

**Tomasz Miłoślawski**  
Wydział Informatyki i Zarządzania  
Wyższej Szkoły Informatyki w Łodzi

**Promotor: dr hab. inż. Ryszard Wojtyna, prof. WSIInf**

## **PROJEKTOWANIE RADIOKOMUNIKACYJNYCH SIECI PRZYWOŁAWCZYCH DEDYKOWANYCH DLA POTRZEB SŁUŻBY ZDROWIA**

Streszczenie – Pomimo szybkiego rozwoju wielu technologii łączności, opracowana na początku minionego wieku koncepcja radiokomunikacji przywoławczej znalazła zastosowanie w wielu dziedzinach życia. W artykule zaprezentowano projekt taniego i niezawodnego radiowego systemu łączności przywoławczej, dedykowanego dla Szpitala Specjalistycznego w Kościerzynie, wraz z budową prototypów urządzeń oraz ich testowaniem w środowisku roboczym.

### **1. Wprowadzenie**

Służba zdrowia jest jedną z tych dziedzin, w których do dnia dzisiejszego w wielu szpitalach i ośrodkach zdrowia wykorzystuje się radiokomunikacyjną łączność przywoławczą. Radiokomunikacyjne sieci przywoławcze jedni uważają za przeżytek, a inni za istotne narzędzie pracy, bez którego niemożliwe jest sprawne przesyłanie informacji. Pomimo szybkiego rozwoju wielu technologii łączności, opracowana na początku minionego wieku koncepcja radiokomunikacji przywoławczej znalazła zastosowanie w wielu dziedzinach życia, wszędzie tam, gdzie środowisko pracy nie toleruje generowanych w bliskim otoczeniu pól elektromagnetycznych, lub gdzie ma zastosowanie jednokierunkowe przesyłanie informacji do jednego odbiorcy lub grupy osób. Historia łączności przywoławczej sięga roku 1920, lecz dopiero w 1959 roku rozwój technologii umożliwił opracowanie pierwszego przenośnego urządzenia odbiorczego. Należy jednak podkreślić, iż pomimo wielu cech, jakimi charakteryzują się sieci przywoławcze, zostały one wyparte z

powszechnego użytku przez telefonię komórkową i nie są tak powszechnie stosowane jak w latach 70 i 80 XX wieku (przede wszystkim w USA i Wielkiej Brytanii), co znacznie wpłynęło na wzrost cen urządzeń, jak i na zwiększenie kosztów eksploatacyjnych.

Celem niniejszej pracy jest zaprojektowanie taniego i niezawodnego radiowego systemu łączności przywoławczej, dedykowanego dla Szpitala Specjalistycznego w Kościerzynie, wraz z budową prototypów urządzeń oraz ich testowaniem w środowisku roboczym.

Prezentowana, skrócona wersja praca składa się z pięciu rozdziałów. W porównaniu to tekstu wydanej pracy dyplomowej, w której też jest pięć rozdziałów, nazwy niektórych rozdziałów zostały zmienione, a ich zawartość skrócona. Pierwszy rozdział prezentowanego streszczenia ma charakter ogólnego wprowadzenia. Zarys rozwoju radiokomunikacyjnych sieci przywoławczych, stosowanych protokołów telekomunikacyjnych oraz metod transmisji danych ujęto w rozdziale drugim. W rozdziale trzecim dokonano analizy obecnego stanu radiokomunikacyjnej sieci przywoławczej Szpitala Specjalistycznego w Kościerzynie oraz zaproponowano zmiany i ulepszenia. Rozdział czwarty przedstawia praktyczne rozwiązanie, które autor pracy zamierza zaproponować, po wykonaniu dodatkowych testów, do wdrożenia w Szpitalu Specjalistycznym w Kościerzynie. Rozdział ten jest uwieńczeniem wiedzy teoretycznej autora i jego doświadczenia zawodowego, zdobytego w Szpitalu Specjalistycznym w Kościerzynie, w którym autor pracuje i zajmuje się utrzymaniem ruchu maszyn oraz sieci technologicznych. Rozdział piąty zamyka pracę i przedstawia wnioski końcowe.

## **2 Rozwój technologii przywoławczej**

Historia łączności przywoławczej sięga roku 1920, lecz dopiero w 1959 roku rozwój technologii umożliwił opracowanie pierwszego przenośnego urządzenia odbiorczego, które zostało zaprojektowane w firmie MOTOROLA. Od początku istnienia tych urządzeń nie były one dostępne szerokiemu gronu odbiorców. Pierwsza sieć przywoławcza została eksperymentalnie uruchomiona w JEWISH HOSPITAL w Nowym Jorku. Do końca lat 70-tych XX wieku urządzenia odbiorcze sieci przywoławczych generowały jedynie dźwięk informujący o nadejściu informacji, stąd też często były nazywane „beeperami” (*ang.* „Beep” - *sygnał dźwiękowy, wysoki i krótki*). Sygnał dźwiękowy z „pagera” informował użytkownika o konieczności kontaktu z biurem lub centrum informacji w zależności od przyjętych zasad łączności w miejscu pracy.



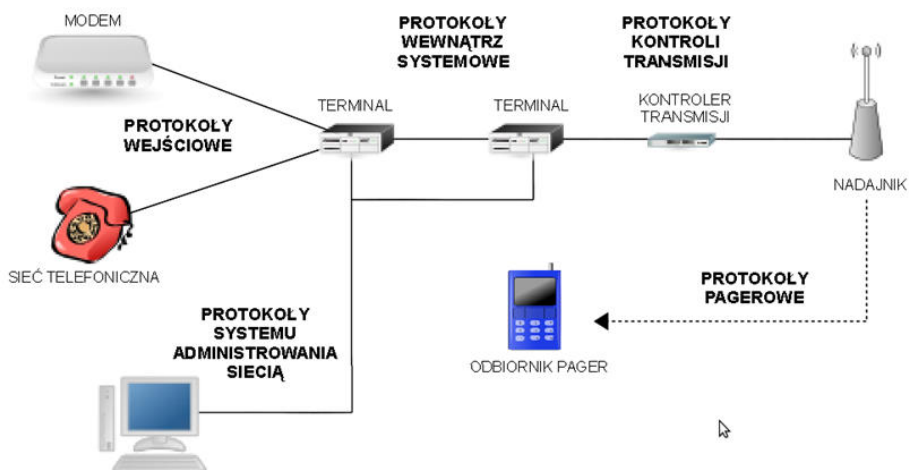
Rys. 1. Odbiornik firmy MOTOROLA produkowany pod koniec lat 70-tych XX wieku [1].

