



**Politechnika Gdańska**  
**WYDZIAŁ ELEKTRONIKI**  
**TELEKOMUNIKACJI I INFORMATYKI**



**Katedra: Katedra Systemów i Sieci Radiokomunikacyjnych**

**Imię i nazwisko dyplomanta: Jakub Stalmirski**

**Nr albumu: 113529**

**Forma i poziom studiów: Studia stacjonarne 1. stopnia (inżynierskie)**

**Kierunek studiów: Elektronika i Telekomunikacja**

## **Praca dyplomowa**

**Temat pracy: Opracowanie projektu sprzętowego stacji bazowej TETRA**

**Opiekun pracy: dr inż. Sławomir Gajewski**

**Zakres pracy:**

- **Opis właściwości i architektury systemu TETRA.**
- **Wybór sprzętu z określeniem zapotrzebowania i wymagań technicznych.**
- **Opracowanie specyfikacji technicznej urządzeń.**

**Gdańsk, 2010 rok**



## OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem samodzielnie. Wszystkie informacje umieszczone w pracy uzyskane ze źródeł pisanych oraz informacje ustne pochodzące od innych osób zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami.

.....

podpis dyplomanta



*Cała nasza nauka, w porównaniu z rzeczywistością, jest prymitywna i dziecinna - ale nadal jest to najcenniejsza rzecz, jaką posiadamy.*

*A.Einstein*



## Spis treści

1. Wstęp.....	9
2. TETRA .....	12
2.1 Architektura i elementy systemu TETRA.....	12
2.2 Właściwości i usługi oferowane przez system TETRA.....	15
2.3 Warstwa fizyczna.....	17
3. Stacja bazowa TETRA .....	20
3.1 Elementy stacji bazowej.....	20
3.2 Budowa i urządzenia stacji bazowej.....	23
3.2.1 Projekt sprzętowy stacji bazowej nr 1 .....	28
3.2.2 Projekt sprzętowy stacji bazowej nr 2 .....	30
4. Dokumentacja końcowa .....	32
4.1 Specyfikacja techniczna SB TETRA.....	32
4.2 Porównanie zaproponowanych rozwiązań.....	35
5. Wnioski końcowe.....	37
6. Bibliografia.....	38
7. Wykaz skrótów .....	40
8. Spis rysunków i tabel .....	42





## 1. Wstęp

---

Gdy w 1895 roku, po raz pierwszy w historii ludzkości, Guglielmo Marconi nadał i odebrał sygnał drogą radiową, nikt nie zdawał sobie jeszcze sprawy, z jak cennego pasma częstotliwościowego korzysta.<sup>[4]</sup>

Dziś, kiedy o przydział pasma częstotliwości trzeba ubiegać się w urzędach regulacji i kontroli komunikacji elektronicznej, a zapotrzebowanie na własny kanał radiokomunikacyjny jest duże, dostępne zasoby powinno wykorzystywać się możliwie efektywnie. Ważnym jest więc, ażeby możliwie wąskie pasma częstotliwości służyły jak największej liczbie użytkowników.<sup>[2][3][4]</sup>

Problem efektywnego wykorzystania kanału nie dotyczy wyłącznie administratorów sieci radiokomunikacyjnych, ale także użytkowników końcowych. W momencie, kiedy operator systemu nie zapewnia wystarczająco dużej ilości kanałów dla swoich użytkowników, może dojść do sytuacji, kiedy wszystkie dostępne kanały przejdą w stan zajętości, a napływające zgłoszenia będą odrzucane.<sup>[3]</sup>

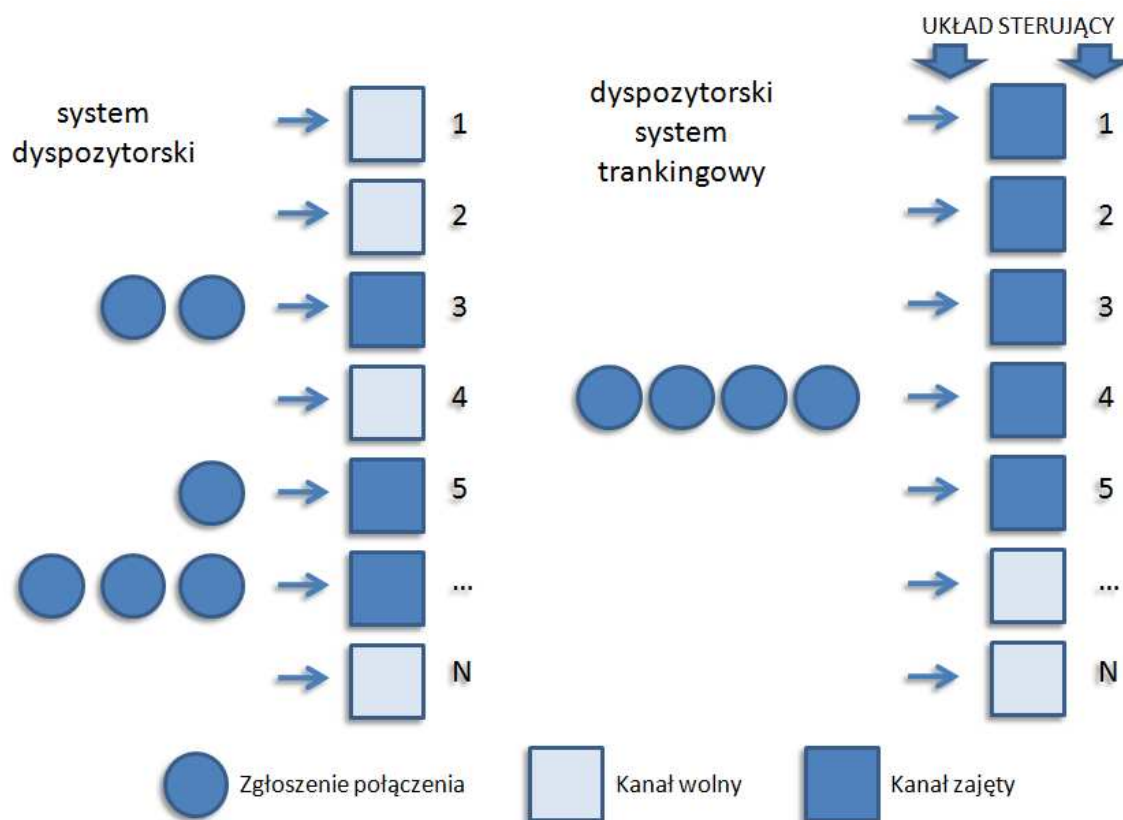
O ile problemy te nie niosą za sobą poważnych konsekwencji w sytuacjach, kiedy przekazywana informacja nie zawiera znaczącej wartości merytorycznej, o tyle mogą być katastrofalne w skutkach, gdy w grę wchodzi ludzkie życie.

Rozwiązaniem dla tych problemów stały się dyspozytorskie sieci trunkingowe.

*Dyspozytor «osoba kierująca przebiegiem jakichś działań lub procesów»<sup>[31]</sup>*

*Trunking «automatyczny rozdział kanałów radiowych pomiędzy użytkowników radiotelefonów»<sup>[31]</sup>*

Rysunek numer 1 pokazuje sposób działania takiej sieci. Jak widać, w odróżnieniu do standardowej sieci dyspozytorskiej, w sieciach trunkingowych pojawia się układ sterujący. Ów układ odpowiedzialny jest za efektywne wykorzystanie dostępnych kanałów, równomierny ich podział między użytkowników, a w razie potrzeby zwolnienie trwającego połączenia i przydzielenie nowo otrzymanego wolnego kanału dla połączenia o wyższym priorytecie.<sup>[6][30]</sup>



Rysunek 1. Schemat funkcjonowania sieci trankingowej

Przykładami takich sieci są między innymi: EDACS, TETRAPOL, APCO 25. Najbardziej jednak rozpowszechnionym i uznanym rozwiązaniem jest jednak system TETRA.<sup>[7]</sup>

TETRA, czyli TERrestrial Trunked Radio jest otwartym standardem cyfrowej radiotelefonii stworzonym przez Europejski Instytut Norm Telekomunikacyjnych(ETSI). Głównym celem, który przyświecał ETSI podczas tworzenia standardu było stworzenie niezawodnego, szybkiego oraz kompatybilnego z innymi systemami standardu łączności, przeznaczonego szczególnie dla służb bezpieczeństwa publicznego i ratownictwa, tak aby zapewnić koordynację funkcjonowania i niezakłóconą współpracę tych służb. System TETRA doskonale spełnia te oraz wiele innych wymagań, a jego stosunkowo prosta konstrukcja pozytywnie wpłynęła na jego popularyzację.<sup>[7][8][9]</sup>

Rozpowszechnianie się systemu TETRA, szczególnie w okresie, kiedy Polska nie posiada ujednoliconej infrastruktury łączności służb szybkiego reagowania i ratownictwa powodują, iż standard ten ma dużą szansę podbicia polskiego rynku radiokomunikacyjnego. Duży wpływ na to mają również wymogi bezpieczeństwa stawiane Polsce przed Euro 2012. Tak duże zainteresowanie tym systemem

przyczynia się do celowości przeprowadzenia szczegółowej analizy jego konstrukcji oraz wymagań zawartych w standardzie.<sup>[7][8][9]</sup>

