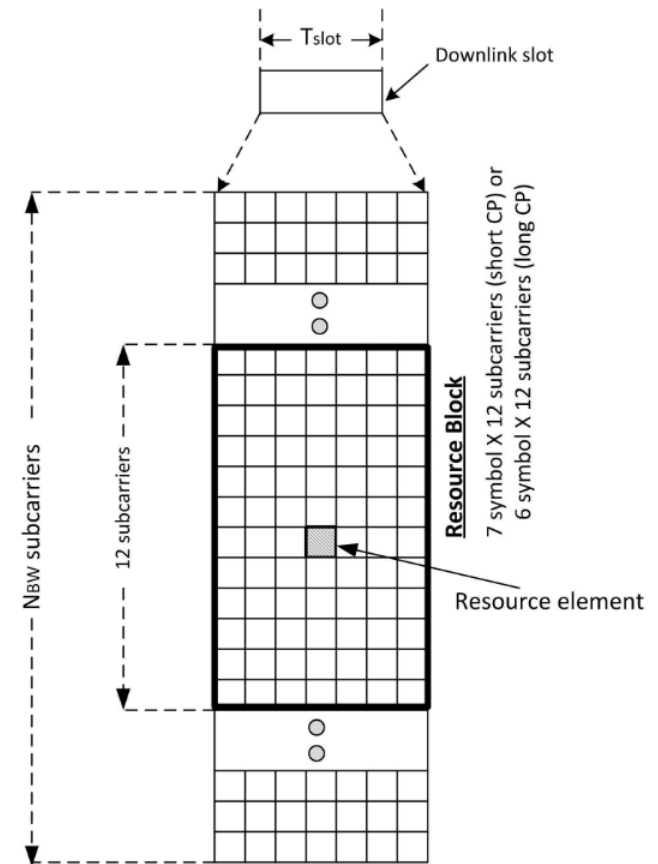
Plan referatu

- Sieci LTE i unikanie interferencji wewnątrz sieci
- Zarządzanie mocą transmisji
- Równoważenie obciążenia poprzez przełączenie użytkowników
- Równoważenie obciążenia poprzez zarządzanie mocą
- Praktyczna weryfikacja opracowanej metody na testowej sieci LTE

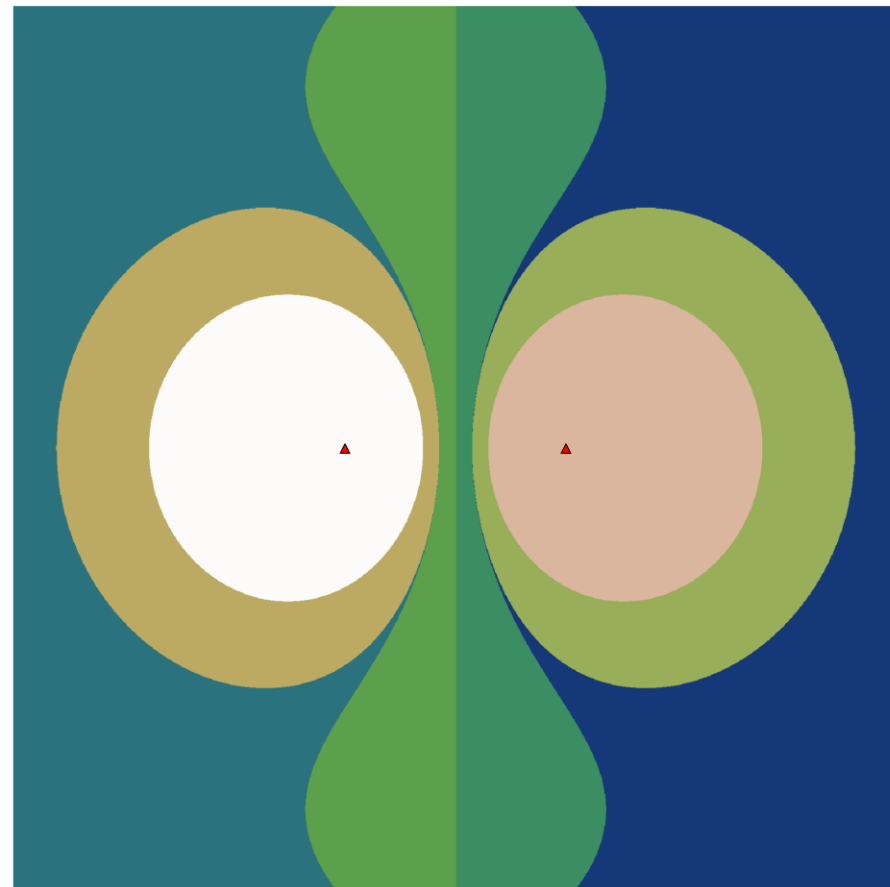


Sieci standardu LTE

- Transmisja oparta na pakietach IP
- Modulacja OFDMA
- Podział transmisji w dziedzinie częstotliwości i w dziedzinie czasu
- Bloki RRB jednostką przydziału zasobów radiowych



- Wiele metod modulacji (od BPSK do QAM64) oraz kodowania
- Użytkownicy w zależności od odległości od stacji bazowej oraz interferencji są obsługiwani z różną modulacją i schematem kodowania

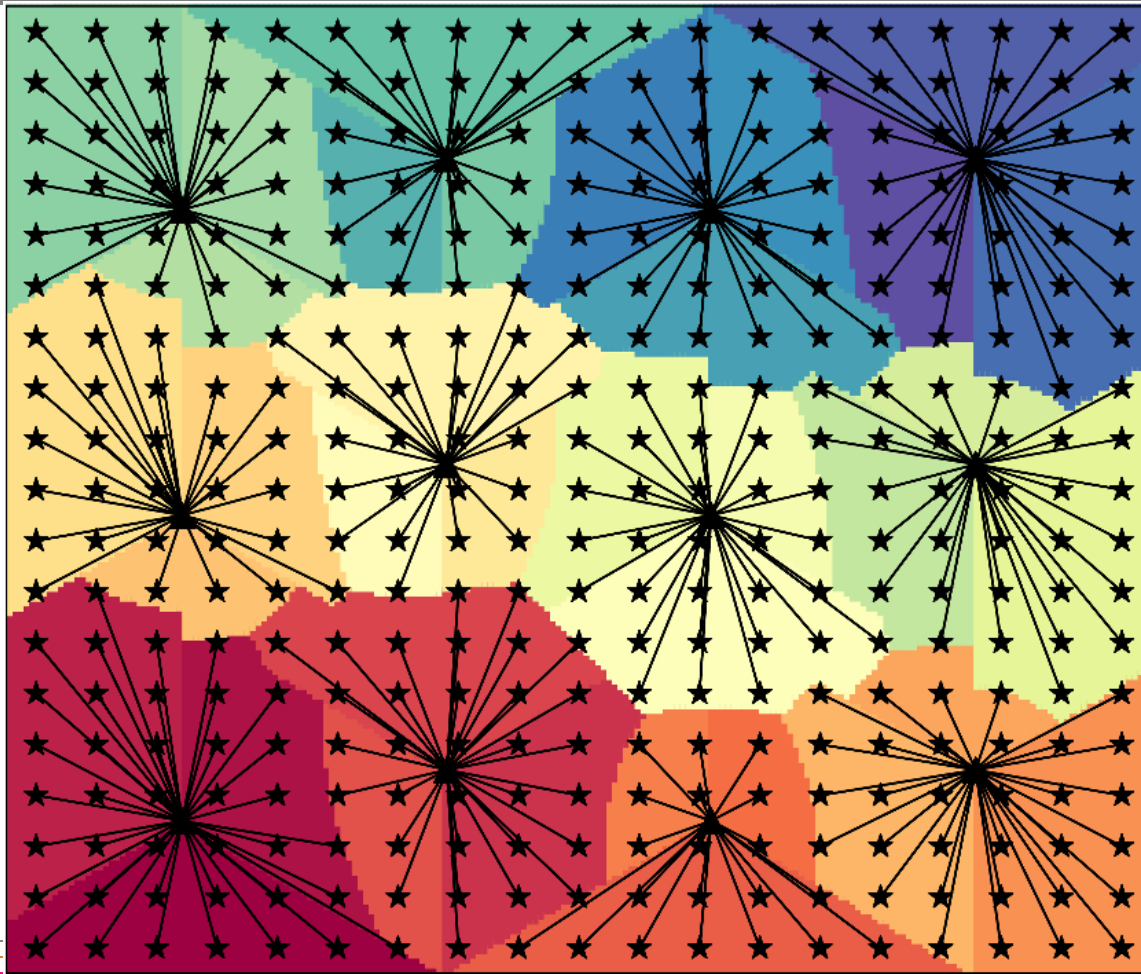


Problem doboru mocy nadawania stacji bazowych

- Sieci LTE w większości wypadków używają tego samego pasma we wszystkich komórkach sieci
- Moc nadawania stacji bazowych musi zostać dobrana w celu znalezienia kompromisu pomiędzy interferencjami pomiędzy sąsiednimi komórkami (ang. inter-cell Interferences) oraz maksymalizacją stosunku sygnału do szumu i interferencji (SINR)
- Koncentrujemy się na 3 miarach zdefiniowanych w ITU-R M.2083-0 (IMT 2020):
 - Maksymalna przepływność bitowa (ang. peak data rate) – maksymalna przepływność bitowa możliwa do uzyskania w idealnych warunkach na użytkownika (w bitach /s)
 - Przepływność bitowa użytkownika (ang. user experienced data rate) – możliwa do uzyskania przepływność bitowa na użytkownika przy założonym podziale pasma wynikającym z działania algorytmu harmonogramowania (ang. scheduler).
 - Przepustowość sieci – suma przepływności bitowych wszystkich użytkowników na danym obszarze (po podzieleniu przez powierzchnię w zasięgu sieci otrzymujemy przepustowość sieci na jednostkę powierzchni – ang. area traffic capacity)



Dobór mocy nadawania w LTE – rozwiązanie globalne



- Rozwiązanie jako wynik działania algorytmu optymalizacyjnego
- Problem optymalizacji – maksymalizacja Przepustowości sieci



Optymalizacja doboru mocy nadawania c.d.