Na początku lat 80-tych minionego stulecia rozwinięto odbiorniki radiowe przystosowując je do pracy z cyframi i znakami, rozwijając jednocześnie protokoły telekomunikacyjne umożliwiające transmisję większej ilości danych. Pierwsze wersje tych „pagerów” były ograniczone jedynie do wyświetlania informacji numerycznych i dopiero w późniejszych wersjach pojawiła się możliwość wyświetlania danych alfanumerycznych.

Konieczność przeprowadzania cyfrowej transmisji danych w sieciach przywoławczych wymusiła zastosowanie modulacji umożliwiających transmisję danych oraz, po wprowadzeniu do produkcji „pagerów” mogących obsługiwać informacje głosowe, zaczęto stosować dwa rodzaje modulacji w jednym urządzeniu. Wywołanie „pagera” odbywało się za pośrednictwem transmisji cyfrowej, zaś informacja głosowa była przesyłana z wykorzystaniem transmisji analogowej. W radiowych sieciach przywoławczych komunikacja z reguły jest realizowana jednokierunkowo, chociaż w roku 1996 w firmie MOTOROLA opracowano system łączności dwukierunkowej opartej na protokole Re-

FLEX oraz rozpoczęto produkcję „pagera” PAGEWRITER. Od początku swojego istnienia radiowe sieci przywoławcze znalazły wiele zastosowań, między innymi w służbie zdrowia, gdzie możliwość szybkiego kontaktu z lekarzem przy jego charakterze pracy okazała się bardzo pożądana. Istotny jest tu fakt, iż „pagery”, ze względu na swój charakter pracy (tylko odbiór informacji bez wysyłania żadnej wiadomości) nie wytwarzają pól elektromagnetycznych mogących negatywnie oddziaływać na funkcjonowanie niektórych urządzeń medycznych.

Radiowe sieci przywoławcze korzystają z szerokiej gamy protokołów telekomunikacyjnych zapewniających przepływ informacji pomiędzy urządzeniami pracującymi w sieci.



Rys. 2. Typy protokołów stosowanych w radiokomunikacyjnych sieciach przywoławczych.

Każdy z protokołów posiada specyficzne przeznaczenie w zależności od formatu danych, typu danych oraz sposobu przepływu informacji pomiędzy urządzeniami sieci przywoławczej. Poza przemysłowymi standardami protokołów istnieją również rozwiązania niszowe projektowane pod kątem specyficznych wymagań sprzętu lub klienta zamawiającego radiokomunikacyjną sieć przywoławczą dla wewnętrznego użytku w przedsiębiorstwie. Można wyróżnić kilka grup protokołów w zależności od pełnionych funkcji. Są to:

- protokoły wejściowe,
- protokoły wewnątrzsystemowe,
- protokoły kontroli transmisji,
- protokoły „pagerowe”,
- protokoły systemu administrowania siecią.

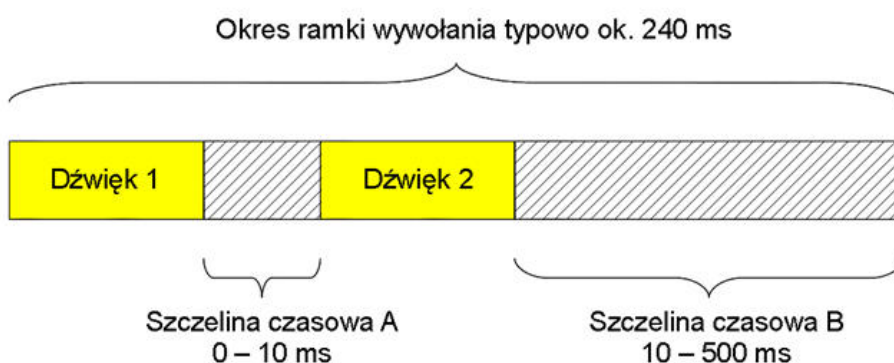
Typy protokołów wykorzystywanych w sieciach przywoławczych przedstawiono na rysunku 2. W zależności od potrzeb nabywcy systemu przywoławczego, producent może różnie dobrać urządzenia oraz przyjąć różne sposoby komunikacji między nimi, niekoniecznie stosując rozwiązania standardowe.

Protokoły wejściowe definiują sposoby komunikowania się z siecią przywoławczą i dzielą się na dwie grupy. Jedną grupę tworzą protokoły miejskie (*ang. trunk protocols*), drugą protokoły cyfrowej transmisji danych (*ang. data input protocols*), a trzecią protokoły alfanumeryczne TAP (*ang. Telelocator Alphanumeric Protocol*) [3]. Protokoły miejskie są stosowane przy nawiązywaniu połączeń z sieciami przywoławczymi za pomocą sieci telefonicznych. Urządzeniem dostępowym jest telefon, z którego wybiera się numer dostępu do sieci oraz numer „pagera”, który ma zostać wywołany. Protokoły alfanumeryczne umożliwiają nadawanie komunikatów tekstowych. Są one wykorzystywane w sieciach telefonicznych analogowych oraz cyfrowych i działają w sposób umożliwiający wpisanie tekstu za pomocą numerycznej klawiatury telefonu i jego właściwe zinterpretowanie.