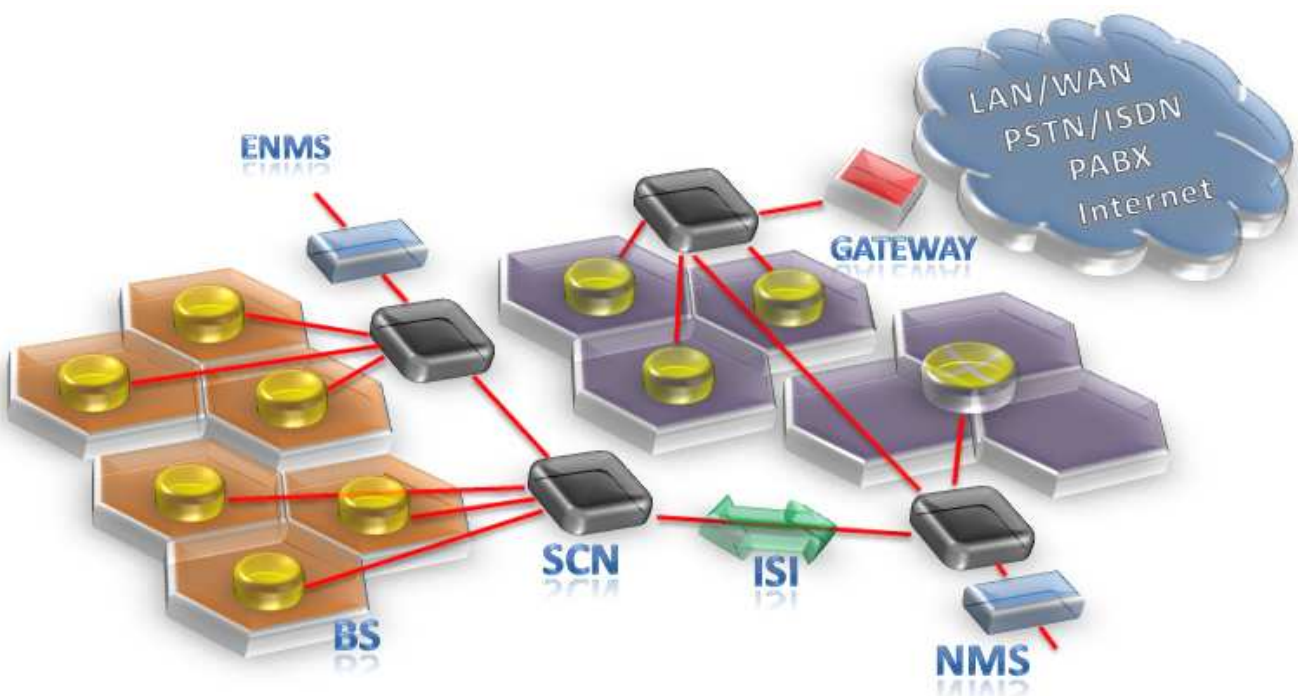
W niniejszej pracy porównane zostały dwa podstawowe rozwiązania budowy stacji bazowych systemu TETRA. Poprzez teoretyczne wprowadzenie i analizę podstawowych cech oraz parametrów systemu zarysowany został schemat działania i funkcjonowania standardu. Szczegółowe przedstawienie urządzeń i pracy stacji bazowej TETRA ukazały minimalne wartości parametrów, niezbędne do budowy i prawidłowego funkcjonowania każdej takiej jednostki. Końcowe zestawienie jest komparacją dwóch najczęściej spotykanych rozwiązań budowy stacji bazowej TETRA i stanowi najważniejszą część pracy.

Ze względu na różnorodność i niemalże zupełną dowolność podczas projektowania stacji bazowej, co jest skutkiem indywidualnych inspiracji projektantów oraz dużego wachlarza możliwości dostarczanego przez producentów sprzętu, w pracy tej celowo zostały pominięte niektóre z rozwiązań dostępnych na rynku, bądź zostały one wyłącznie wymienione. Większą uwagę natomiast, przywiązano do szczegółowego opisu wybranych rozwiązań opartych w szczególności na danych ze specyfikacji technicznych urządzeń.

## 2. TETRA

### 2.1 Architektura i elementy systemu TETRA

Infrastruktura systemu TETRA wzorowana jest na architekturze sieci GSM. W obu przypadkach podstawową jednostką powierzchni jest komórka. Jest to obszar obsługiwany zazwyczaj przez pojedynczą stację bazową. Jego wielkość zależna jest od zasięgu użytecznego danej stacji i jest ustalana w zależności od wymagań sieci.<sup>[1][6]</sup>



Rysunek 2. Model architektury systemu TETRA

Stacja bazowa (*Base Station*) obsługująca daną komórkę jest elementem sieci pełniącym funkcję interfejsu pomiędzy terminalami odbiorczymi a siecią. Każda z takich stacji wyposażona jest w zestaw anten, w zależności od rozwiązania: kierunkowych, bądź dookólnych, a jej elementarnym zadaniem jest transmisja i odbiór sygnału. Należy zauważyć, iż system TETRA wyposażony jest w dwa innowacyjne rozwiązania odróżniające go od innych systemów łączności. Po pierwsze zdefiniowano w nim mBS, czyli mobilne stacje bazowe – najczęściej pojazdy wyposażone we wszystkie konieczne do prawidłowego funkcjonowania elementy stacji bazowej. Pod względem spełnianych funkcji nie różnią się one od swoich stacjonarnych odpowiedników, a w przypadku konieczności działań w terenie niepokrytym zasięgiem sieci stanowią idealne rozwiązanie dla otrzymania łączności

tam, gdzie jest ona w danej chwili potrzebna. Drugim elementem, podnoszącym wydajność systemu, jest tryb transmisji bezpośredniej DMO (*Direct Mode Operation*). Pozwala on na łączność pomiędzy użytkownikami w sytuacjach kiedy znajdują się oni poza zasięgiem sieci, nastąpiło przeciążenie sieci, bądź awaria stacji bazowej. Tryb ten nie pozwala na korzystanie z pełnej funkcjonalności systemu TETRA, ale umożliwia komunikację w niekorzystnych warunkach.<sup>[8][9][26]</sup>

Kolejnym bardzo istotnym elementem systemu TETRA, jest węzeł SCN (*Switching Control Node*). Jest to sterownik odpowiadający za transmisję głosu i danych, współpracujący przy tym z abonencką bazą danych – sprawdzając ich przynależność do grup i uprawnienia. Zazwyczaj SCN współpracuje z kilkoma stacjami bazowymi, a łącząc się w grupy tworzy spójną sieć trunkingową nadzorowaną przez NMS. Warto zauważyć, iż w przypadku małych systemów, składających się z pojedynczej BS, nie jest wymagany niezależny węzeł SCN, ponieważ odpowiedni sterownik symulujący jego pracę jest zazwyczaj wbudowany w każdą stację bazową. Zwiększa to również funkcjonalność systemu w przypadku awarii takiego węzła bądź zerwania toru SCN-BS.<sup>[8][9][29]</sup>

NMS (*Network Management Station*) to stanowiska administratorów sieci. Stanowią one koronne miejsce obsługi i zarządzania systemem. Ponieważ głównym narzędziem pracy administratorów jest dedykowane oprogramowanie do zarządzania siecią i serwerami w NMS i zazwyczaj nie wymaga fizycznej interakcji, może ono odbywać się w sposób zdalny z poziomu ENMS (*External Network Management Station*), czyli zewnętrznych stanowisk zarządzających. Głównymi funkcjami NMS są:<sup>[1][7]</sup>

- administracja wydajności,
- zarządzanie abonentami,
- kontrola bezpieczeństwa,
- prowadzenie systemu bilingowego,
- eliminacja błędów i konserwacja systemu.

Istotnym elementem, z punktu widzenia prawidłowego działania systemu, są stanowiska dyspozytorskie. LS (*Line Station*), podobnie jak NMS, służą do administracji sieci. Tu jednak większą uwagę zwraca się nie na stronę techniczną

systemu, a prawidłowe działanie i pracę osób korzystających z systemu TETRA. Przekazywanie połączeń, tworzenie połączeń grupowych, itp. Podobnie jak to miało miejsce w NMS i tu istnieje możliwość tworzenia stanowisk zdalnych RLS (*Remote Line Station*).<sup>[1][8]</sup>

Bardzo znaczącym elementem architektury systemu TETRA jest gateway. Jest to punkt styku z innymi sieciami. Jest jedynym elementem w całej strukturze, który może stanowić połączenie między systemem TETRA, a sieciami:

- LAN/WAN,
- PSTN,
- ISDN,
- Internet,
- GSM.

Gateway jest interfejsem łączącym sieć TETRA z innymi sieciami. Tworzy się w ten sposób możliwość komunikacji wewnętrznych użytkowników systemu z użytkownikami i zasobami innych sieci.<sup>[7][8]</sup>

W strukturze systemu TETRA występuje jeszcze kilka innych bardzo istotnych interfejsów, między innymi:<sup>[8][29]</sup>

- interfejs radiowy AI (*Air Interface*) między BS, a terminalami radiowymi,
- interfejs ISI (*Inter System Interface*) między różnymi sieciami TETRA,
- interfejs PEI (*Peripheral Equipment Interface*) między terminalem radiowym, a końcowym urządzeniem transmisji danych.

## 2.2 Właściwości i usługi oferowane przez system TETRA

Bardzo rozbudowany już dziś standard TETRA zapewnia pełen wachlarz funkcjonalności. Jako system transmisji głosu gwarantuje między innymi:<sup>[1][7][8][9][30]</sup>

- komunikację czterema niezależnymi kanałami,
- zestawienie połączenia w czasie poniżej 0,5 s,
- prywatność prowadzonych rozmów,
- ustawienia priorytetów wykonywania połączeń,
- automatyczne zwalnianie zajętych kanałów dla połączeń priorytetowych,
- w pełni duplexowe połączenia głosowe (jak w telefonii komórkowej).