- Dobór mocy dla całej sieci jest złożony obliczeniowo oraz wymaga rekonfiguracji całej sieci
 - W przypadku przyrostowej rozbudowy sieci nie jest to efektywne
- Zaproponowaliśmy metodę lokalnej rekonfiguracji, uwzględniającą informację o sąsiedztwie
 - Rekonfiguracja tylko części sieci w sąsiedztwie zmiany konfiguracji (np. w sąsiedztwie dodanej stacji bazowej)
 - Możliwa rekonfiguracja w odpowiedzi na zmianę obciążenia sieci

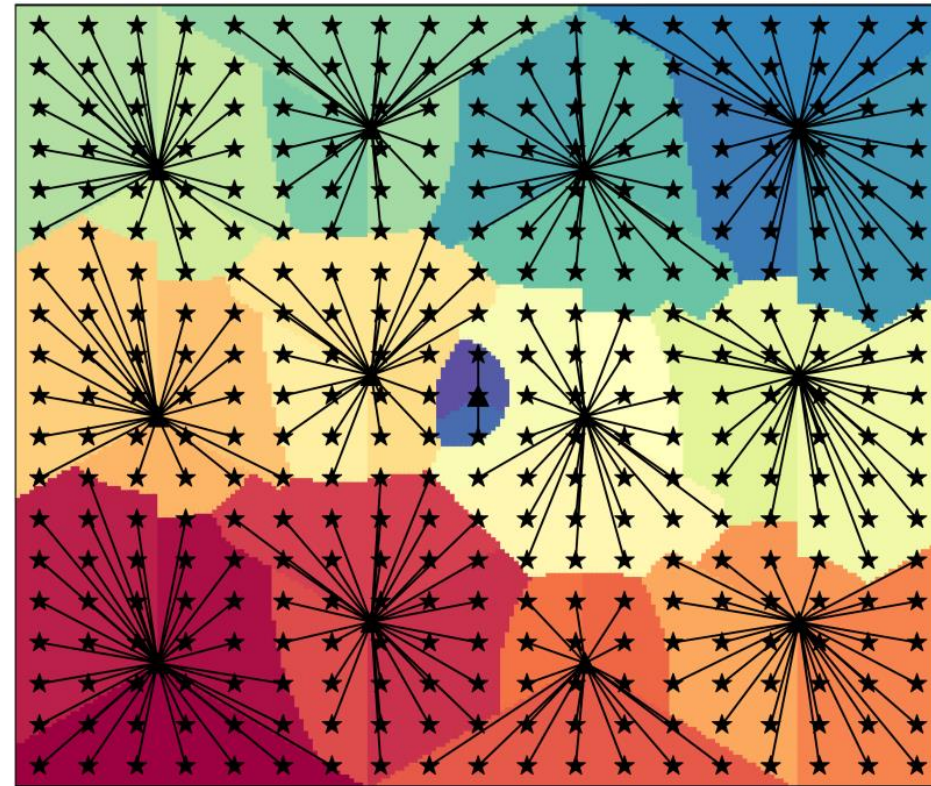
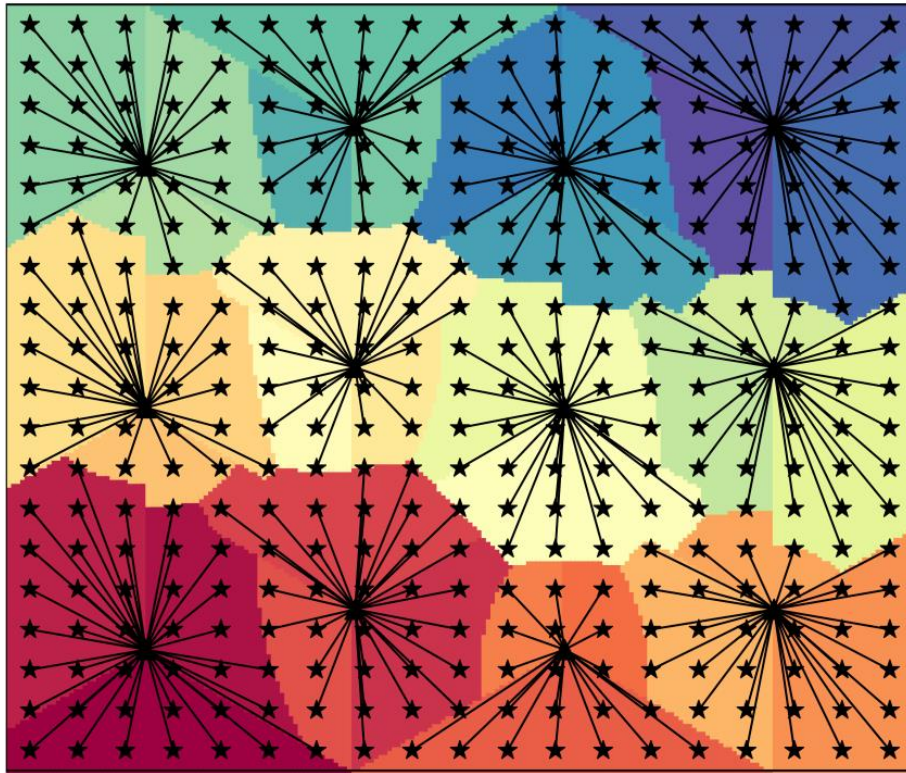


Opis modelu

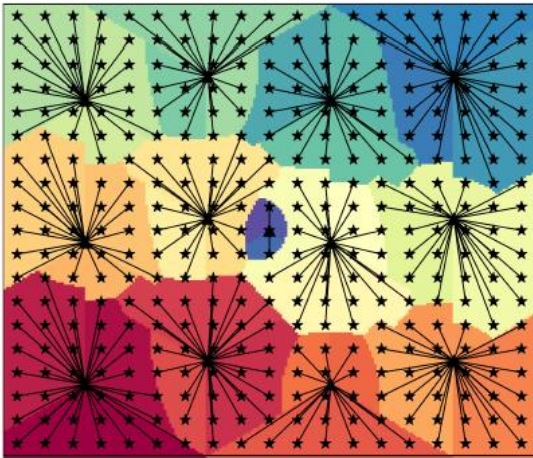
- Oprogramowanie optymalizacyjne stworzono w języku Python jako bibliotekę PyLTE
- Model 36 komórek, 361 równomiernie rozmieszczonych terminali
- Model propagacji sygnału wyliczający wartość średnią na podstawie modelu SUI
- Przepustowość sieci oszacowana jako suma przepływności bitowych użytkowników, na bazie modelu SINR i przy założonym algorytmie Round Robin do podziału zasobów radiowych pomiędzy użytkowników (scheduler)
- Celem optymalizacji jest maksymalizacja przepustowości sieci
- Jako metodę optymalizacji wybrano Simple Genetic Algorithm (SGA)



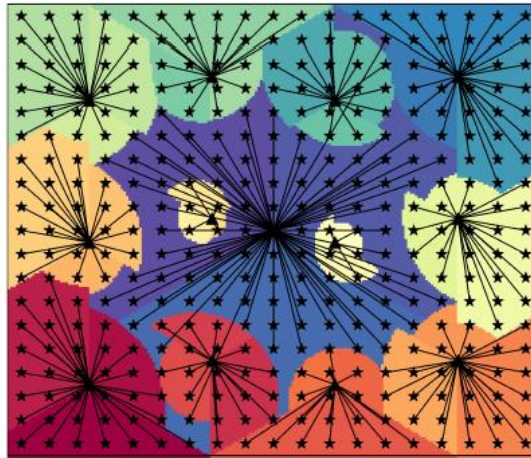
Dobór mocy nadawania po dodaniu 1 stacji bazowej



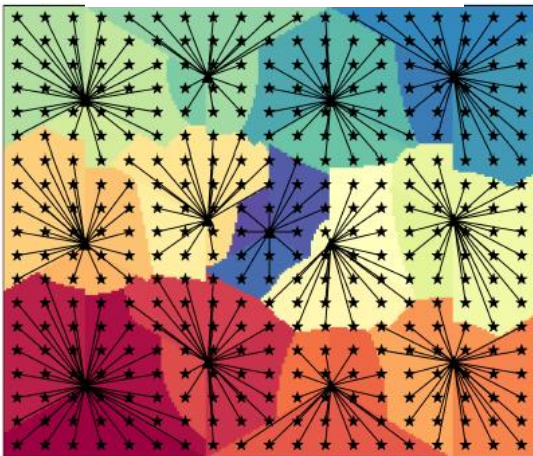
Dobór mocy nadawania po dodaniu 1 stacji bazowej