We wczesnych latach rozwoju systemów przywoławczych nadawca mógł wysłać informację, która poprzez terminal trafiała do sieci radiowej. Nadajnik sterowany terminalem mógł zapewnić zasięg w promieniu jedynie do kilkunastu kilometrów w zależności od budowy układu antenowego, jego umiejscowienia oraz mocy nadawania. Dla zwiększenia zasięgu radiokomunikacyjnych sieci przywoławczych opracowano protokoły umożliwiające sprzężenie terminali ze sobą w celu stworzenia regionalnych, państwowych i międzynarodowych sieci radiokomunikacji przywoławczej [3]. Z biegiem lat wielu producentów opracowało własne, zastrzeżone protokoły, umożliwiające łączność pomiędzy terminalami „pagerowymi”. Firma MOTOROLA opracowała własny mechanizm łączności zwany CP/IOP, firma BBL INDUSTRIES wprowadziła protokół DLM (*ang. Data Link Module*), a firma SPECTRUM COMMUNICATIONS & ELECTRONICS opracowała protokół DLH (*ang. Data Link Handler*). Wszystkie te protokoły, choć różnią się architekturą i nie są ze sobą kompatybilne, dopuszczają stworzenie spójnej sieci przywoławczej. Każda z tych sieci pozwala na przekazywanie informacji do dowolnego węzła końcowego. Informacja dotycząca klienta danego operatora, żądającego dostępu do sieci, może być przesłana do węzłów sieci różnych operatorów, stwarzając możliwość przesłania wiadomości. Niezależnie od zastosowanego protokołu, podstawowa informacja z terminala „pagerowego” musi zostać wysłana w eter. Niejednokrotnie w mniejszych sieciach oraz sieciach prywatnych zachodzi sytuacja współdzielenia pasma radiowego z innymi sieciami. W takim przypadku stosuje się technikę wielodostępu z podziałem czasowym (*ang. Time Division Multiple Ac-*

cess), umożliwiającego wielu operatorom na korzystanie z tego samego, częstotliwościowego kanału radiowego.

Jeden z pierwszych protokołów „pagerowych”, dedykowany dla beeperów, wykorzystuje technikę dwóch dźwięków (*ang. Two Tone*). Technika ta polega na wysyłaniu dwóch następujących po sobie sygnałów dźwiękowych o różnych częstotliwościach, oddzielonych od siebie szczelinami czasowymi o różnej szerokości. Liczba dźwięków wykorzystywanych w wywołaniu określa maksymalną, możliwą do zaadresowania, liczbę odbiorników „pagerowych”. Dla przykładu, w systemie łączności przywoławczej operującym 30 różnymi dźwiękami wywoławczymi można zaadresować 870 „pagerów” ( $30 \times 29$ ) [4].



Rys. 3. Diagram czasowy wywołania typu Two Tone.

Dźwięki stosowane w wywołaniu mieszczą się w paśmie od 500 Hz do 4 kHz. Rysunek 3 przedstawia diagram czasowy wywołania techniką dwóch tonów. Dla poprawnego działania takiego wywołania, pomiędzy dźwiękiem 1, a dźwiękiem 2 znajduje się szczelina czasowa A. W celu separacji kolejnych ramek, między wywołaniami znajduje się szczelina czasowa B, która zwykle jest szersza (dłuższy odstęp czasu) od szczeliny A. Według dzisiejszych standardów ten format transmisji jest przestarzały ze względu na zbyt małą prędkość transmisji danych. Kolejnym protokołem, który został opracowany dla radiokomunikacyjnych sieci „beeperów” jest tzw. format dźwiękowy FIVE-SIX. Protokół ten wykorzystuje 11 różnych częstotliwości.

Protokołem otwartym i najbardziej rozpowszechnionym w radiokomunikacji przywoławczej jest protokół POCSAG. Został on opracowany w roku 1978 przez międzynarodową grupę inżynierów w celu ujednoczenia systemów radiokomunikacji przywoławczej [5]. Pracom nad tym protokołem przewodniczył brytyjski Urząd Pocztowy i dlatego akronim protokołu przyjęto od nazwy grupy: POST OFFICE CODE STANDARISATION ADVISORY GROUP.

Istnieje wiele innych metod kodowania informacji w radiokomunikacyjnych sieciach przywoławczych. Do mniej znanych protokołów należą:

- GOLAY,
- NEC-D3,
- MARK IV/VI,
- MBS,
- APOC (*ang. Advanced Paging Operation Code*),
- HSC (*ang. Hexadecimal Sequential Code*),
- ERMES (*ang. European Radio Messge Standard*),
- NexNet.

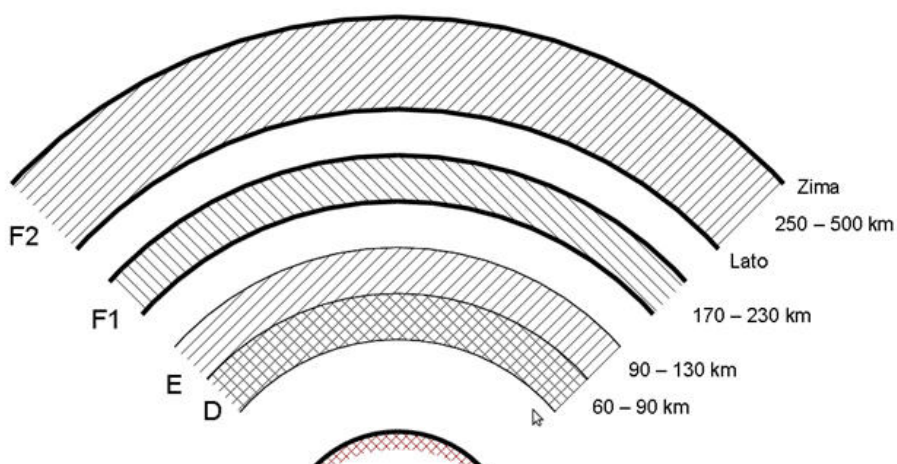
Niejednokrotnie radiowe sieci przywoławcze wraz z urządzeniami i protokołami transmisji są projektowane na specjalne zamówienie klienta. Ma to duże znaczenie w przedsiębiorstwach o charakterze strategicznym, gdzie zachodzi konieczność utajnienia przekazu informacyjnego oraz w sytuacjach, gdy sieć musi być odporna na ataki z zewnątrz.