W tym teleusługi:<sup>[1][7][8][9][30]</sup>

- połączenie indywidualne,
- połączenie grupowe,
- połączenie bezpośrednie,
- połączenie grupowe z potwierdzeniem,
- połączenie rozsiewcze.

Oczywiście przekaz głosu jest kardynalnym zadaniem systemu telekomunikacyjnego. Oprócz niej, TETRA zapewnia również transmisję danych:<sup>[1][7][8][9][30]</sup>

- przekaz danych z prędkością od 7,2 do 28,8 kb/s,
- transmisję pakietową,
- dostęp do baz danych bezpośrednio z radiotelefonu użytkownika,
- możliwość wysyłania wiadomości tekstowych (odpowiednik SMS),
- obsługę poczty elektronicznej (e-mail),
- opcjonalny dostęp do publicznej sieci transmisji danych i sieci telefonicznej.

System TETRA ma również kilka ciekawych rozwiązań dla administratorów oraz projektantów sieci, między innymi:<sup>[1][7][8][9][30]</sup>

- możliwość rozszerzenia zasięgu systemu przez użycie mobilnej stacji bazowej,

- łączność bezpośrednią pomiędzy terminalami użytkowników znajdującymi się poza zasięgiem systemu,
- podział obszarów stacji bazowych na sektory (wykorzystanie anten sektorowych),
- konieczność rejestracji każdego terminalu odbiorczego, co zdecydowanie ułatwia zarządzanie użytkownikami,
- duża elastyczność systemu zapewnia różnorodne zapotrzebowanie użytkowników na usługi,
- tworzenie grup abonentów,
- identyfikowanie użytkowników,
- możliwość uzyskania autentyczności abonenta,
- możliwość dyskretnej podsłuchu użytkownika,
- możliwość współpracy z wieloma systemami peryferyjnymi (GPS, GSM, ISDN, Internet, LAN, WAN, itd.).

TETRA oferuje również szereg zabezpieczeń dla połączeń oraz efektywniejsze wykorzystanie kanału i polepszenie jakości sygnału:<sup>[1][7][8][9][30]</sup>

- kodowanie przekazywanych informacji oraz użycie innych dodatkowych zabezpieczeń,
- podwójny a nawet poczwórny wzrost wykorzystania pasma w porównaniu z systemami analogowymi,
- wydajniejsze wielokrotne wykorzystanie częstotliwości kanałowych,
- eliminację szumów od innych użytkowników,
- wysoka niezawodność funkcjonowania, związana z odpornością na awarię kanału – możliwy spadek jakości oferowanych usług, ale nie ich blokadowanie.

Duża część funkcjonalności systemu implementowana jest programowo. To znaczy, że wachlarz możliwości naszego systemu zależy wyłącznie od środków finansowych, jakimi dysponujemy, budując dany system. Ze względu na modułowość TETRA jest bardzo elastycznym systemem, który bez ograniczeń pozwala nam dodawać nowe, potrzebne rozwiązania, a eliminować te, które nie są wykorzystywane. Ta elastyczność jest dodatkowym atutem systemu i jednym z wielu powodów dla których jest tak szeroko stosowany.<sup>[6][8]</sup>



## 2.3 Warstwa fizyczna

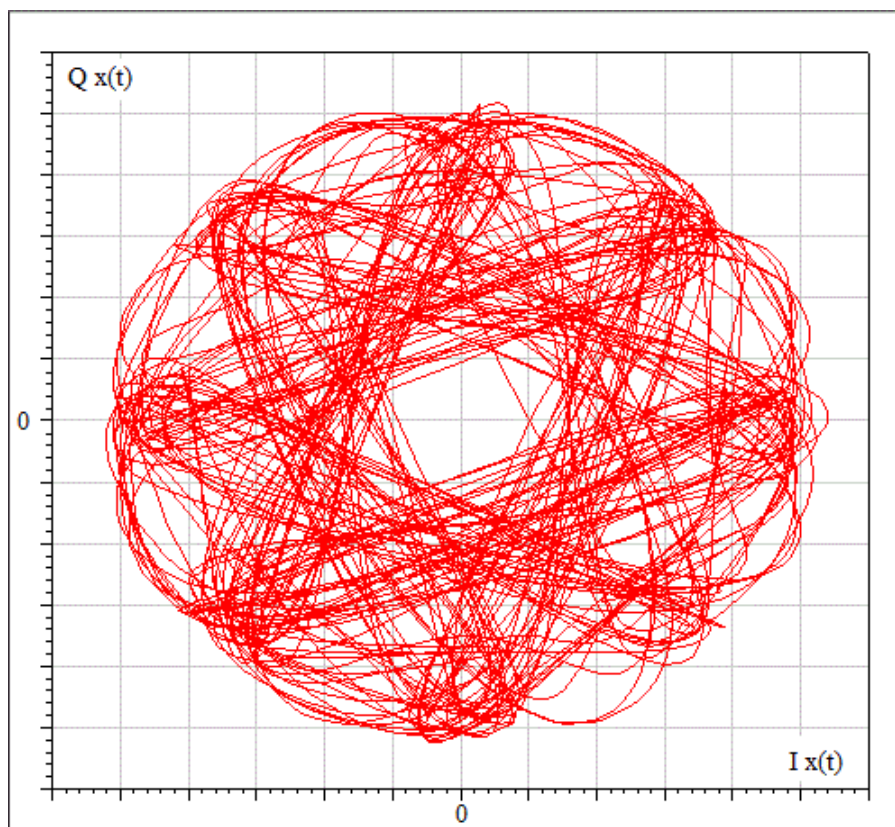
System TETRA wykorzystuje zwielokrotnienie częstotliwościowe FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) i wielodostęp z podziałem czasowym TDMA (*Time Division Multiple Access*). W pojedynczym kanale radiowym o szerokości 25 kHz udostępnione są 4 niezależne szczeliny czasowe, czyli równoprawne kanały komunikacyjne przydzielane w zależności od zajętości systemu i aktualnych potrzeb użytkowników. Istnieje możliwość przypisania pojedynczemu użytkownikowi więcej niż jednej szczeliny czasowej w danym kanale częstotliwościowym w celu uzyskania transmisji danych o większej szybkości.<sup>[1][27]</sup>

Jako iż standard TETRA zapewnia łączność dwukierunkową, przy zastosowaniu duplexu częstotliwościowego i wykorzystywaniu dwóch niezależnych, jednokierunkowych kanałów radiowych, ETSI wyznaczyło następujące pasma pracy systemu:<sup>[28][29]</sup>

Tabela 1. Zalecane pasma pracy systemu TETRA

Kierunek pracy kanału	Szerokość kanału		Jednostka	Kierunek pracy kanału	Szerokość kanału		Jednostka
„w górę”	380	390	MHz	„w dół”	390	400	MHz
	410	420			420	430	
	450	460			460	470	
	870	888			915	933	

W standardzie TETRA zastosowana została kwadraturowa różnicowa modulacja PSK z odpowiednio dobranymi przesunięciami fazy, czyli  $\frac{\pi}{4}$  DQPSK, która wyparła tym samym bardziej skomplikowaną pod względem realizacji modulację GMSK, zastosowaną na szeroką skalę w sieci GSM. Modulacja ta, niestety, nie ma stałej obwiedni, ale jej wahania nie są jednak na tyle duże, aby wpływać negatywnie na sygnał. Dodatkowo ze względu na brak przejść przez zero wartości chwilowej amplitudy sygnału wzrasta również stopień odporności na zniekształcenia nieliniowe (Rysunek 3).<sup>[5][28]</sup>