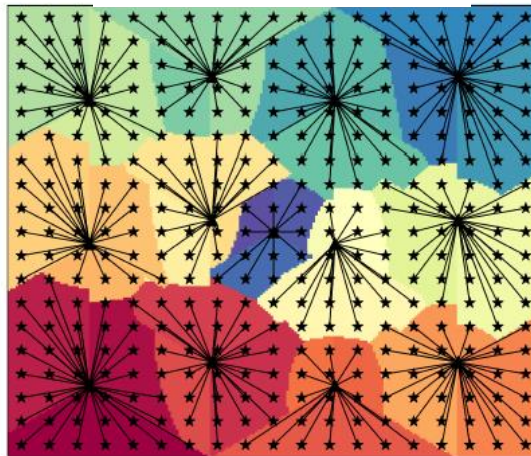
Moc 10 dBm



Moc 40 dBm



Globalnie dobrana moc

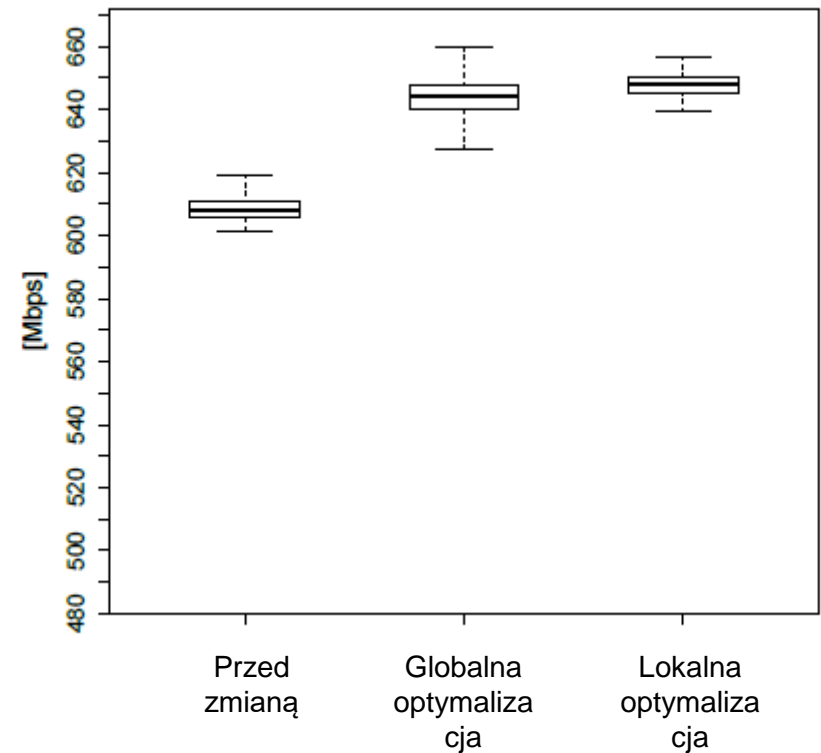
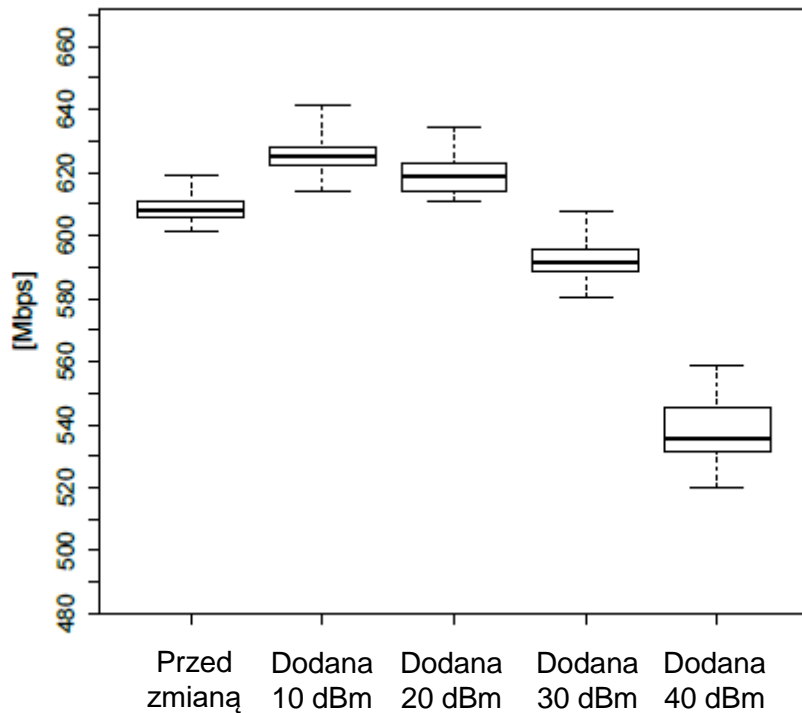


Lokalnie dobrana moc

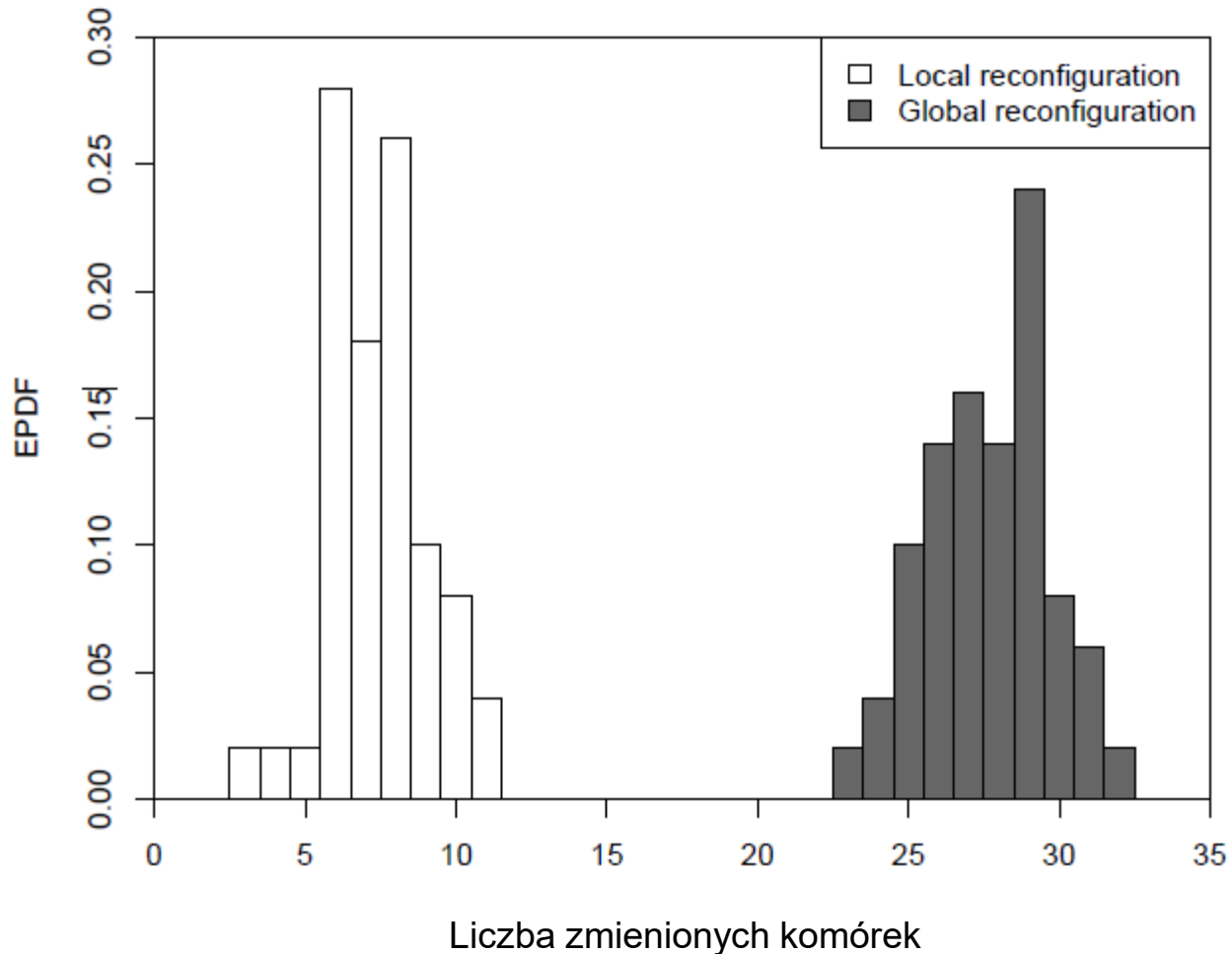
- Zasięg komórek w zależności od doboru mocy nadawania



Przepustowość sieci w zależności od doboru mocy



Ile komórek wymagało zmiany konfiguracji?



Równoważenie obciążenia w sieci LTE

- Opisana powyżej metoda sprawdza się dla równomiernego lub znanego z góry rozmieszczenia użytkowników sieci
 - W rzeczywistości użytkownicy ciągle się przemieszczają
- Przepływność bitowa użytkownika powinna być na zbliżonym poziomie dla wszystkich użytkowników sieci
 - Wynika z tego dążenie do zapewnienia obsługi zbliżonej liczby użytkowników przez każdą z komórek
- Prostim rozwiązaniem jest zmiana progów przełączeń użytkowników
 - Użytkownicy przełączani z większą preferencją do mniej obciążonych komórek
 - To rozwiązanie prowadzi do obsługi użytkowników przez stacje bazowe o mniejszym SINR niż w przypadku innych stacji bazowych



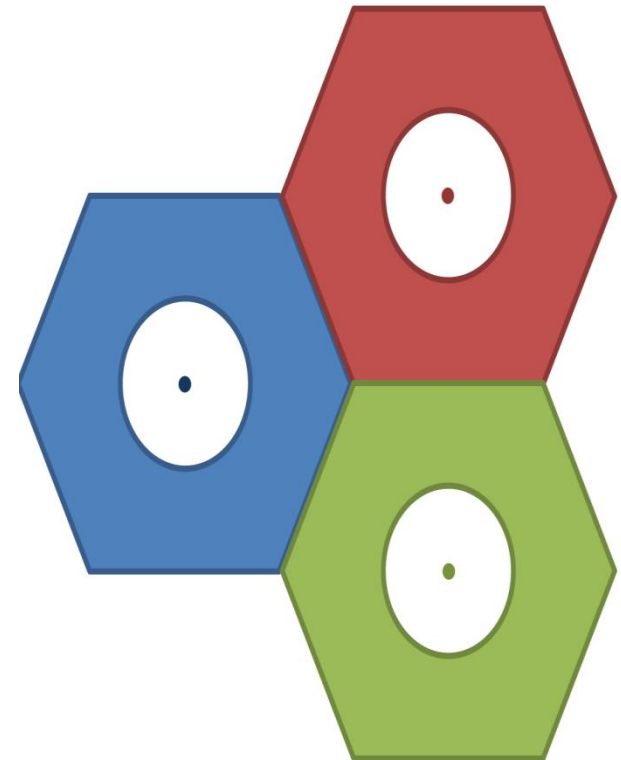
Równoważenie obciążenia poprzez zarządzanie mocą nadawania

- Proponowanych algorytm
 - Zidentyfikuj przeciążone komórki, tj. w których nie wszyscy użytkownicy mogą uzyskać założoną przepływność bitową (np. 512 kb/s)
 - Dla każdego użytkownika przeciążonej komórki zbuduj listę n komórek w jego zasięgu posortowaną po SINR, które nie są przeciążone (w przykładowej implementacji $n=3$) i uznaj je za kandydatów do przełączenia
 - W komórkach które są kandydatami do przełączenia zwiększ moc nadawania, w przeciążonych komórkach zmniejsz moc nadawania