Przekaz informacji może być realizowany na wiele sposobów, w zależności od zastosowanego sposobu transmisji. Do przesyłania informacji można wykorzystać fale akustyczne, fale świetlne, prąd elektryczny lub fale elektromagnetyczne o częstotliwościach radiowych (tzw. fale radiowe). W radiokomunikacyjnych sieciach przywoławczych do realizacji transmisji danych pomiędzy stacją bazową, a odbiornikiem wykorzystuje się zmodulowane fale radiowe. Modulacja jest istotnym elementem w radiokomunikacji i służy do nanoszenia informacji na falę nośną. Fala elektromagnetyczna jest to układ zależnych od siebie pól elektrycznego i magnetycznego, wypromieniowywanych przez antenę nadawczą. W przypadku anten wielokierunkowych o charakterystyce dookólnej promieniowanie takie można traktować, jako wysyłanie koncentrycznych kul o narastającym promieniu, powstałych z pola elektrycznego, oddalających się od źródła ze stałą prędkością. W momencie, kiedy linie sił pola elektrycznego są prostopadłe do powierzchni ziemi mówimy, że fala ma polaryzację pionową, a przy równoległym względem ziemi działaniu sił tego pola mówimy o polaryzacji poziomej. Polaryzacja fal docierających do anteny odbiorczej może ulec zmianie, szczególnie, gdy fala będzie ulegać odbiciom. Można wyróżnić kilka podstawowych rodzajów propagacji fal radiowych:

- propagacja bezpośrednia,
- propagacja troposferyczna,
- propagacja jonosferyczna,
- propagacja przez odbicie od zorzy polarnej,
- propagacja przez odbicie od roju meteorów,
- propagacja na rozproszeniu jonosferycznym,

- propagacja przez odbicie od księżyca,
- propagacja przez satelitę,
- propagacja przez przemiennik naziemny.

Zasadniczy wpływ na rozchodzenie się fal radiowych ma budowa atmosfery oraz zachodzące w niej zjawiska. W dużym uproszczeniu w atmosferze można wyróżnić dwie istotne dla radiokomunikacji warstwy: troposferę i jonosferę, które są między sobą przedzielone stratosferą. Troposfera rozciąga się od powierzchni ziemi na wysokość do ok. 10 km (nad biegunami do 18 km). Zjawiska meteorologiczne mają silny wpływ na rozchodzenie się fal w troposferze. Fale radiowe mogą być tłumione i rozpraszane w zależności od ich częstotliwości.



Rys. 4. Warstwy jonosfery [7].

W radiokomunikacji przywoławczej dominujące znaczenia ma propagacja bezpośrednia. Nadajnik i odbiornik znajdują się na ziemi, stąd też główną rolę w łączności radiowej pełnią fale rozchodzące się przy powierzchni ziemi. Fala radiowa jest wtedy częściowo pochłaniana przez grunt, a częściowo odbijana od przeszkód terenowych. W budynkach jest ona tłumiona przez elementy konstrukcyjne, ściany, stropy itp. Przy wysyłaniu fali elektromagnetycznej jej energia maleje w miarę oddalania się od nadajnika. W przypadku anten dookólnych można w przybliżeniu przyjąć, iż moc pola elektromagnetycznego maleje z kwadratem odległości od nadajnika. Często przy propagacji przyziemnej zachodzi zjawisko odbicia fali i do odbiornika mogą dotrzeć fala bezpośrednia oraz odbita, wywołując zjawisko interferencji, którego skutkiem są zmiany poziomu odbieranego sygnału. Tendencja jonosfery do odbijania fal radiowych może stanowić silne źródło zakłóceń w przypadku realizacji



łącności za pośrednictwem propagacji bezpośredniej. Projektując systemy radiokomunikacyjne należy właściwie dobrać częstotliwość roboczą urządzeń tak, aby zmieniające się warunki propagacyjne nie miały zbyt dużego wpływu na jakość transmisji radiowej.

Wszystkie radiokomunikacyjne urządzenia nadawcze oraz odbiorcze wykorzystują zjawisko modulacji oraz demodulacji. Modulacja jest procesem, w którym nakłada się sygnał zawierający informację na falę nośną. Demodulacja jest procesem odwrotnym do modulacji i polega na odzyskiwaniu sygnału modulującego ze zmodulowanej fali nośnej. W radiokomunikacji przywoławczej wykorzystuje się następujące rodzaje modulacji:

- ◆ modulacja amplitudy (AM),
- ◆ modulacja częstotliwości (FM),
- ◆ modulacja z kluczkowaniem amplitudy (ASK),
- ◆ modulacja z kluczkowaniem częstotliwości (FSK).

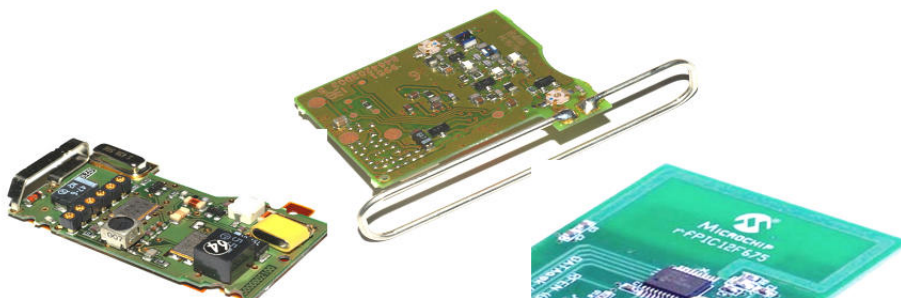
W systemach przywoławczych obsługujących transmisję danych cyfrowych oraz transmisję głosu, stosuje się modulację mieszaną. Polega ona na przesyłaniu preambuły oraz ramek z danymi cyfrowymi z wykorzystaniem modulacji ASK lub FSK oraz, jeżeli zachodzi konieczność, przełączeniu nadajnika oraz odbiornika w tryb pracy z modulacją AM / FM w celu transmisji głosu. Mieszanie typów modulacji występuje również w złożonych systemach radiokomunikacyjnych, gdzie istnieje możliwość realizacji łączności przywoławczej z wykorzystaniem, jako odbiorników radiostacji przenośnych.