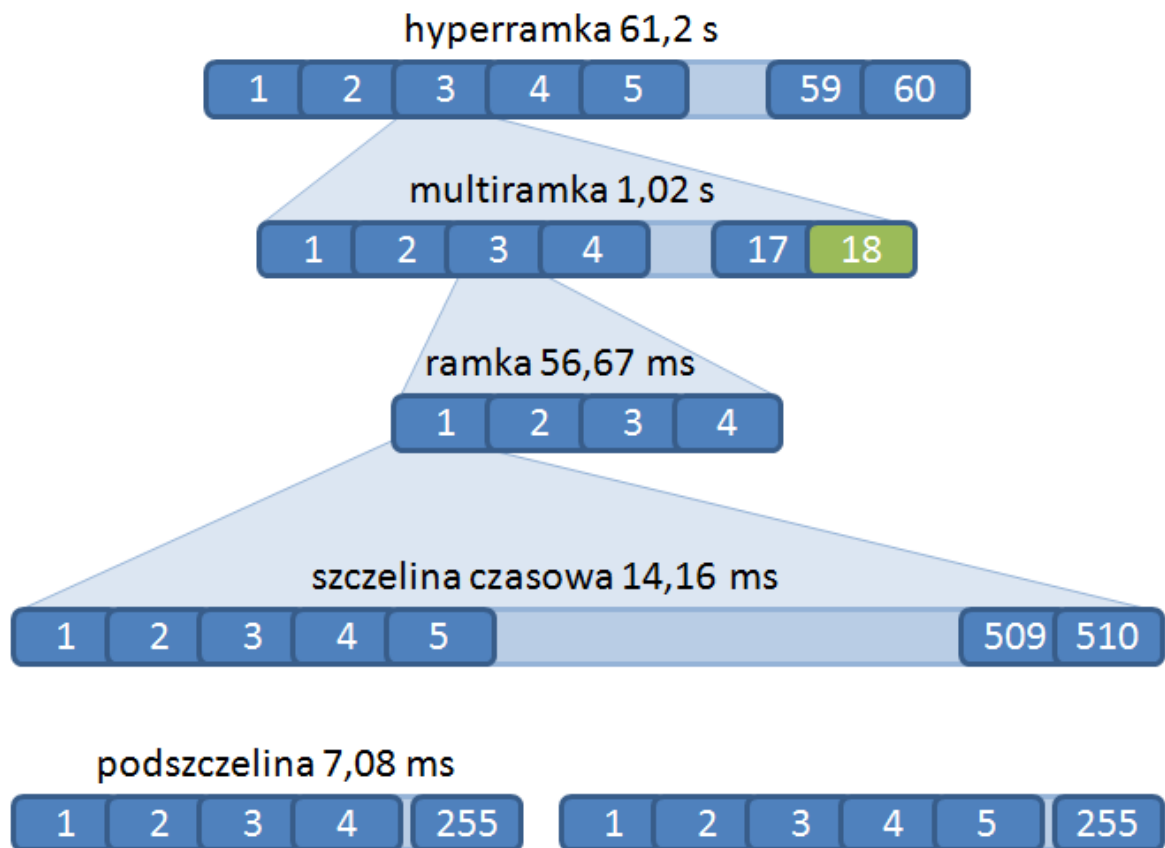


Rysunek 3. Diagram konstelacji dla sygnału po modulacji  $\pi/4$  DQPSK

Pomimo znaczącej różnicy między systemem TETRA a GSM co do zastosowanej modulacji, transmisja w obu systemach odbywa się w sposób analogiczny – za pomocą pakietów. W standardzie zdefiniowanych jest kilka ich rodzajów. Podstawowe przeznaczone są do przesyłania różnych typów informacji i tworzenia kanałów logicznych. Dodatkowo rodzaj pakiety zależy od tego, czy jest kierowany w łączu „w górę” czy „w dół”, ponieważ różnią się one w budowie. Ze względu na wykorzystanie w systemie wielodostępu z podziałem czasowym grupy pakietów wysyłane są w ramach.<sup>[1][7]</sup>

Podstawową jednostką czasową w systemie TETRA jest szczelina czasowa. W przypadku ruchu od użytkownika do stacji bazowej może ona składać się z dwóch podszczelin, z których każda trwa 7,08 ms. W skład każdej ze szczelin czasowych wchodzi 510 bitów transmitowanych z prędkością 36 kb/s. Złożenie czterech następujących po sobie szczelin czasowych nazywamy ramką. Jest ona jedną z osiemnastu wchodzących w skład multiramki. Szczególnie ważną rolę w multiramce odgrywa ramka osiemnasta, jest ona bowiem ramką sterującą (kontrolną). Czas trwania multiramki wynosi 1,02 s. Jednak na samym szczycie struktury czasowej systemu

TETRA stoi hyperramka. Jest ona największym obiektem składającym się z 60 multiramek i trwającym 61,2 s.<sup>[1][26]</sup>



Rysunek 4. Struktura czasowa systemu TETRA

## 3. Stacja bazowa TETRA

---

### 3.1 Elementy stacji bazowej

Najprostszy schemat budowy stacji bazowej każdego systemu można sprowadzić do kilku podstawowych urządzeń. Abstrahując od rzeczy oczywistych, takich jak komponenty zasilające – doprowadzenie zasilania, układ odgromowy oraz maszt, bądź wysoki obiekt, na którym można zamontować anteny, stacja bazowa systemu TETRA powinna zawierać:<sup>[6]</sup>

- zestaw anten,
- komplet okablowania (fider, jumper).
- duplekser TX/RX,
- combiner (opcjonalnie),
- sterownik stacji (kontroler),
- siłownię AC/DC (prostownik),
- gateway,
- interfejsy komunikacyjne.

Zestaw anten. Jak wspomniano już wcześniej, podczas omawiania architektury i elementów systemu TETRA (Roz. 2.1) ze względu na rodzaj zastosowanych anten stacje bazowe możemy podzielić na dwa rodzaje. Pierwsze, dużo bardziej popularne rozwiązanie, to zastosowanie anten dookólnych (omnidirekcyjnych). Ze względu na niskie częstotliwości pracy systemu zasięg pojedynczej BS może spokojnie sięgać kilku-kilkunastu kilometrów, a ze względu na niską liczbę obsługiwanych użytkowników (system dedykowany, a nie ogólnodostępny jak w przypadku telefonii komórkowej – dużo mniejsza liczba abonentów) zazwyczaj nie ma problemu z obsługą ruchu w systemie, nawet przy bardzo niskim prawdopodobieństwie blokady. Drugim jednak rozwiązaniem, stosowanym głównie w ośrodkach o dużej gęstości występowania stacji bazowych oraz dużej liczbie użytkowników, jest zainstalowanie anten kierunkowych. Prowadzi to do spadku interferencji współkanałowych, poprzez spadek liczby komórek wzajemnie interferujących, co pozwala na zwiększenie pojemności sieci. A dzięki skupieniu emitowanej energii w danym kierunku otrzymujemy zwiększony zysk energetyczny.<sup>[1][2][3]</sup>

Komplet okablowania. Ze względu na konieczność przebycia drogi pomiędzy anteną a nadajnikiem/odbiornikiem w stacji bazowej konieczne jest zapewnienie jak najlepszych parametrów tej trasy, tak aby otrzymać możliwie małe tłumienie. Minimalny zestaw takiego toru to fider oraz jumper. Fider to współosiowy kabel transmitujący sygnał pomiędzy anteną, a urządzeniem nadawczym. Niestety, ze względu na jego budowę, często nie ma możliwości podłączenia go bezpośrednio pod urządzenia końcowe i należy stosować łatwe w montażu i kształtowaniu jumpery. Niestety, zwiększa to tłumienie, chociażby ze względu na konieczność łączenia przewodów.<sup>[1][2][3]</sup>

Duplekser, combiner. Ze względu na łączenie systemu TETRA z innymi systemami komunikacji radiowej, ale także z powodu częstego wykorzystywania jednej anteny jako nadawczo/odbiorczej konieczne jest stosowanie urządzeń pozwalających na przesyłanie sygnałów o różnych właściwościach fizycznych jednym torem. Duplekser umożliwia pracę anteny w dwóch trybach (nadawczym i odbiorczym), zarządzając dostępem do anteny odpowiednio nadajnikowi i odbiornikowi stacji bazowej w ustalonych odstępach czasu. Combiner pozwala natomiast na pracę urządzeń nadawczo/odbiorczych różnych systemów na jednej antenie, rozdzielając i filtrując odpowiednio sygnały z dwóch różnych sieci, tak aby sygnały te nie zakłócały się wzajemnie w fiderze.<sup>[6][24]</sup>

Kontroler. Kontroler, sprzęt nadawczo/odbiorczy i komutacyjny bardzo często umieszczany jest wewnątrz jednego urządzenia ze względu na łączone funkcje integruje się je w jednolite układy. Kontroler pełni funkcję układu zarządzającego i decyzyjnego w stacji bazowej. Nadzoruje zarówno ruch przychodzący jak i wychodzący urządzeń nadawczo/odbiorczych, ale również współpracuje z gateway'ami. Nadajnik i odbiornik w BS ściśle współpracują z kontrolerem. Głównym zadaniem nadajnika jest wytworzenie sygnału o określonych parametrach fizycznych, po wcześniejszym kodowaniu, przeplocie, multipleksacji i modulacji oraz. Analogicznie działa odbiornik. Urządzenia te powiązane są z układem komutacyjnym zarządzającym trasami konkretnych sygnałów.<sup>[6][16]</sup>

Siłownia AC/DC. Jako iż każde urządzenie elektryczne potrzebuje zasilania, nie da się uniknąć budowy BS bez instalacji elektrycznej i urządzeń ją obsługujących. Aby bez względu na czasowe zaniki dostaw prądu do stacji bazowej sieć komunikacji

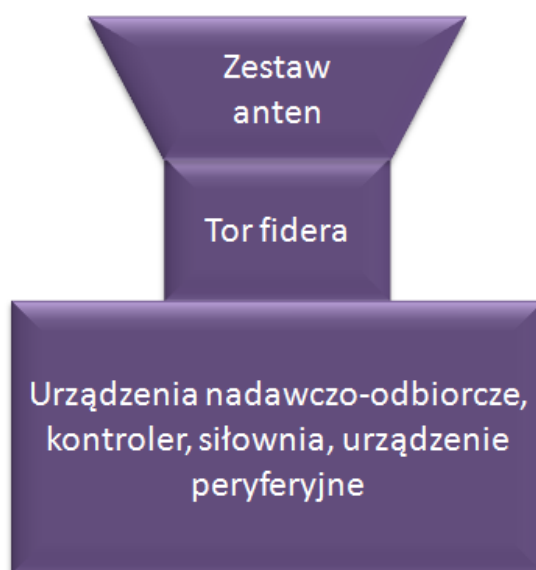
radiowej mogła funkcjonować normalnie trzeba zapewnić jej dodatkowe niezależne zasilanie. Obecnie jedynym stosowanym rozwiązaniem jest instalacja wewnątrz stacji baterii zasilania awaryjnego, które są w stanie podtrzymać funkcjonowanie stacji przez określony czas. Za ładowanie akumulatorów podczas normalnej pracy odpowiadają prostowniki. Obsługują one również urządzenia zasilane prądem stałym. Ważny jest więc odpowiedni dobór urządzeń wewnątrz stacji o możliwie małym poborze mocy.<sup>[3][6]</sup>