Połączenie z mechanizmem SFR

- Mechanizm miękkiego zwielokrotnienia wykorzystania częstotliwości (ang. Soft Frequency Reuse - SFR) proponuje podział komórki na dwie części: wewnętrzną i zewnętrzną
- Kliencie w zewnętrznej części są obsługiwani z większą mocą nadawania, w wewnętrznej z mniejszą
- Dla zewnętrznych części każda komórka ma wydzieloną $1/3$ podnośnych, które używa, w celu minimalizacji interferencji z sąsiadami

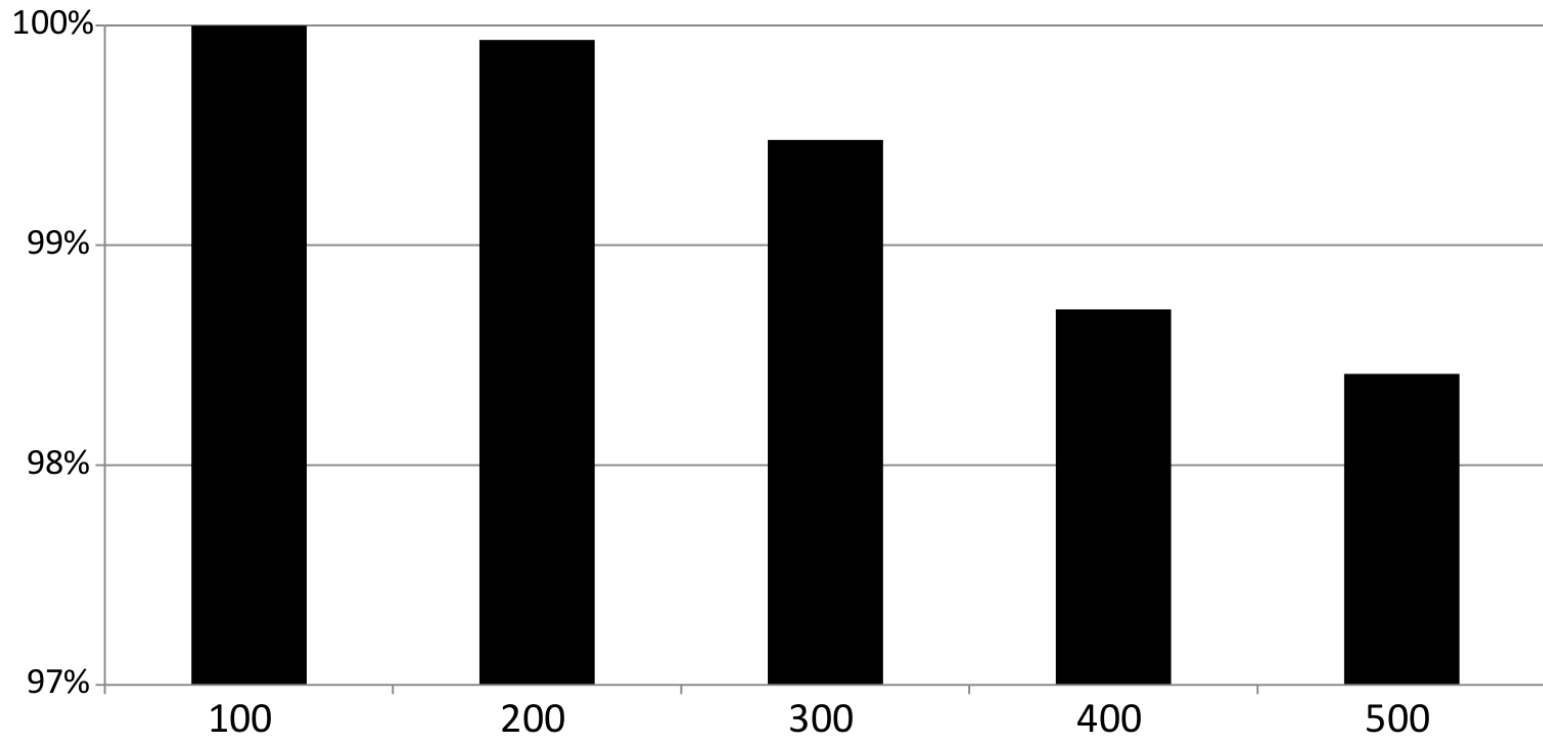


Algorytm równoważenia obciążenia z SFR

- W przeciążonych komórkach zmniejsz moc nadawania w zewnętrznym obszarze (aby zmniejszyć liczbę użytkowników obsługiwanych tylko przez 1/3 podnośnych)
- Równocześnie zmniejsz różnicę pomiędzy mocą nadawania w wewnętrznym i zewnętrznym obszarze w przeciążonych komórkach (aby przejść na efektywniejszą modulację kosztem większych interferencji w sąsiednich komórkach)
- W komórkach które są najczęściej na liście kandydatów do przełączeń zwiększ moc nadawania zarówno w wewnętrznej, jak i zewnętrznej części



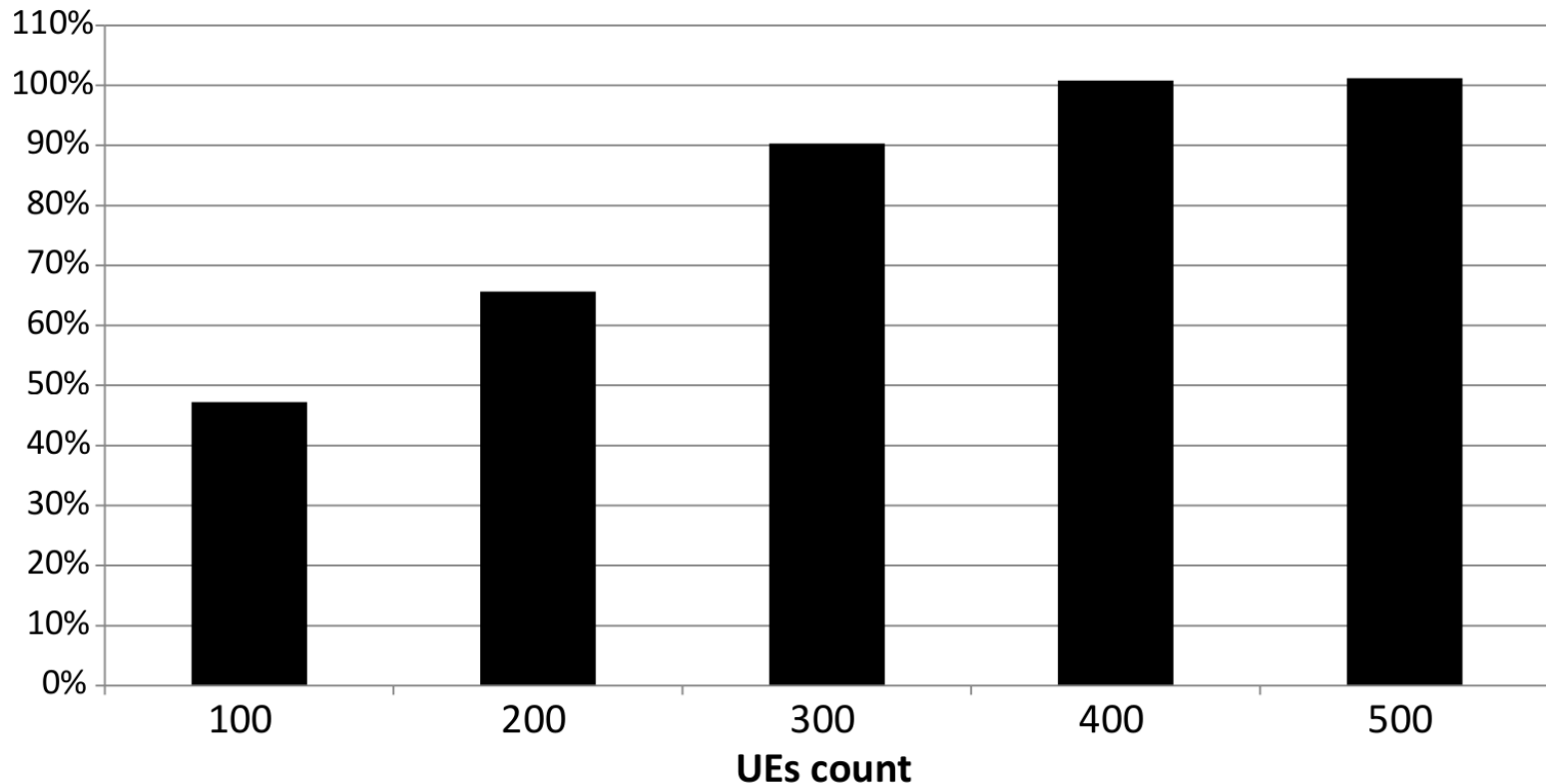
Wyniki



Sumaryczna przepustowość sieci jako procent sieci bez optymalizacji w zależności od liczby klientów