Aby wypromieniować odpowiednio zmodulowaną falę radiową lub ją odebrać potrzebna jest antena. Fale elektromagnetyczne rozchodząc się w eterze posiadają zdolność indukowania prądów, szczególnie w elementach metalowych. Każda antena charakteryzuje się impedancją wejściową, polaryzacją, współczynnikiem kierunkowości, zyskiem energetycznym i zakresem częstotliwości. System antenowy najczęściej składa się z:

- promiennika,
- linii zasilającej,
- układu dopasowania impedancji.

W radiokomunikacyjnych sieciach przywoławczych, po stronie nadawczej najczęściej są stosowane ćwierćfalowe anteny pionowe o charakterystyce dookólnej, zaś w odbiornikach „pagerowych” stosuje się prętowe anteny pętłowe lub anteny pętłowe wytrawiane na laminacie. W konstrukcjach układów antenowych urządzeń przenośnych niemożliwe jest uzyskanie skutecznego uziemienia anteny. Ze względu na bliskość ciała ludzkiego anteny dipolowe oraz monopolowe zostały zdominowane przez anteny pętłowe [9]. Wymiary, wytrzymałość oraz niskie koszty produkcji uczyniły anteny pętłowe bardzo popularnymi w urządzeniach przenośnych, między innymi w odbiornikach „pagerowych” oraz

telefonach komórkowych. W odbiornikach „pagerowych” spotyka się różne konstrukcje anten. Kilka z nich przedstawiono na rysunku 5



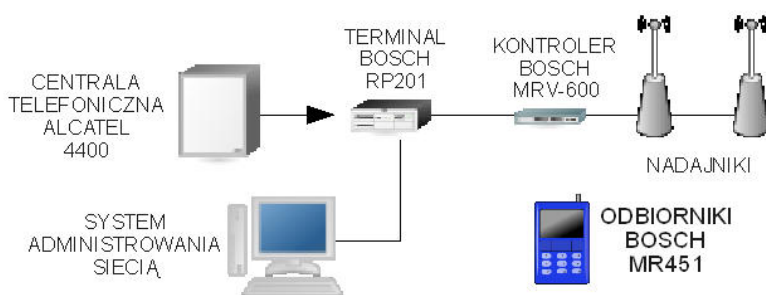
Rys. 5. Przykłady zastosowania anten pętlowych.

### 3 Analiza stanu obecnego

Zagadnienia poruszane w poprzednim rozdziale dotyczyły zasad działania i budowy sieci przywoławczych. Przed przystąpieniem do projektowania systemu należy ustalić, czego oczekuje przyszły użytkownik sieci, jeśli chodzi o tzw. funkcjonalność systemu przywoławczego oraz, w jakim środowisku roboczym ma być zrealizowana łączność przywoławcza. Niniejszy rozdział naświetla uwarunkowania, potrzeby oraz stan obecny systemu radiokomunikacji przywoławczej w Szpitalu Specjalistycznym w Kościerzynie.

Szpital Specjalistyczny w Kościerzynie oddano do użytku w 1998 roku. Jest on położony w północno-zachodniej części miasta, z dala od dróg o dużym natężeniu ruchu. Szpital posiada kubaturę 180.000 m<sup>3</sup> (w tym zaplecze 38.000 m<sup>3</sup>) i powierzchnię użytkową 39.000 m<sup>2</sup> (w tym zaplecze 7.000m<sup>2</sup>). Układ funkcjonalny szpitala zapewnia całkowitą izolację oddziałów łóżkowych oraz lokalizację oddziałów diagnostycznych i zabiegowych na jednej kondygnacji z podjazdem karetek przy jednoczesnej izolacji przestrzennej działów gospodarczych i technicznych. Szpital Specjalistyczny w Kościerzynie jest przystosowany do przyjmowania osób niepełnosprawnych. Dostęp do każdego punktu w szpitalu dla osób poruszających się na wózkach umożliwiają podjazdy przy drzwiach zewnętrznych oraz zespół wind towarowo-osobowych.

W chwili obecnej Szpital Specjalistyczny w Kościerzynie posiada własny system radiokomunikacji przywoławczej oparty na urządzeniach firmy BOSCH/FUNKTEL. Ogólną topologię sieci przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. Topologia sieci przywoławczej Szpitala Specjalistycznego w Kościerzynie.

Obecnie w sieci jest eksploatowanych 80 odbiorników „pagerowych” BOSCH MR451. Logiczna struktura sieci oparta jest na trzech grupach adresacji: personalnej, lokalnej i globalnej. Do grupy globalnej przypisano wszystkie odbiorniki „pagerowe”, dzięki czemu istnieje możliwość przesłania informacji do wszystkich za pośrednictwem jednego numeru wywoławczego. Za pomocą adresów lokalnych można wysłać informację do „pagerów” działających w obszarze danego oddziału szpitala. Przestrzeń adresacji personalnej obejmuje indywidualnych użytkowników sieci. Podział na grupy adresacji jest podyktowany przyjętymi procedurami postępowania w przypadku ewakuacji poszczególnych oddziałów szpitala w razie wystąpienia alarmu pożarowego lub alarmu związanego z podłożeniem materiałów wybuchowych lub zagrożenia mikrobiologicznego. W wywiadzie ustnym oraz za pomocą nasłuchu radiowego autor niniejszej pracy ustalił, iż personel medyczny nie korzysta z możliwości nadawania informacji tekstowych. Z punktu widzenia czynności służbowych lekarza lub pielęgniarki obsługa odbiornika „pager” ogranicza się do jego posiadania. Dodatkowe czynności wykonywane przy urządzeniu radiokomunikacyjnym mogłyby być przyczyną dekoncentracji personelu i tym samym stwarzać zagrożenie dla zdrowia i życia pacjentów. W przypadku udzielania pierwszej pomocy, przeprowadzania zabiegu lub wykonywaniu czynności konserwatorskich w środowisku niebezpiecznym mikrobiologicznie wskazane jest, aby informacja była odbierana w postaci głosowej. Minimalizuje to konieczność fizycznej obsługi urządzeń „pagerowych”, co zmniejsza prawdopodobieństwo ich skażenia. Odbiorniki „pagerowe” są noszone przy pasku lub na piersi, w kieszonce fartucha i zazwyczaj mocowane za pomocą klamry.