Gateway. Interfejsy komunikacyjne. Zarówno gateway jak i interfejs komunikacyjny są opcjonalnymi jednostkami łączności stacji bazowej z innymi sieciami. Jeżeli w danym systemie występuje więcej niż jedna stacja bazowa, to każda z nich może być podpięta do wydzielonego SCN. Aby móc zarządzać taką stacją zdalnie i kontrolować ruch przez nią obsługiwany, musi istnieć fizyczne połączenie między SCN a BS. Od strony stacji bazowej odpowiada za to interfejs komunikacyjny. Podobnie wygląda sytuacja, gdy zaistnieje potrzeba podłączenia stacji bazowej do innych zewnętrznych sieci (GSM, ISDN, Internet, itp.). Wówczas obsługą połączenia z taką siecią zajmuje się gateway, który stanowi most między systemem TETRA, a zewnętrznymi sieciami. Bardzo często udaje się integrować układy gateway z interfejsem komunikacyjnym i bezpośrednio z kontrolerem stacji. Oszczędza się w ten sposób miejsce i często koszt, a obsługa takich urządzeń odbywa się poprzez wspólny GUI (*graphical user interface*).<sup>[6][12]</sup>

### 3.2 Budowa i urządzenia stacji bazowej

Ze względu na bardzo dużą liczbę rozwiązań proponowanych przez producentów sprzętu możliwości i sposoby łączenia poszczególnych komponentów ze sobą są niemalże nieograniczone. Dodatkowo trzeba zauważyć, iż nawet jeden producent może posiadać w swojej ofercie kilka różnych rodzajów tego samego urządzenia do wykorzystania w zależności od wymagań projektanta konkretnego systemu. W wielu przypadkach mamy również do czynienia z kompilacjami kilku urządzeń w jednym fizycznym produkcie. Pozwala nam to na zaoszczędzenie miejsca wewnątrz BS oraz zwiększa możliwości sposobu projektowania stacji.<sup>[10:25]</sup>

Najprostszy schemat stacji bazowej składa się z trzech podstawowych bloków. Każdy z nich może zostać oczywiście rozbudowany o dodatkowe elementy, zgodnie z założeniami projektowymi danego systemu.



Rysunek 5. Schemat blokowy stacji bazowej

Poniżej zaprezentowane zostały dostępne obecnie na polskim rynku produkty niezbędne do budowy stacji bazowej systemu TETRA. Następne dwa rozdziały natomiast to propozycje dwóch, z góla odmiennych realizacji stacji bazowych.

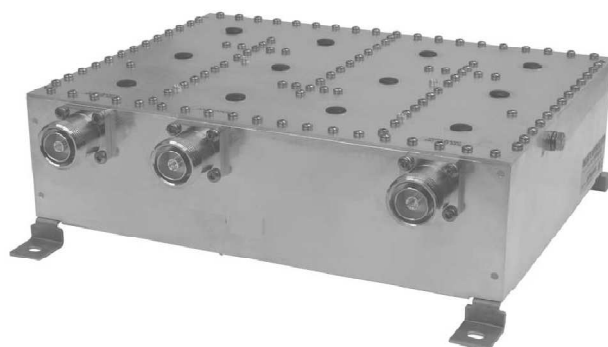


Rysunek 6. Anteny Kathrein

VPol Omni 737 003 to najprostszy z modeli anten firmy Kathrein stworzonych dla systemu TETRA. Działa ona w paśmie 370-430 MHz, a jej zysk to 2dBi. Jest to antena dookólna, w przeciwieństwie do modelu VPol Panel 739 504. Model 739 504 pracuje na częstotliwościach 380-430 MHz z zyskiem 8,5 dBi. Obie anteny są jednopasmowe o impedancji  $50 \Omega$  i mogą pracować z mocą odpowiednio do 100 i 500 W.<sup>[17][18]</sup>

Podobne rozwiązania proponują oczywiście inne firmy, chociażby RFS. Tu dla przykładu fider tego producenta. Fider HCA118-50J z tłumieniem 1,88 dB/100m i możliwością pracy z sygnałami o mocy do 5,96 kW.<sup>[20]</sup>

Kolejnym elementem wchodzącym w skład stacji bazowej TETRA jest duplekser. Zaprezentowany model jest produktem firmy Kathrein z rodziny 782 1036X. Urządzenia te mogą pracować w paśmie 380-400 MHz z mocą wejściową sygnału poniżej 200W.<sup>[23]</sup>



Rysunek 7. Duplekser Kathrein



Rysunek 8. Combiner Kathrein

Jako jedno z urządzeń opcjonalnych firma Kathrein posiada w swojej ofercie dwuzakresowy Combiner. Pracuje on w pasmach 50-460 MHz i 806-2500 MHz. Pozwala on tym samym na pracę dwóm systemom (np. TETRA i GSM). Jest on przeznaczony do użytku zarówno wewnętrznego, jak i zewnętrznego i pracy z sygnałami do mocy 500W.<sup>[24]</sup>





Rysunek 9. MTS4

Bardzo ciekawym rozwiązaniem jest seria produktów proponowana przez Motorole i dedykowana dla systemu TETRA. Pierwszym z zaprezentowanych urządzeń jest kompletna stacja bazowa MTS4. Jest ona w pełni samowystarczającą jednostką, której do funkcjonowania brakuje jedynie systemu antenowego. Umożliwia pracę w 32 szczelinach czasowych jednocześnie, pobór mocy do 1,2 kW oraz 5 MHz pasmo pracy, w zakresach częstotliwości 350-433 MHz oraz 380-470 Mhz. Wykazuje się również bardzo dużą czułością na poziomie -114 dBm. Dodatkowo stacja wyposażona jest w odbiornik GPS oraz własne akumulatory zasilające, w związku z czym nie wymaga instalacji dodatkowych urządzeń.<sup>[10]</sup>

Firma Motorola pokusiła się również o wydanie wersji zminimalizowanej prezentowanego powyżej urządzenia. Jest nią MTS2. Nie odbiega ona znacząco funkcjonalnością od większej 'koleżanki' – regulacja mocy nadawczej również do 40 W, choć obsługa już tylko do 8 szczelin czasowych, co zmniejsza maksymalną liczbę użytkowników obsługiwanych jednocześnie.<sup>[11]</sup>



Rysunek 11. MTS2

Dla obu powyższych modeli przygotowany został opcjonalny moduł transmisji IP (gateway). Pozwala ona na

pracę stacji bazowej oraz użytkowników w sieci Internet, szybką łączność z jednostkami sterującymi oraz zdalny dostęp do stacji. Zapewnia transmisję głosu, obsługę SDS (*Short Data Services*), wymianę danych oraz nagrywanie przeprowadzanych rozmów. Wszystko to poprzez wykorzystanie sieci IP, wraz z wykorzystaniem dodatkowych zabezpieczeń, szyfryzacji i autoryzacji.<sup>[12]</sup>



Rysunek 10. Dimetra IP

W celu prawidłowego zabezpieczenia naszych urządzeń, szczególnie tych znajdujących się pod ciągłym działaniem czynników atmosferycznych, konieczna jest budowa pomieszczenia dla sprzętu naszej stacji bazowej bądź umieszczenie go w zaproponowanej przez firmę Motorola szafie do użytku zewnętrznego. Wybór sposobu ochrony urządzeń każdego systemu jest niezmiernie ważny, ponieważ warunkuje on okres ich żywotności.<sup>[13]</sup>



Rysunek 12. Outdoor cabinet



Rysunek 13. MTS 1

Jako ostatnie już przykłady rozwiązań kompleksowych dla stacji bazowych przedstawione zostały dwa flagowe produkty firm Motorola i Damm. Stanowią one podstawę dla niedużych systemów, w których główny nacisk kładzie się na szybkość powstania sieci i budowy stacji bazowych oraz zniwelowanie kosztów tworzenia systemu. Modele te, to odpowiednio MTS1 oraz BS421. Oba urządzenia charakteryzują się mocą wyjściową sygnału do 10 W oraz czułością na poziomie -120 dBm. W obu przypadkach pojedyncza stacja obsługuje jeden kanał częstotliwościowy dlatego do pełnej obsługi systemu stosowane są dwie takie jednostki. Urządzenia te w pełni wspierają obsługę systemu GPS oraz łączność przez sieć Ethernet. Jediną różnicą znaczącą różnicą jest rodzaj zasilania. Stacja MTS1 wymaga zasilania prądem przemiennym (230 V), natomiast MS421 prądem stałym (48 V).<sup>[15][25]</sup>