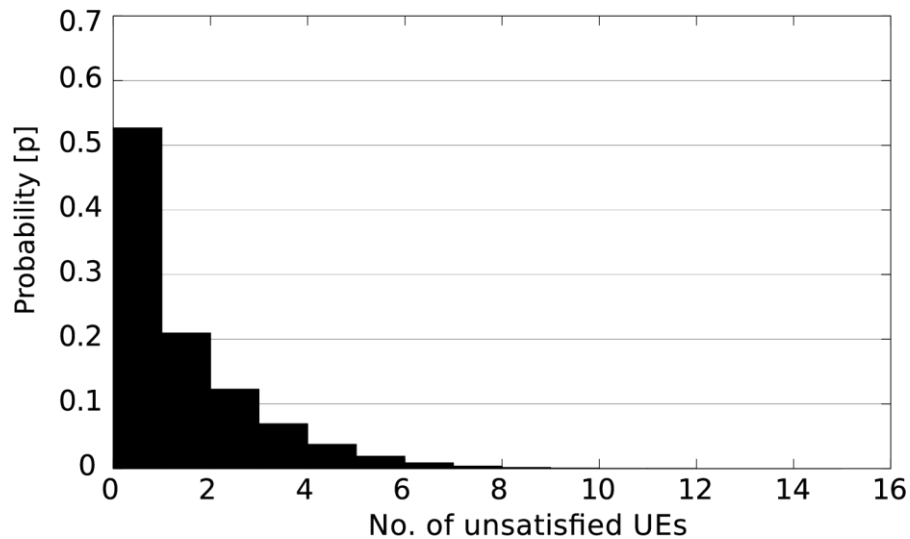
Wyniki



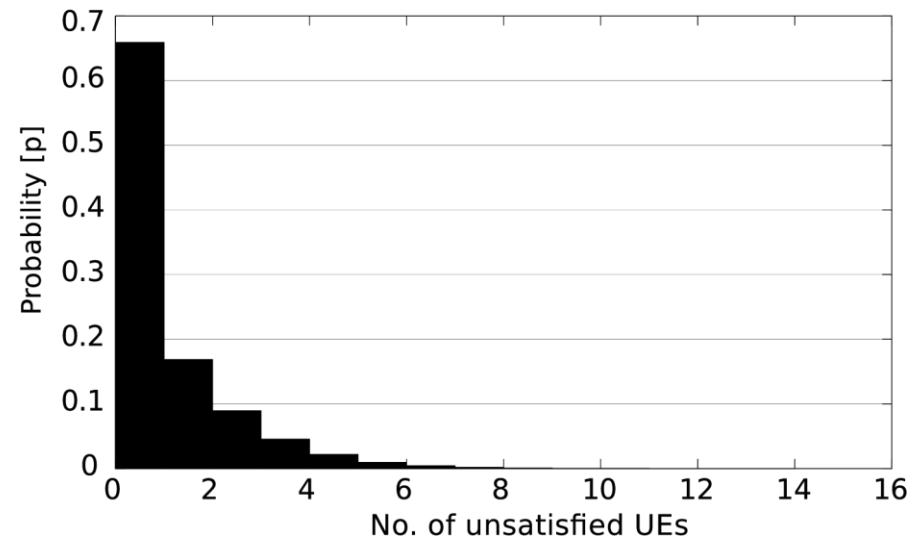
Procent nie obsłużonych klientów w porównaniu do przypadku bez optymalizacji (100 %)



Wyniki



(a) bez optymalizacji

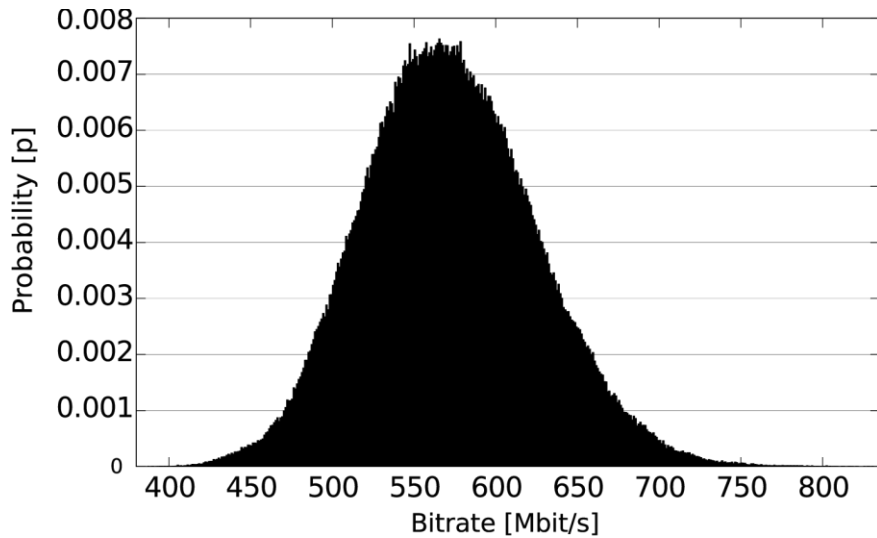


(b) z optymalizacją

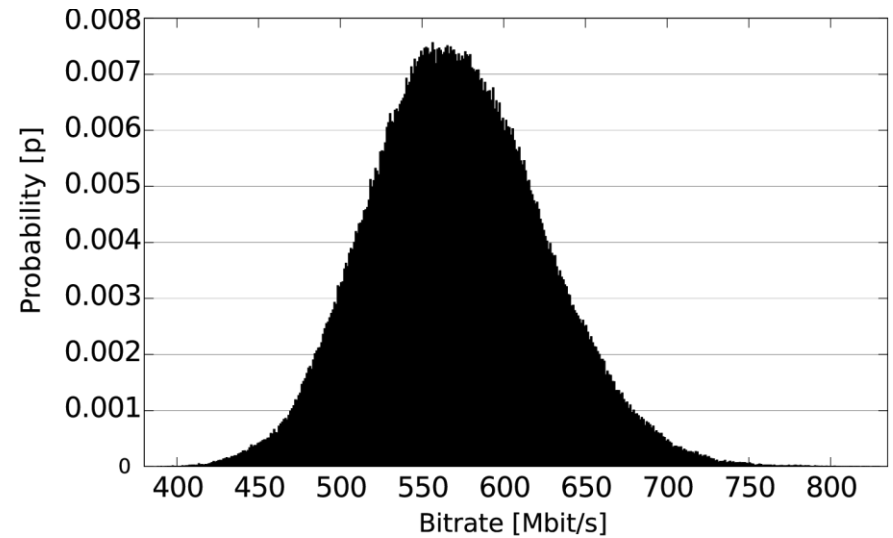
Histogram nie obsłużonych klientów (200 UEs)



Wyniki



(a) bez optymalizacji



(b) z optymalizacją

Histogram przepustowości sieci (200 UEs)

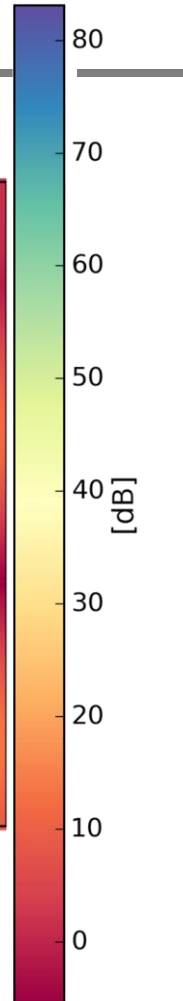
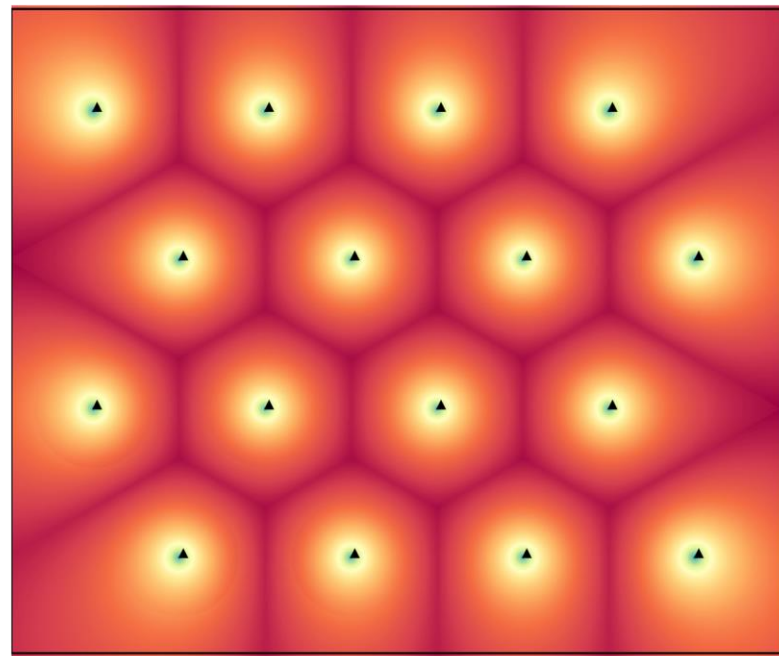
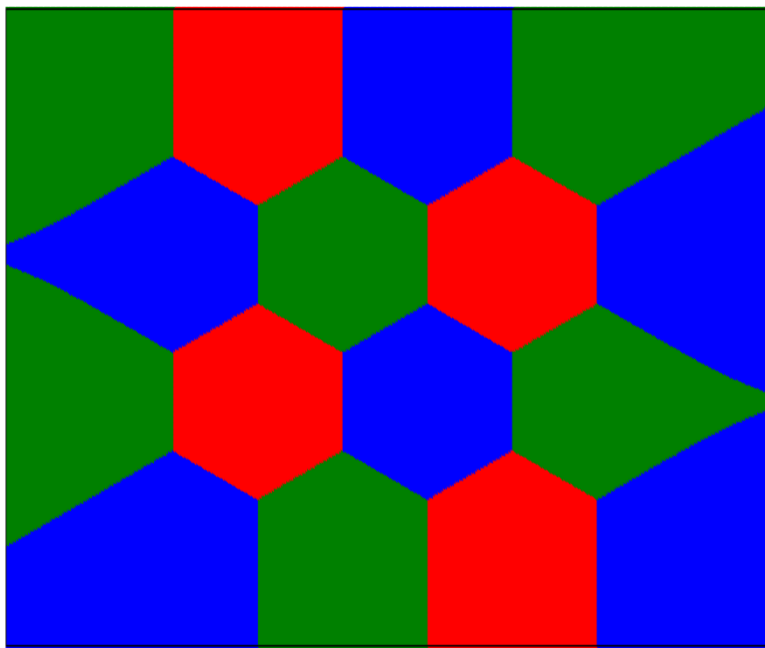


SFR – kolorowanie sieci

- Problem optymalnego doboru przydzielonych części ($1/3$) podnośnych
- Sprowadza się do problemu pokolorowania mapy sieci
- Problem optymalizacyjny – funkcją celu jest ponownie przepustowość całej sieci