Obecnie stosowane urządzenia radiokomunikacyjne sieci przywoławczej w Szpitalu Specjalistycznym w Kościerzynie są eksploatowane przez ponad 10 lat i wykazują cechy znacznego zużycia mechanicznego oraz ulegają częstym awariom. Usterki występują średnio od 1 do 3 urządzeń na tydzień, przy czym w większości są to awarie mechaniczne

odbiorników. Ze względu na unikatową konstrukcję tych urządzeń, serwisowanie ogranicza się do wymiany modułów sprowadzanych na zamówienie od producenta. Brak jest jakiegokolwiek dokumentacji technicznej urządzeń. Producent nie udostępnia schematów ani dokumentacji serwisowej. W konstrukcji urządzeń sieci przywoławczej zastosowano podzespoły nie standardowe. Stosowane procesory, przetwornice napięcia, rezonatory kwarcowe i filtry ceramiczne są nietypowe i nie ma do nich zamienników. Konstrukcja odbiornika radiowego jest bardzo podatna na awarie mechaniczne. Do budowy urządzenia zastosowano nietypowy, delikatny laminat, który ulega szybkiemu zmęczeniu materiału i pęka wraz z miedzianymi ścieżkami. Koszt zakupu nowych urządzeń jest wysoki, przy czym wymiana odbiorników radiowych nie jest rozważana ze względu na brak obsługi komunikacji głosowej w obecnie produkowanych modelach „pagerów”.

#### 4 Od pomysłu do realizacji

W projekcie Systemu Radiokomunikacji Przywoławczej zakłada się budowę sieci przywoławczej w oparciu o trzy typy urządzeń technicznych. Są to:

- ♦ terminale dostępne,
- ♦ nadajniki,
- ♦ odbiorniki.

W projekcie wydzielono następujące podsystemy:

- ♦ RSP - Radiokomunikacyjna Sieć Przywoławcza,
- ♦ SDRSP – System Dostępowy Radiokomunikacyjnej Sieci Przywoławczej,
- ♦ SNRSP – System Nadajników Radiokomunikacyjnej Sieci Przywoławczej,
- ♦ SORSP – System Odbiorników Radiokomunikacyjnej Sieci Przywoławczej,
- ♦ URSP – Urządzenia Radiokomunikacyjnej Sieci Przywoławczej.

Struktura funkcjonalna radiokomunikacyjnej sieci przywoławczej wynika bezpośrednio z wymagań funkcjonalnych wyodrębnionych w specyfikacji wymagań oraz zebranych w procesie analizy potrzeb pracowników Szpitala Specjalistycznego w Kościerzynie. W proponowanym rozwiązaniu technologicznym sieci przywoławczej można wyodrębnić następujące podsystemy:

- ♦ System Dostępowy Radiokomunikacyjnej Sieci Przywoławczej,
- ♦ System Nadajników Radiokomunikacyjnej Sieci Przywoławczej,
- ♦ System Odbiorników Radiokomunikacyjnej Sieci Przywoławczej.

**System Dostępowy Radiokomunikacyjnej Sieci Przywoławczej** stanowić będzie realizację interakcji użytkownika z urządzeniami sieci przywoławczej. Urządzeniami wchodzącymi w skład systemu mają być

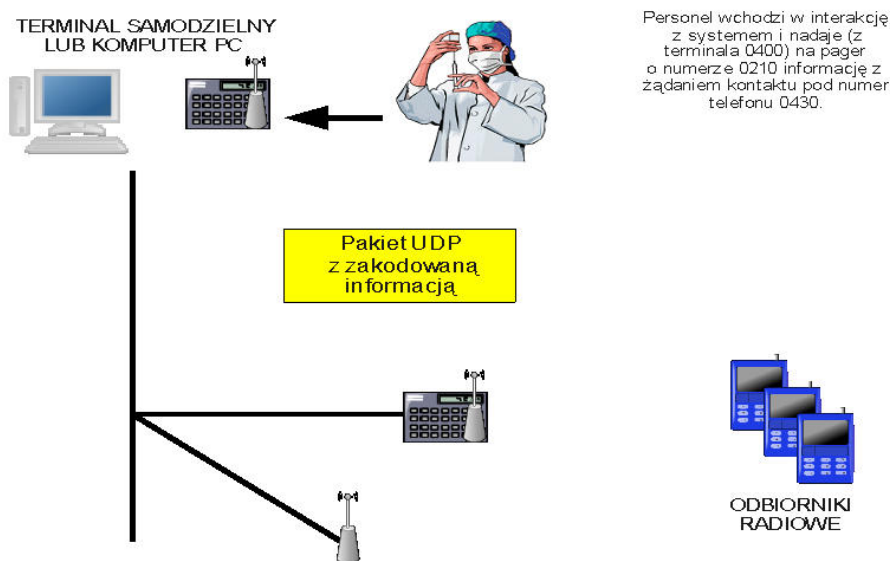
samodzielne terminale dostępne oraz terminale oparte na komputerach PC, usytuowane w miejscach łatwo dostępnych dla personelu szpitala. Komunikacja pomiędzy siecią terminali, a nadajnikami będzie realizowana z wykorzystaniem istniejącej sieci LAN. System nie będzie sprzężony z siecią telefoniczną.

**System Nadajników Radiokomunikacyjnej Sieci Przywoławczej** będzie realizował funkcje łącznika pomiędzy Systemem Dostępowym Radiokomunikacyjnej Sieci Przywoławczej, a Systemem Odbiorników Radiokomunikacyjnej Sieci Przywoławczej. Nadajniki mają funkcjonować jako samodzielne urządzenia oraz jako moduły wbudowane w terminale dostępne.