Rysunek 14. Damm BS421

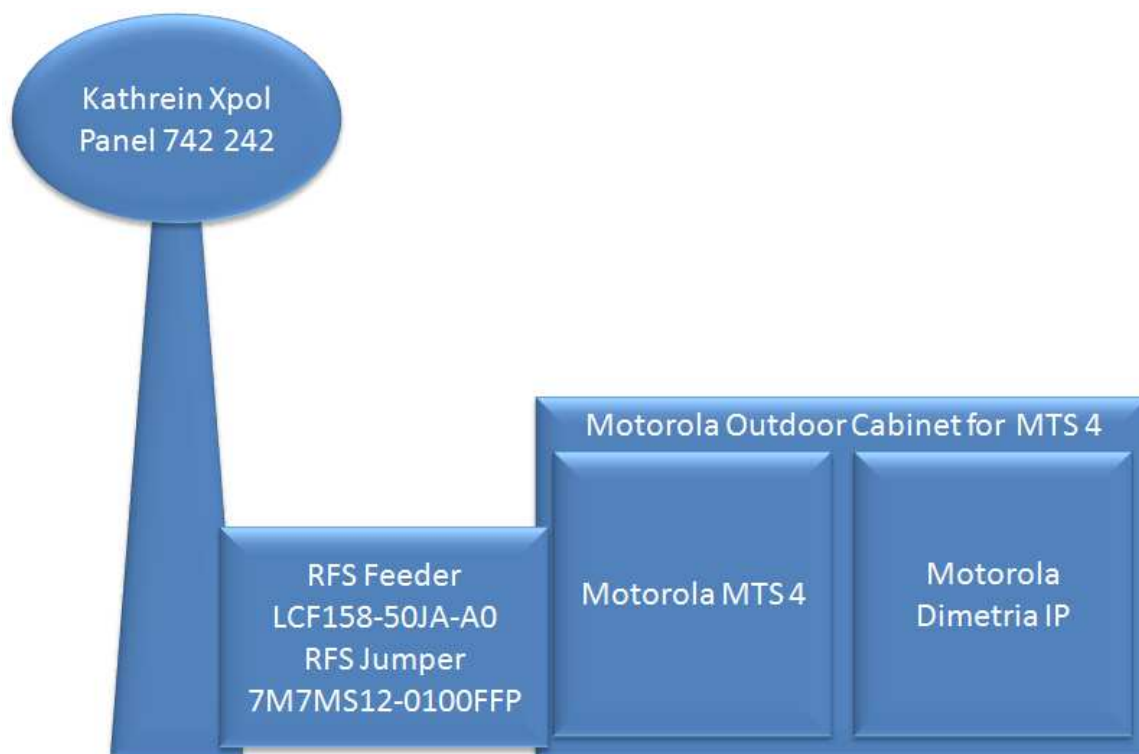
Powyższa prezentacja urządzeń ma na celu przybliżenie i zapoznanie z zespołami elementów pracującymi w systemach TETRA. Jak widać, producenci oferują bardzo szeroką gamę różnych rozwiązań. Dążą przy tym do kompresji jak największej liczby urządzeń i zawarcia ich w konstrukcji jednego produktu, co zdecydowanie wpływa korzystnie na ekonomię wykorzystania miejsca pod budowę takiej stacji.

Podczas projektowania stacji bazowej każdego systemu należy mieć na uwadze, dla kogo dana stacja (system) ma pracować i jakie są warunki stawiane przed danym projektem. Dobór odpowiedniego sprzętu i konkretnych już urządzeń powinien tak naprawdę odbywać się na samym końcu i być ostatnim punktem projektu. Przede wszystkim dana stacja musi spełniać oczekiwania jej właściciela co do : zasięgu, ilości obsługiwanych użytkowników, prawdopodobieństwa blokady i kosztów realizacji. Dopiero znając te wymagania, możemy przystąpić do projektowania systemu. W wyniku obliczeń uzyskamy specyfikację techniczną naszego rozwiązania, która będzie ustalała minimalne wymagania sprzętowe dla naszej stacji bazowej.<sup>[2]</sup>

### 3.2.1 Projekt sprzętowy stacji bazowej nr 1

Poniższy projekt jest przykładowym rozwiązaniem budowy stacji bazowej, przy założeniach:

- środowisko propagacji: teren otwarty (niezabudowany),
- uzyskanie maksymalnego zasięgu przy minimalnej mocy nadajnika,
- zdalny dostęp i sterowaniem stacją,
- obsługa co najmniej 1000 użytkowników.



Rysunek 15. Projekt sprzętowy stacji bazowej 1

Zaproponowane rozwiązanie składa się z sześciu podstawowych elementów zapewniających pełną funkcjonalność standardu TETRA. Zaprezentowana stacja bazowa realizuje założenia projektowe oraz zapewnia możliwość rozbudowy w przypadku zwiększenia wymagań. W jej skład wchodzi:

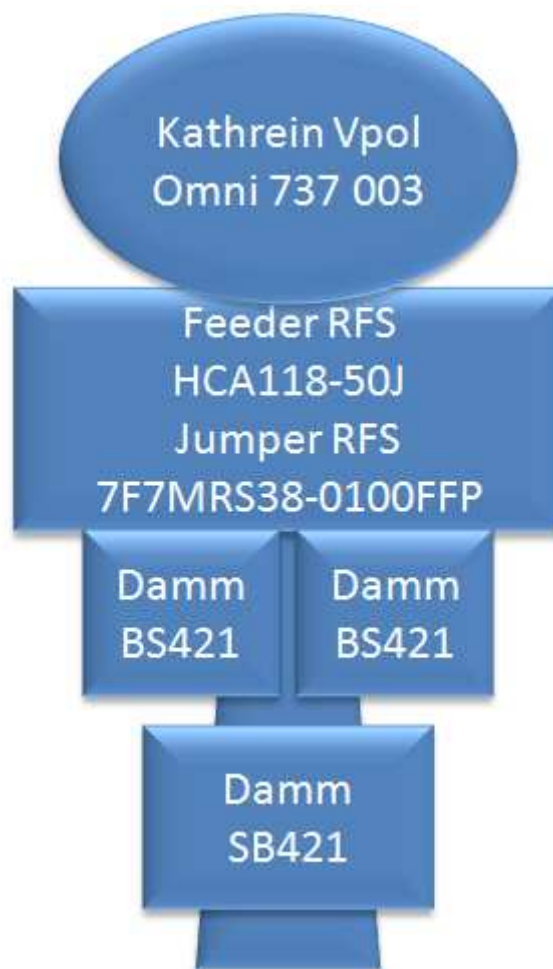
- 6 anten sektorowych Kathrein XPol Panel 742 242, każda o zysku 14,5 dBi, szerokości wiązki  $65^\circ$  oraz regulowanym w pionie kątem nachylenia emitowanego sygnału,<sup>[17]</sup>
- 4 par jumperów o grubości  $\frac{1}{2}$ " dla każdej z anten. RFS Jumper 7M7S12-0100FFP stanowi połączenie między sztywnym fiderem a anteną i stacją bazową,<sup>[21]</sup>
- fider RFS LCF158-50JA-A0 do transmisji sygnałów między anteną a stacją bazową o grubości  $1\frac{5}{8}$ " i tłumieniu 1,35 dB/100m dla częstotliwości pracy 400 MHz,<sup>[19]</sup>
- stacja bazowa MTS 4 firmy Motorola. Umożliwia obsługę do 32 szczelin czasowych, moc nadawczą do 40 W, własny system wentylacji oraz akumulatory zasilające,<sup>[10]</sup>
- dedykowany dla MTS 4 gateway Motorola Dimetra IP, zapewniający dostęp do sieci Internet, zdalną obsługę stacji bazowej oraz transmisję mowy i danych over IP,<sup>[12]</sup>
- zewnętrzną szafę stacji bazowej Outdoor Cabinet z możliwością pracy w temperaturze od  $-30^\circ\text{C}$  do  $+40^\circ\text{C}$ , dodatkowym układem wentylacji oraz akumulatorów.<sup>[13]</sup>

W zależności od wymogów, anteny stacji bazowej można zainstalować na maszcie radiokomunikacyjnym o dowolnej wysokości. Należy jednak pamiętać, aby zapewnić przy tym odpowiednią długość fidera oraz moc sygnału wynikającą z bilansu energetycznego. Dzięki temu istnieje możliwość sterowania wielkością zasięgu stacji bazowej.

### 3.2.2 Projekt sprzętowy stacji bazowej nr 2

Poniższy projekt jest przykładowym rozwiązaniem budowy stacji bazowej, przy założeniach:

- środowisko propagacji: teren miejski (mocno zurbanizowany),
- miejsce instalacji: najwyżej położony budynek w centrum wymaganego obszaru pokrycia sieci,
- uzyskanie zasięgu wyłącznie na obszarze kilkuset metrów (sieć firmowa),
- obsługa co najmniej 100 użytkowników.