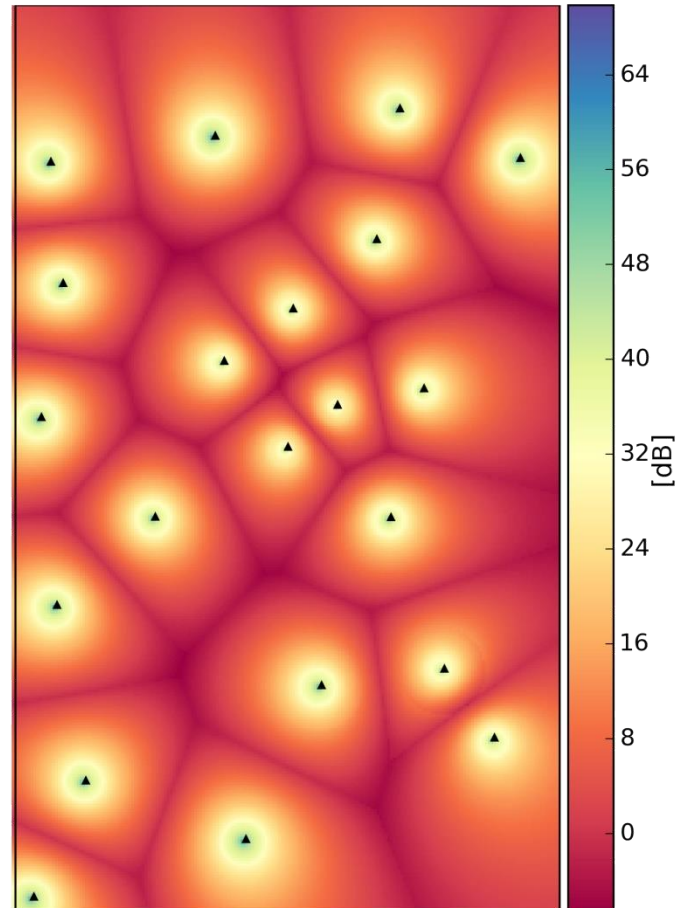
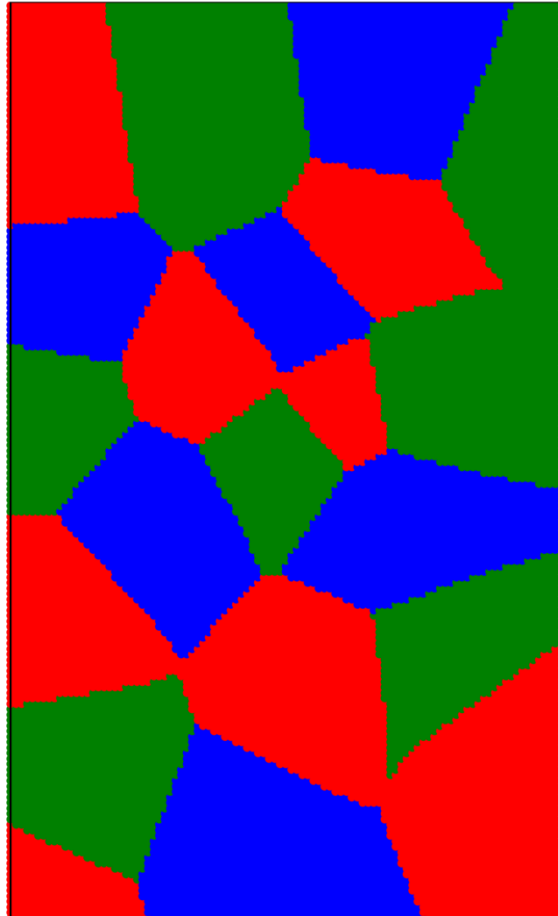
Wyniki optymalizacji doboru kolorów SFR



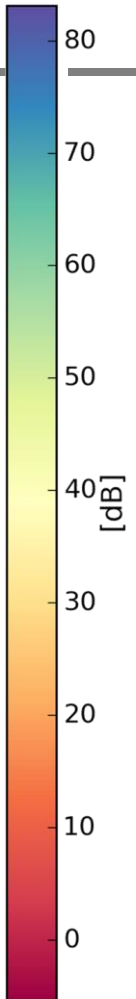
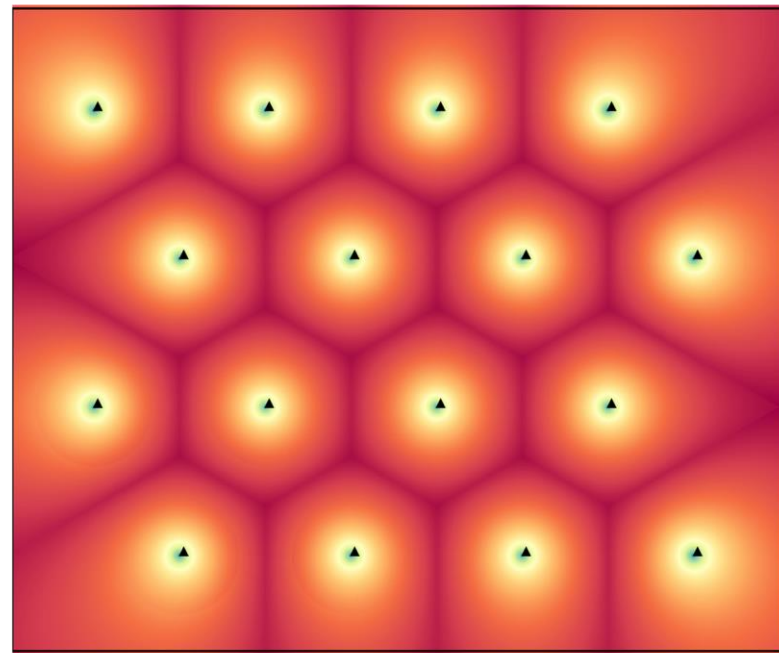
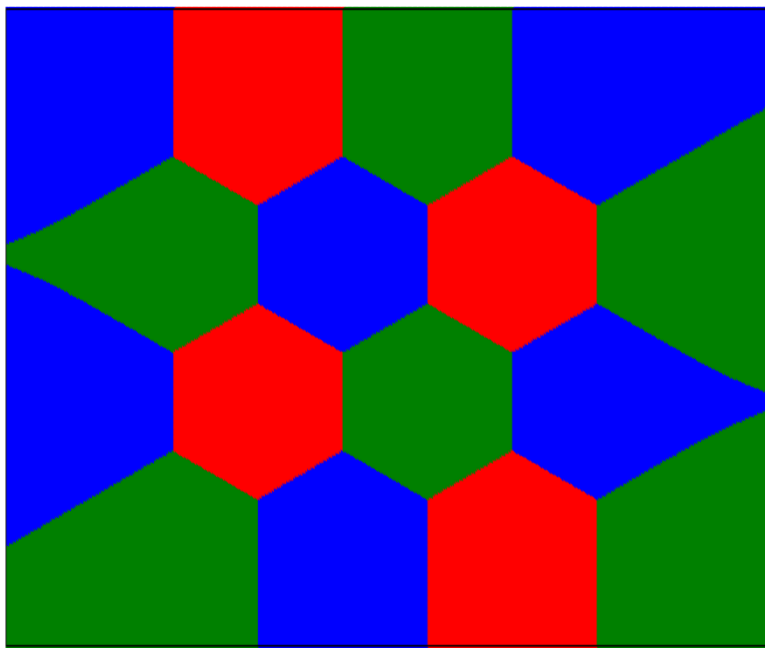
Plaster miodu z RoundRobin



Wyniki optymalizacji doboru kolorów SFR



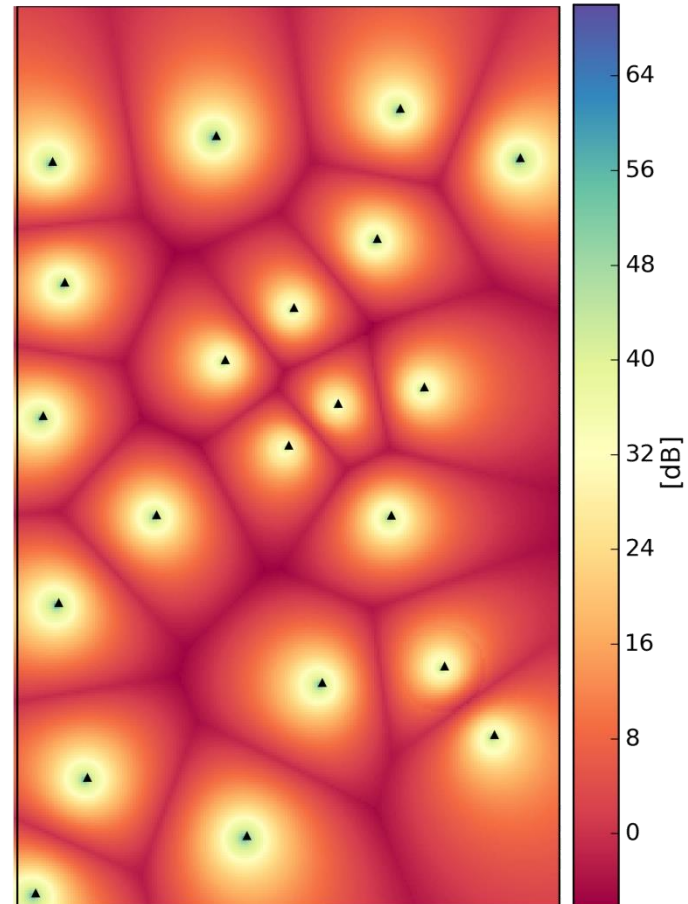
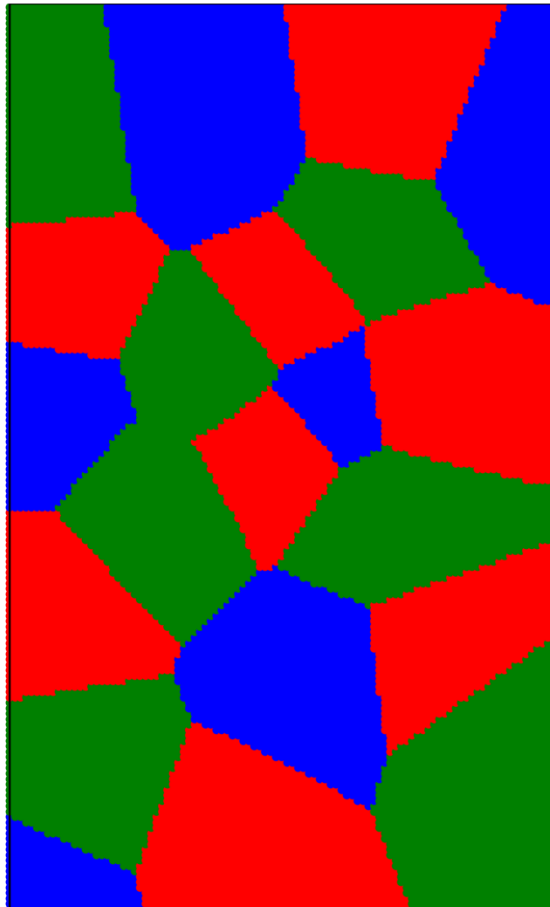
Wyniki optymalizacji doboru kolorów SFR