**System Odbiorników Radiokomunikacyjnej Sieci Przywoławczej** będzie stanowił grupę urządzeń odpowiedzialnych za odbiór informacji i przekazywanie wiadomości do korespondentów w postaci głosowej. Urządzenia odbiorcze będą posiadały możliwość (funkcjonalność) programowania poprzez sieć radiową adresu sieciowego dzięki indywidualnej identyfikacji urządzenia z wykorzystaniem adresu unikatowego.

Komunikacja pomiędzy terminalami dostępowymi, a nadajnikami ma być zrealizowana w oparciu o istniejącą sieć. Do realizacji funkcji terminali dostępowych wykorzystane będą również komputery działające w sieci lokalnej. Model działania RSP (rys. 7) zakłada propagację informacji z punktu dostępowego do sieci nadajników, które w momencie odebrania informacji z sieci LAN wypromieniują ją w eter. Po odebraniu informacji przez upoważniony do tego terminal następuje przekształcenie informacji z postaci cyfrowej na analogową (głosową) i jej odtworzenie w postaci akustycznej. Terminal dostępowy został zaprojektowany w oparciu o rodzinę 8 bitowych mikrokontrolerów programowalnych firmy MICROCHIP PIC18F46J11 oraz samodzielny kontroler sieci ETHERNET ENC28J60 z interfejsem SPI [12]. Kontroler sieci jest kompatybilny ze standardem IEEE 802.3, posiada wbudowany MAC (*ang. Media Access Control*) oraz bufor odbiorczy/nadawczy o pojemności 8 kilobajtów. Kontroler komunikuje się z siecią LAN za pośrednictwem gniazda RJ45(P1) [16] z wbudowanym transformatorem. Obsługa warstwy Internetu oraz warstwy transportowej modelu TCP/IP w terminalu jest realizowana programowo. W celu unifikacji urządzeń RSP przyjęto, iż nadajnik będzie stanowił uboższą formę terminala dostępowego. Nadajnik „pagerowy” nie będzie posiadał klawiatury ani panelu LCD. Pozostałe elementy konstrukcyjne urządzenia nadawczego wraz z oprogramowaniem będą takie same jak w terminalach. W rezultacie zminimalizowana zostanie różnorodność modułów oraz komponentów elektronicznych wchodzących w skład RSP. Uprości to znacznie serwisowanie urządzeń w przypadku wystąpienia awarii, jak również umożliwi łatwą rozbudowę sieci w przyszłości.

Komunikacja w sieci LAN opiera się na protokole UDP, dzięki czemu możliwe jest rozesłanie informacji do wszystkich urządzeń sieci przywoławczej w jednej chwili, bez konieczności negocjowania parametrów transmisji. W celu zunifikowania formy transmitowanych danych przyjęto, że za pośrednictwem sieci LAN jak i drogą radiową do odbiorników „pagerowych” przesyła się pakiety o tej samej strukturze (rys. 8).



Rys. 7. Schemat ideowy zaprojektowanej i wykonanej sieci przywoławczej.

Odbiornik zaprojektowany został jako urządzenie przenośne, zasilane baterią „paluszkową” lub akumulatorkiem typu AAA(LR03). Odbiornik „pagerowy” składa się z:

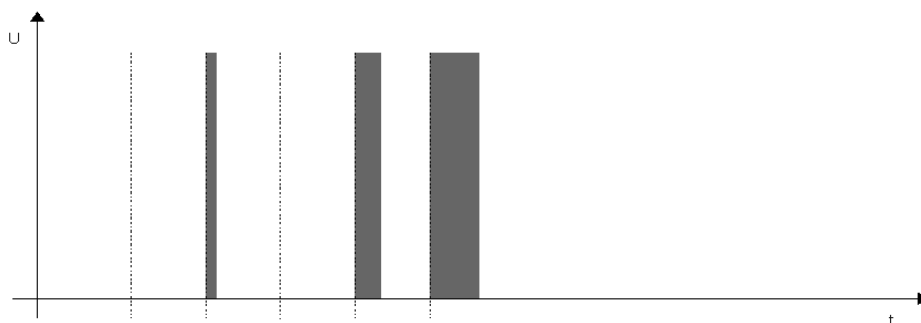
- przetwornicy napięcia,
- bloku procesorowego,
- wzmacniacza akustycznego,
- modułu radiowego.

Sercem odbiornika „pagerowego” jest blok procesora w skład którego wchodzi mikro kontroler programowalny U2 oraz pamięci U3 oraz U4 typu EEPROM. Mikro kontroler jest procesorem 8 bitowym [24], posiadającym wewnętrzną pamięć programu typu FLASH,256 bajtów pamięć SRAM oraz 256 bajtów pamięć typu EEPROM. Procesor zawiera szereg wbudowanych urządzeń peryferyjnych, z których najważniejszym w przypadku niniejszego rozwiązania jest moduł PWM.



Rys. 8. Struktura danych pakietu „pagerowego”.

Jest on wykorzystywany jako przetwornik cyfrowo analogowy odpowiedzialny za generację sygnału akustycznego. W odbiorniku „pagerowym” zaproponowano zastosowanie techniki formowania sygnału PWM bezpośrednio ze strumienia PCM (rys. 9). Źródłem strumienia PCM są próbki zapisane w pamięci EEPROM. Przetwarzanie informacji przez „pager” polega na odbiorze drogą radiową wiadomości o typie oraz treści informacji, dopasowaniu do niej zapisanych fraz dźwiękowych i odtworzeniu ich poprzez głośnik. Proponowana technika przetwarzania informacji wymaga przygotowania plików dźwiękowych, bipolarnych o rozdzielczości 8 bitów i częstotliwości próbkowania 7kHz zawierających wypowiedzane przez lektora słowa, takie jak: cyfry od 0 do 9, „pilnie”, „przedzwon”, „pod”, „numer”.



Rys. 9. Idea przetwarzania sygnału PCM → PWM zastosowana w odbiorniku „pagerowym”.