Rysunek 16. Projekt sprzętowy stacji bazowej 2

Schemat stacji bazowej z rysunku numer 16 jest nowatorskim rozwiązaniem opracowanym przez firmę Damm, głównego producenta sprzętu do tego rodzaju projektów. Głównym elementem odróżniającym to rozwiązanie od innych, klasycznych projektów jest miejsce instalacji urządzeń nadawczo-odbiorczych, które znajduje się na maszcie radiowym, tuż pod antenami. Rozwiązanie to pozwala na znaczne zmniejszenie tłumienia w fiderze, pozwala zaoszczędzić miejsca potrzebnego na budowę stacji bazowej oraz może przynieść duże oszczędności finansowe. W skład zaproponowanego zestawu wchodzi:

- 2 anten dookólne Kathrein VPol Omni 737 003, każda o zysku 2 dBi, instalowane z uwzględnieniem separacji przestrzennej, jedna w trybie pracy RX, druga RX/TX,<sup>[18]</sup>
- 3 pary jumperów o grubości  $\frac{3}{8}$ " dla każdej z anten. RFS Jumper 7F7MRS38-0100FFP stanowi połączenie między fiderem a anteną i stacją bazową,<sup>[22]</sup>
- fider RFS HCA118-50J do transmisji sygnałów między anteną a stacją bazową o grubości  $1\frac{1}{8}$ " i tłumieniu 1,88 dB/100m dla częstotliwości pracy 400 MHz. Fider jest elementem opcjonalnym i nie musi być instalowany, jeżeli zastosujemy odpowiednio długie jumpery i możliwie najmniejszy rozstaw między antenami a urządzeniami BS,<sup>[20]</sup>
- 2 jednokanałowe stacje bazowe Damm BS421. Stacje umożliwiają pracę w pełnym odbiorze zbiorczym na dwóch antenach na obszarach o średnim natężeniu ruchu. Mogą pracować z sygnałem o mocy wyjściowej do 10 W,<sup>[15]</sup>
- sterownik Damm SB421, dedykowany dla stacji bazowej BS421. Pozwala na zarządzanie stacjami BS421 oraz zdalny dostęp do stacji bazowej. Pracuje w sieci IP wykorzystując VoIP. Dodatkowo sterownik wyposażony jest w prostownik AC zasilający akumulatory stacji bazowej.<sup>[16]</sup>

Zaprezentowana stacja bazowa jest bardzo prostym rozwiązaniem dla budowy sieci niewielkich rozmiarów, rozbudowy dużych systemów lub budowy stacji mobilnej. Skrócenie długości fidera eliminuje straty wynikające z tłumienia oraz pozwala zredukować koszty budowy samej stacji. Dzięki temu, iż cały zestaw charakteryzuje się współczynnikiem ochronnym na poziomie IP65 możliwy jest montaż urządzeń budynków lub szaf ochronnych.

## 4. Dokumentacja końcowa

### 4.1 Specyfikacja techniczna SB TETRA

Tabela 2. Charakterystyka anteny Kathrein XPol Panel 742 242

Kathrein Xpol Panel 742 242	
Pasma pracy	380-430 MHz
Polaryzacja	+45°, -45°
Zysk	14,5 dBi
Szerokość wiązki głównej	68°
Tilt	6°
Impedancja	50 Ω
Maksymalna wypromieniowywana moc	500 W
Wymiary (W/S/G)	2000/492/190 mm
Praca przy wietrze o prędkości	200 km/h

[17]

Tabela 3. Charakterystyka fidera RFS LCF158-50JA-A0

RFS Feeder LCF158-50JA-A0	
Przekrój	1 5/8"
Impedancja	50 Ω
Tłumienie (dla 400 MHz)	1,35 dB/100m
Maksymalna częstotliwość pracy	2,75 GHz
Temperatura otoczenia podczas pracy	-50°C +85°C

[19]

Tabela 4. Charakterystyka jumpera RFS 7M7MS12-0100FFP

RFS Jumper 7M7MS12-0100FFP	
Przekrój	1/2"
Długość	1 m
Współczynnik ochronny	IP68

[21]

Tabela 5. Charakterystyka stacji bazowej Motorola MTS4

Motorola MTS4	
Pasma pracy	380-470 MHz
Moc wyjściowa	do 40 W
Zasilanie	230 V 60Hz
	48 V DC
	Zasilacz do ładowania akumulatorów
Czułość	do -120 dBm
Temperatura otoczenia podczas pracy	-30°C +60°C
Masa	148 kg
Wymiary (W/S/G)	1,43/0,55/0,67 m



<b>Zużycie energii</b>	od 760 W do 1300 W
<b>Odbiór zbiorczy</b>	podwójny lub potrójny
<b>Inne</b>	Obsługa transmisji satelitarnej
	IP Over Ethernet, MPLS, X.21
	Dwa porty Ethernet lub E1

[10]

Tabela 6. Charakterystyka gatewaya Motorola Dimetra IP

<b>Dimetra IP</b>	
<b>Masa</b>	280 kg
<b>Wymiary (W/S/G)</b>	1,33/0,6/0,98 m
<b>Usługi:</b>	IP Over Ethernet
	bramka telefoniczna
	obsługa SDS
	pakietowa transmisja danych
	uwierzytelnianie interfejsu radiowego
	szyfrowanie
	nagrywanie głosu

[12]

Tabela 7. Charakterystyka szafy zewnętrznej Motorola Outdoor Cabinet

<b>MTS4 Outdoor Cabinet</b>	
<b>Masa</b>	do 1000 kg
<b>Wymiary (W/S/G)</b>	2,02/0,83/1,27 m
<b>Zużycie energii</b>	od 120 W
<b>Współczynnik ochronny</b>	IP55
<b>Zasilanie</b>	230 V
	akumulatory
<b>Temperatura otoczenia podczas pracy</b>	-30°C +40°C
<b>Inne</b>	układ chłodzenia

[13]

Tabela 8. Charakterystyka anteny Kathrein VPol Omni 737 003

<b>Kathrein Vpol Omni 737 003</b>	
<b>Pasmo pracy</b>	370-430 MHz
<b>Polaryzacja</b>	pionowa
<b>Zysk</b>	2 dBi
<b>Szerokość wiązki głównej</b>	360°
<b>Impedancja</b>	50 Ω
<b>Maksymalna wypromieniowywana moc</b>	100 W
<b>Wymiary (W/S/G)</b>	555/54/54 mm
<b>Praca przy wietrze o prędkości</b>	200 km/h

[18]

Tabela 9. Charakterystyka fidera RFS HCA118-50J

<b>RFS Feeder HCA118-50J</b>	
<b>Przekrój</b>	1 1/8"

<b>Impedancja</b>	50 Ω
<b>Tłumienie (dla 400 MHz)</b>	1,88 dB/100m
<b>Maksymalna częstotliwość pracy</b>	3 GHz
<b>Temperatura otoczenia podczas pracy</b>	-50°C +85°C

[20]

Tabela 10. Charakterystyka jumpera RFS 7F7MRS38-0100FFP

<b>RFS Jumper 7F7MRS38-0100FFP</b>	
<b>Przekrój</b>	3/8"
<b>Długość</b>	1 m
<b>Współczynnik ochronny</b>	IP68

[22]

Tabela 11. Charakterystyka stacji bazowej Damm BS421

<b>Damm BS421</b>	
<b>Pasma pracy</b>	380-400 MHz
<b>Moc wyjściowa</b>	do 10 W
<b>Zasilanie</b>	48 V DC
<b>Czułość</b>	do -122 dBm
<b>Temperatura otoczenia podczas pracy</b>	-25°C +55°C
<b>Masa</b>	9 kg
<b>Wymiary (W/S/G)</b>	0,33/0,25/0,17 m
<b>Zużycie energii</b>	75 W
<b>Odbiór zbiorczy</b>	podwójny
<b>Inne</b>	obsługa GPS IP over Ethernet

[15]

Tabela 12. Charakterystyka kontrolera stacji bazowej Damm SB421

<b>Damm SB421</b>	
<b>Prąd wyjściowy</b>	6 A
<b>Współczynnik ochronny</b>	IP65
<b>Masa</b>	20 kg
<b>Zasilanie</b>	230 V 4 akumulatory 12 V 7 Ah
<b>Wymiary (W/S/G)</b>	375/283/215 mm
<b>Zużycie energii</b>	od 20W
<b>Temperatura otoczenia podczas pracy</b>	-20°C +55°C
<b>Podłączenie LAN/WAN</b>	Ethernet 10/100 Mbit/sek
<b>Inne</b>	połączenie z PABX, bramą SDS

[16]

## 4.2 Porównanie zaproponowanych rozwiązań

Obie stacje bazowe, pomimo zasadniczych różnic w budowie i miejscu usytuowania, charakteryzują się pewnymi minimalnymi charakterystykami końcowymi. W pierwszym przypadku mamy stację bazową Motoroli MTS 4 w komplecie z gateway'em Dimetra IP, a wszystko zamknięte we wspólnej szafie zewnętrznej Outdoor Cabinet. Stacja ta charakteryzuje się możliwością sterowania mocą sygnału wychodzącego nawet do 40 W. Jest to już kompletna stacja wraz ze sterownikiem stacji i duplekserem. Ze względu na konieczność zastosowania wysokiego masztu (niezabudowany teren otwarty), trzeba zwrócić uwagę na zastosowanie odpowiedniego fidera i jumper'a o możliwie niskiej tłumienności, tu 1,35 dB/100m. Dodatkowo w projekcie tym przewidziano użycie anten sektorowych Kathrein o zysku 14,5 dBi.<sup>[10][12][13][17][19][21]</sup>

Diametralnie inna sytuacja kreuje się dla drugiego projektu. W tym przypadku mamy do czynienia z małym obszarem pokrycia oraz dużo mniejszą liczbą użytkowników. Głównym jednak powodem różnicy jest miejsce lokalizacji samej stacji. Dla tej sytuacji istnieje możliwość instalacji BS na istniejącym już budynku. Dzięki temu tak dużej roli nie odgrywa już tu fider (RFS z tłumieniem 1,62 dB/100m). Również zysk anteny nie jest tu tak istotny i zastosowana tu dookólna antena Kathrein charakteryzuje się tym parametrem na poziomie 2 dBi. Ciekawym rozwiązaniem w tej sytuacji jest zastosowanie stacji bazowych instalowanych na maszcie, tuż pod antenami (znikome tłumienie między urządzeniami nadawczo/odbiorczymi a anteną). Jediną jednostką sterującą jest w tej sytuacji kontroler instalowany w taki sposób, aby administracja i dostęp do niego był jak najbardziej dogodny dla administratora. Zastosowana tu BS pracuje z sygnałem wyjściowym do 10 W i czułością odbiornika od -122 dBm.<sup>[15][16][18][20][22]</sup>