Plater miodu z Max-Min Fairness



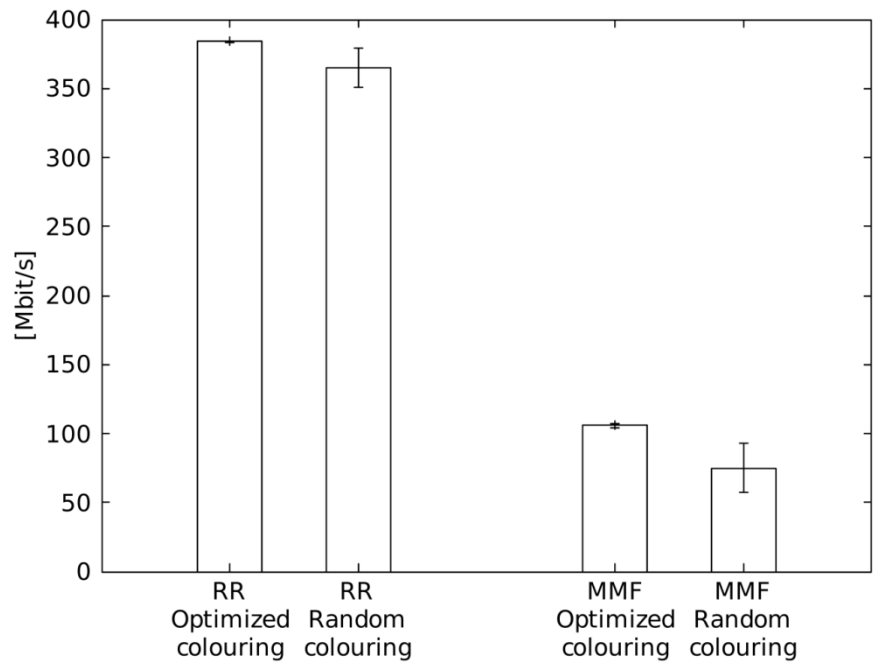
Wyniki optymalizacji doboru kolorów SFR



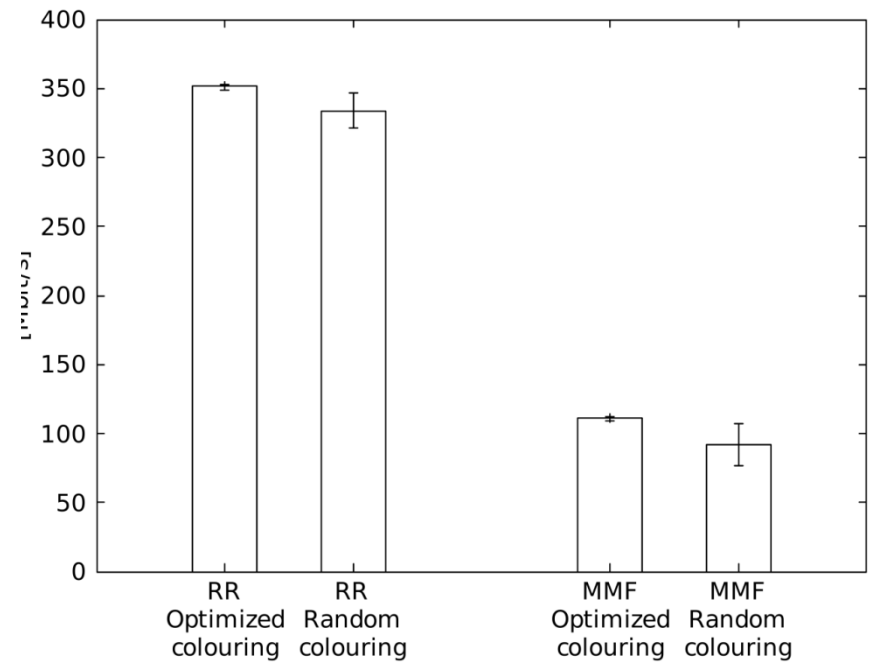
Hannover z Max-Min Fairness



Wyniki optymalizacji doboru kolorów SFR



Hannover



Plaster miodu

Przepustowość sieci

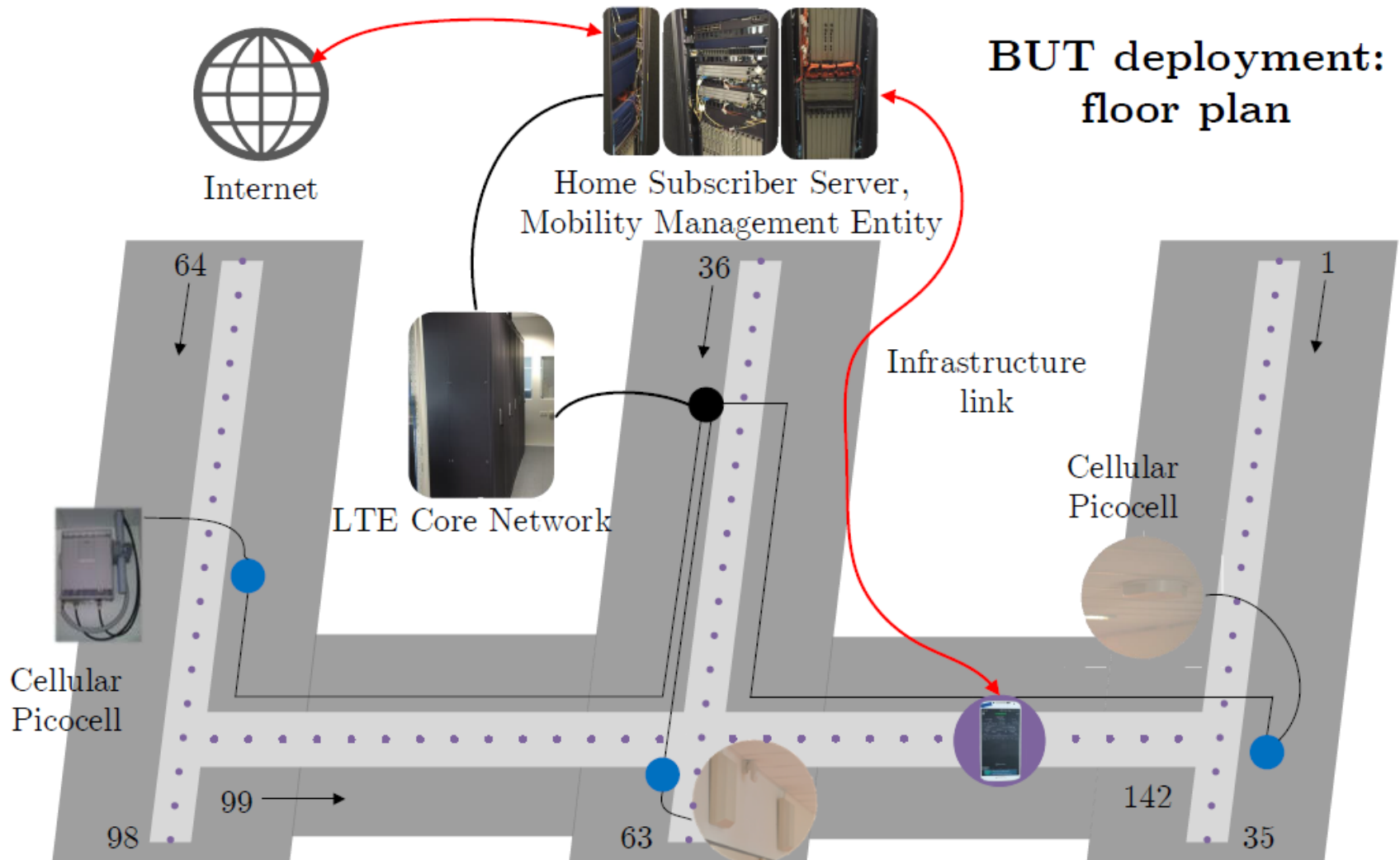


Praktyczna weryfikacja opracowanego modelu

- We współpracy z Politechniką w Brnie (Czechy), z grupą Wislab, zweryfikowaliśmy opracowane modele obliczania maksymalnej przepływności bitowej oraz doboru mocy nadawania
- Sieć złożona z 3 stacji bazowych rozmieszczonych wewnątrz budynku