Tabela 13. Porównanie wybranych rozwiązań

	Stacja bazowa 1	Stacja bazowa 2
Środowisko pracy	Teren otwarty (niezabudowany)	Teren miejski (zurbanizowany)
Wielkość obsługiwanego obszaru	Duży (powyżej kilku kilkunastu kilometrów)	Niewielki (do kilkuset metrów)
Ilość użytkowników	do 1000	do 100
Miejsce i sposób instalacji BS	Niezależne stanowisko dla urządzeń N/O	Montowana na maszcie antenowym
Rodzaj zastosowanych anten	6 anten sektorowych	2 anteny dookólne
Rodzaj zastosowanego feedera	1-5/8" (1,35 dB/100m)	1-1/8" (1,88 dB/100m)
Moc nadawcza stacji bazowej	do 40 W	do 10 W
Ilość obsługiwanych nośnych	do 8 nośnych	do 2 nośnych
Pobór mocy	do 1200 W	ok. 100 W
Inne	interfejs antywłamaniowy gateway IP wbudowane akumulatory	

## 5. Wnioski końcowe

---

System TETRA okazuje się być bardzo uniwersalnym rozwiązaniem dla sprawnej łączności. Duża elastyczność i modułowość systemu sprawia, iż może on być stosowany zarówno w skali globalnej, jak i stanowić bardzo interesujące rozwiązanie dla łączności wewnętrznej w instytucji prywatnych. Łatwość budowy i prostota w tworzeniu takiego systemu sprawia, iż bardzo ochoczo jest on przyjmowany tam, gdzie wymagana jest stała łączność, szybkość działania oraz bezpieczeństwo transmitowanych danych. Niebagatelną cechą jest również odporność na wszelkiego rodzaju uszkodzenia wewnątrz sieci, dzięki czemu bardzo rzadko występuje utrata łączności.

System TETRA jest systemem cyfrowym. Dzięki temu jest on rozwijany i udoskonalany wraz z postępem cywilizacyjnym. Obecnie możemy już mówić o standardzie TETRA 2. Jest to dodatek do podstawowej wersji systemu omówionego w tej pracy, zwiększający zakres i rodzaj usług dostarczanych przez standard. Trzeba sobie jednak zdawać sprawę z faktu, iż tak naprawdę system TETRA cały czas się rozwija. Miniaturyzacja i wzrost wydajności procesorów i pamięci powoduje rozszerzanie się ofert producentów sprzętu. Powstają całe kompleksowe stacje bazowe, które wystarczy podłączyć do modułu antenowego.<sup>[29]</sup>

W dobie dzisiejszego dostępu do sprzętu o najwyższej gwarantowanej jakości nie jest trudnością zaprojektowanie systemu, który będzie spełniał wymagania minimalne operatora. Dziś dużo trudniejsze jest zaprojektowanie systemu, który spełni oczekiwania wszystkich jego użytkowników, a ich najśmielsze nawet wymagania nie będą stanowiły żadnej bariery dla prawidłowego działania sieci.

## 6. Bibliografia

---

- [1] Wesołowski K.: *Systemy radiokomunikacji ruchomej*. WKiŁ 2006.
- [2] Katulski R.J.: *Propagacja fal radiowych w telekomunikacji bezprzewodowej*. WKiŁ 2009.
- [3] Kabaciński W.: *Sieci telekomunikacyjne*. WKiŁ 2008.
- [4] SIT : *Historia Telekomunikacji*. Pod red. D. Rózański 2010
- [5] Agilent : *Bluetooth Design Guide Reference*. Agilent Technologies, Inc. 2008.
- [6] SKMM : *Trunked Radio – Going Digital*. SKMM Industry Report 2009.
- [7] Talarczyk M., Żerański M.: *Trankingowe systemy łączności służbowej*. WTiE 2008.
- [8] Jóskiewicz Z.: *Tetra – system łączności radiowej dla transportu publicznego*. ITTiA PW 2005
- [9] Bylica P.: *Propozycja organizacji łączności trankingowej w standardzie Tetra w Państwowej Straży Pożarnej na poziomie powiatu*. SGSP KTP 2010
- [10] Motorola: *Specyfikacja techniczna stacji bazowej MTS4*.
- [11] Motorola: *Specyfikacja techniczna stacji bazowej MTS2*.
- [12] Motorola: *Specyfikacja techniczna Dimetra IP*.
- [13] Motorola: *Specyfikacja techniczna Outdoor Cabinet*.
- [14] Motorola: *Specyfikacja techniczna stanowiska dyspozytorskiego MCC 7500*.
- [15] Damm: *Specyfikacja techniczna stacji bazowej BS421*.
- [16] Damm: *Specyfikacja techniczna kontrolera stacji bazowej SB421*.
- [17] Kathrein: *Specyfikacja techniczna anteny kierunkowej XPol Panel 742 242*.
- [18] Kathrein: *Specyfikacja techniczna anteny dookólnej VPol Omni 737 003*.
- [19] RFS: *Specyfikacja techniczna fidera LCF158-50JA-A0*.

- [20] RFS: *Specyfikacja techniczna fidera HCA118-50J*.
- [21] RFS: *Specyfikacja techniczna jumpera 7M7MS12-0100FFP*.
- [22] RFS: *Specyfikacja techniczna jumpera 7F7MRS38-0100FFP*.
- [23] Kathrein: *Specyfikacja techniczna dupleksera 782 10361*.
- [24] Kathrein: *Specyfikacja techniczna kombinera 782 10460*.
- [25] Motorola: *Specyfikacja techniczna stacji bazowej MTS1*.
- [26] ETSI Technical Report: *TR 102 300-3*. ETSI Documentation 2010.
- [27] ETSI Technical Report: *TR 102 300-5*. ETSI Documentation 2010.
- [28] ETSI Technical Report: *TR 102 580*. ETSI Documentation 2007.
- [29] ETSI European Standard: *EN 300 392-1*. ETSI Documentation 2009.
- [30] ETSI European Standard: *EN 300 396-3*. ETSI Documentation 2006.
- [31] Słownik PWN. Edycja 2003: *Słownik języka polskiego*. PWN Warszawa 2002.

## 7. Wykaz skrótów

---

AC – Alternating Current

AI – Air Interface

BS – Base Station

DC – Direct Current

DMO – Direct Mode Operation

DQPSK – Differential Quaternary Phase Shift Keying

EDACS – Enhanced Digital Access Communication System

ENMS – External Network Management Station

ETSI – European Telecommunications Standards Institute

FDMA – Frequency Division Multiple Access

GMSK – Gaussian Minimum Shift Keying

GPS – Global Positioning System

GSM – Global System for Mobile communications

GUI – Graphical User Interface

ISDN – Integrated Services Digital Network

ISI – Inter System Interface

LAN – Local Area Network

LS – Line Station

mBS – Mobile Base Station

NMS – Network Management Station

PEI – Peripheral Equipment Interface



PSK – Phase Shift keying

PSTN – Public Switched Telephone Network

RLS – Remote Line Station

RX – Receive

SCN – Switching Control Node

SDS – Short Data Services

SMS – Short Message Service

TDMA – Time Division Multiple Access

TETRA – Terrestrial Trunked Radio

TX – Transmit

WAN – Wide Area Network

## 8. Spis rysunków i tabel

---

Rysunek 1. Schemat funkcjonowania sieci trunkingowej.....	10
Rysunek 2. Model architektury systemu TETRA.....	12
Rysunek 3. Diagram konstelacji dla sygnału po modulacji $\pi/4$ DQPSK.....	18
Rysunek 4. Struktura czasowa systemu TETRA.....	19
Rysunek 5. Schemat blokowy stacji bazowej.....	23
Rysunek 6. Anteny Kathrein .....	24
Rysunek 7. Duplexer Kathrein.....	24
Rysunek 8. Combiner Kathrein .....	24
Rysunek 9. MTS4 .....	25
Rysunek 10. Dimetra IP .....	25
Rysunek 11. MTS2 .....	25
Rysunek 12. Outdoor cabinet .....	26
Rysunek 13. MTS 1 .....	26
Rysunek 14. Damm BS421 .....	26
Rysunek 15. Projekt sprzętowy stacji bazowej 1 .....	28
Rysunek 16. Projekt sprzętowy stacji bazowej 2 .....	30
Tabela 1. Zalecane pasma pracy systemu TETRA .....	17
Tabela 2. Charakterystyka anteny Kathrein XPol Panel 742 242 .....	32
Tabela 3. Charakterystyka fidera RFS LCF158-50JA-A0 .....	32
Tabela 4. Charakterystyka jumpera RFS 7M7MS12-0100FFP.....	32
Tabela 5. Charakterystyka stacji bazowej Motorola MTS4.....	32
Tabela 6. Charakterystyka gatewaya Motorola Dimetra IP .....	33
Tabela 7. Charakterystyka szafy zewnętrznej Motorola Outdoor Cabinet .....	33
Tabela 8. Charakterystyka anteny Kathrein VPol Omni 737 003 .....	33
Tabela 9. Charakterystyka fidera RFS HCA118-50J.....	33
Tabela 10. Charakterystyka jumpera RFS 7F7MRS38-0100FFP .....	34
Tabela 11. Charakterystyka stacji bazowej Damm BS421 .....	34
Tabela 12. Charakterystyka kontrolera stacji bazowej Damm SB421 .....	34
Tabela 13. Porównanie wybranych rozwiązań .....	36