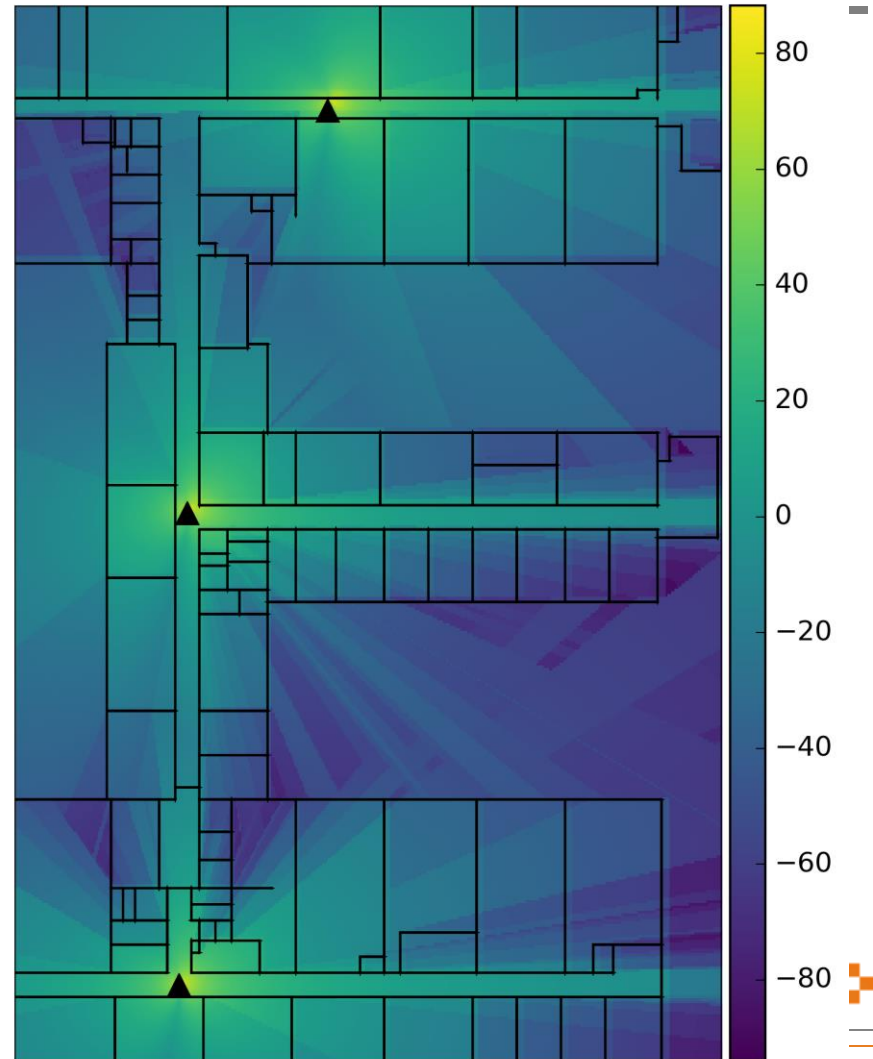


Sieć LTE Politechniki w Brnie

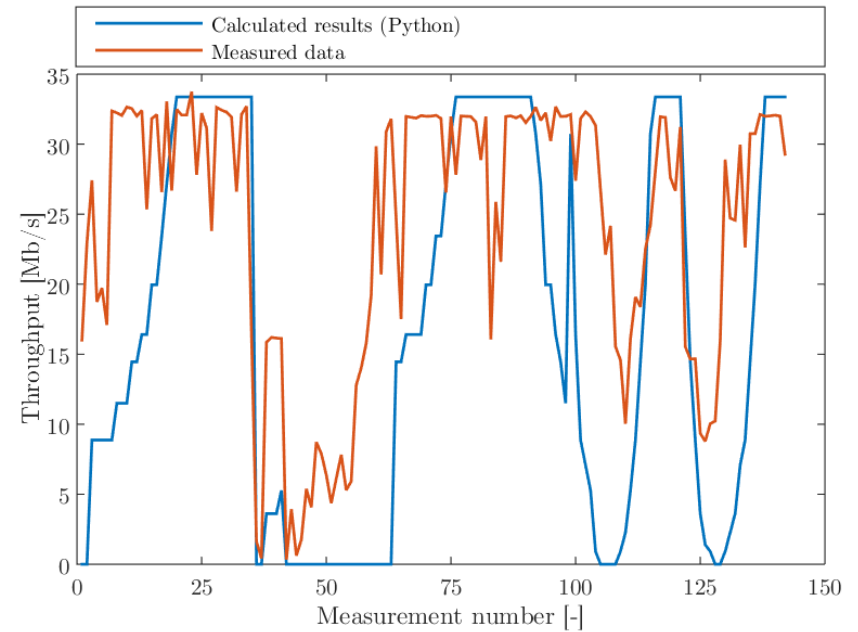
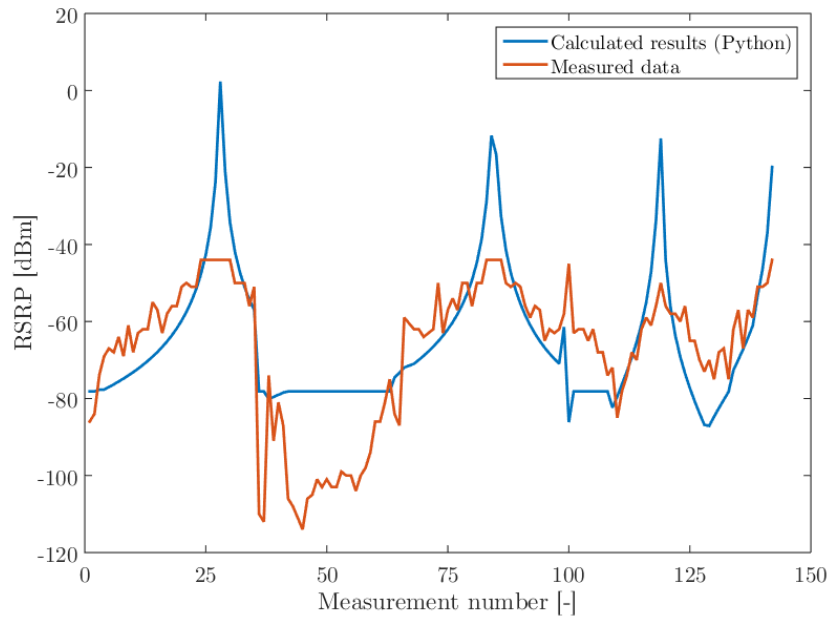


Współpraca z WisLab BUT

- Odtworzenie budynku WisLab w narzędziu PyLTE
- Pomiarzy w budynku WisLab i weryfikacja modelu propagacji



Współpraca z WisLab

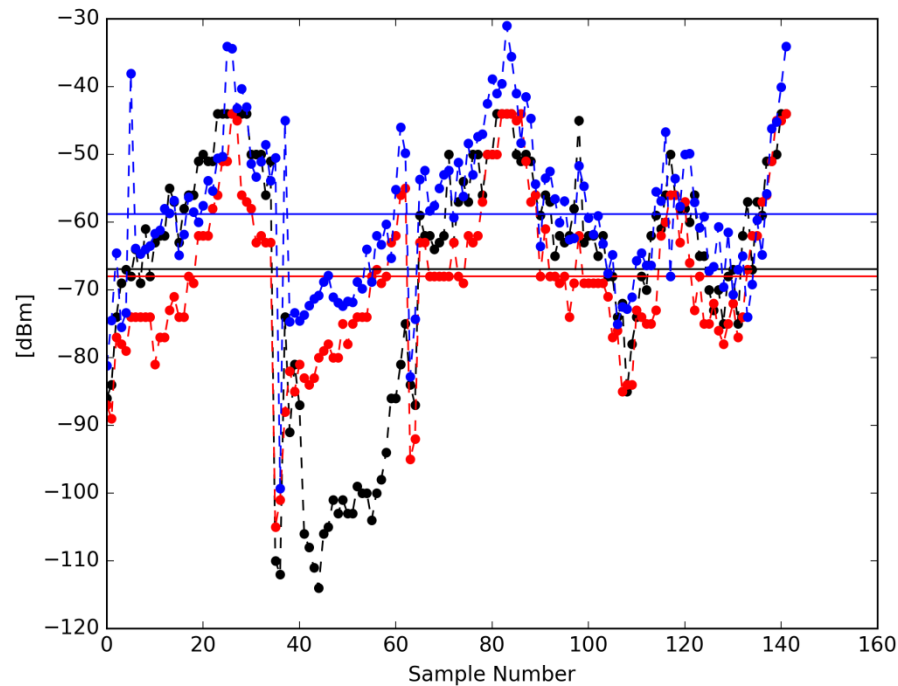


Optymalizacja mocy nadawania stacji bazowych WisLab

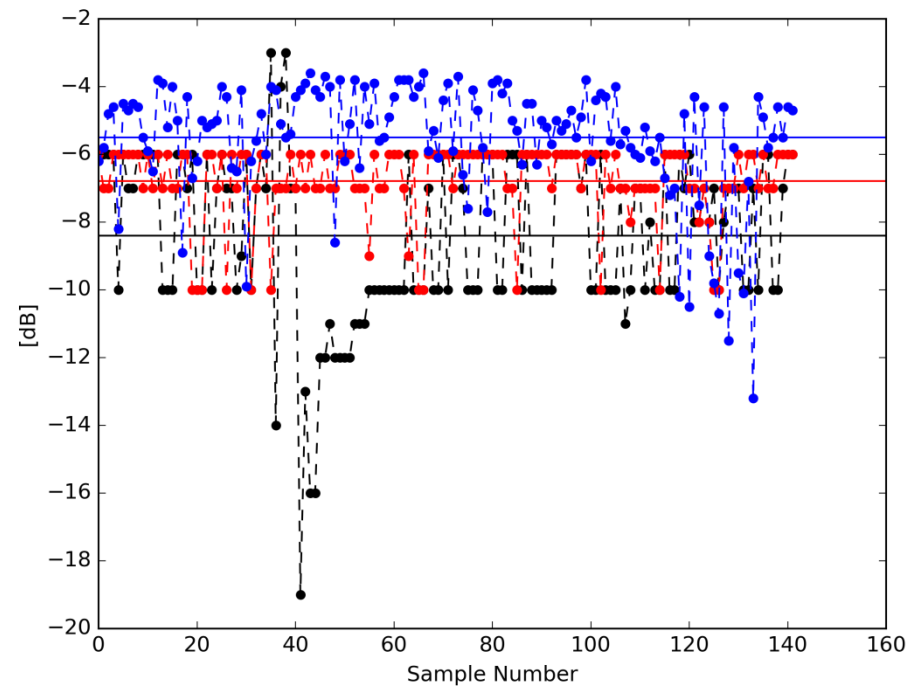
- Pomiarы wykonane na domyślnym ustawieniu mocy nadawania (wszystkie stacje bazowe z taką samą konfiguracją)
- Dobór mocy metodami optymalizacyjnymi
- Rekonfiguracja stacji bazowych i walidacja wyniku



Pomiary przed i po optymalizacji



•-• Default SGS4 •-• Optimized SGS4 •-• Optimized R&S



•-• Default SGS4 •-• Optimized SGS4 •-• Optimized R&S



Podsumowanie

- Równoważenie w sieciach LTE za pomocą doboru mocy nadawania jest możliwe i znacząco wpływa na zmniejszenie odsetka nieobsłużonych klientów sieci