Budowę prototypów rozpoczęto od zaplanowania gospodarki materiałowej oraz przyjęto strategię konstrukcyjną dostosowaną do kontekstu projektu. Na podstawie kryteriów funkcjonalnych i niefunkcjonalnych oraz planowanej architektury urządzeń przed opracowaniem prototypów przyjęto, że:

- projektowane urządzenia zostaną podzielone na moduły funkcyjne,
- realizacja podziału na moduły ma umożliwić niezależną pracę każdego modułu,
- sposób podziału ma umożliwiać mechaniczne oraz elektryczne sprzężenie modułów wchodzących w skład danego urządzenia w jedną całość,
- konstrukcja mechaniczna modułów oraz urządzeń ma umożliwić przeprowadzenie pomiarów.

Dla sprawdzenia poprawności działania zaprojektowanej sieci radiokomunikacyjnej zbudowano prototyp nadajnika radiowego oraz prototyp odbiornika „pagerowego”. Przygotowano ponadto aplikację dla komputera PC, pełniącą funkcję terminala dostępowego, umożliwiającą wysyłanie informacji do „pagera” poprzez nadajnik. Po zbudowaniu prototypów przeprowadzono szereg pomiarów mających na celu kontrolę poprawności montażu oraz ocenę zgodności osiągniętych rezultatów z wymogami określonymi w fazie projektowania. Pomiarów przeprowadzono w środowisku laboratoryjnym oraz w docelowym środowisku roboczym w Szpitalu Specjalistycznym w Kościerzynie.

Przeprowadzone pomiary na etapie testowania prototypów wypadły pomyślnie i w pełni potwierdziły poprawność przyjętych założeń projektowych. Niektóre rozwiązania wymagają oczywiście wprowadzenia dalszych udoskonaleń, ale samo koncepcja się sprawdziła. W przypadku odbiornika „pagerowego” do opracowania pozostaje konstrukcja urządzenia w formie finalnej z wbudowaną przetwornicą impulsową. Koniecznym będzie zbadanie stabilności pracy całego urządzenia przy maksymalnym obciążeniu oraz funkcjonowanie przyjętych mechanizmów zarządzania energią. Bardzo ważnym zagadnieniem wymagającym wielu testów jest jednoczesna praca kilku nadajników na styku ich zasięgu i możliwych do powstania przesunięć fazowych sygnału radiowego wynikających z braku synchronizacji. Należy również przeprowadzić testy urządzeń pod kątem stabilności pracy w sieci LAN i odporności na ataki pochodzące z sieci komputerowej.

## **5 Wnioski końcowe**

Celem niniejszej pracy było zaprojektowanie radiokomunikacyjnej sieci przywoławczej dla potrzeb Szpitala Specjalistycznego w



Kościerzynie, charakteryzującej się niskimi kosztami eksploatacji oraz bezawaryjną pracą. Do budowy urządzeń telekomunikacyjnych użyto podzespołów tanich i ogólnodostępnych, produkowanych seryjnie. Ograniczono ich ilość do niezbędnego minimum przy zachowaniu oczekiwanych funkcjonalności systemu. Zaproponowano odejście od tradycyjnej topologii sieci przywoławczej i przyjęto zastosowanie nadajników rozproszonych małej mocy sterowanych za pośrednictwem sieci LAN z komputera PC lub z terminala dostępowego scalonego z nadajnikiem. Biorąc pod uwagę przyjęte rozwiązania technologiczne można uznać, że cel główny pracy został osiągnięty. Zaprojektowano radiokomunikacyjną sieć przywoławczą, która znacznie odbiega od standardowych rozwiązań konstrukcyjnych. Dzięki zastosowanym elementom ograniczono koszty budowy oraz eksploatacji. Mimo, iż przedstawione w niniejszej pracy urządzenia wymagają jeszcze wielu testów i modyfikacji, efekty działania opracowanej sieci oraz wyniki pomiarów są zadowalające. Dalsze prace nad projektem powinny zmierzać do realizacji łączności za pośrednictwem wielu nadajników, opracowania finalnych wersji urządzeń oraz skompletowania dokumentacji technicznej. Należy podkreślić, iż od niezawodności projektowanego systemu, w sposób pośredni lub bezpośredni będzie zależało zdrowie i życie ludzkie.

## Literatura

- [1] Praca zbiorowa, „*Pager*”, <http://en.wikipedia.org/wiki/Pager>
- [2] Noty katalogowe kabli koncentrycznych:  
TASKER, „*RG58CU Coaxial shielded plaited cable*”, TAS-RG58CU.pdf,  
TASKER, „*RG213U Coaxial shielded plaited cable*”, TAS-RG213U.pdf,  
BELDEN, „*H155 PE P/N 49255 Rev.0A*”, H155.pdf,  
BELDEN, „*H155 PE P/N 49025 Rev.1A*”, H1000.pdf.
- [3] J. Moskowitz, „*Paging Protocols*”,  
<http://fringe.davesource.com/Fringe/Hacking/Phreaking/Pagers/Protocols/protocol.html>
- [4] B. Dye,  
<http://fringe.davesource.com/Fringe/Hacking/Phreaking/Pagers/Protocols/pager.html>
- [5] B. Dye,  
<http://www.hackcanada.com/blackcrawl/commcom/datacom/pocsa g.html>

- [6] MOTOROLA Inc., „*FLEX™ Technology Overview*”, <http://web.archive.org/web/20031211033436/www.motorola.com/MIMS/MSPG/FLEX/overview/overview.html#introduction.html>
- [7] A. Jeneczek, „*CB radio*”, Warszawa, WKŁ 1992
- [8] B. P. Lathi, „*Teoria sygnałów i układów telekomunikacyjnych*”, Warszawa, PWN 1970.
- [9] J. Niekerk, „*Matching Small Loop Antennas to rfPIC Devices*”, AN831.pdf, Microchip Technologies Inc. 2002.
- [10] M. Loewen, „*Designing Loop Antennas for the rfPIC12F675*”, AN868.pdf, Microchip Technologies Inc. 2003.
- [11] Microchip, „*PIC18F46J11 Family Data Sheet*”, PIC18F46J11.pdf, Microchip Technologies Inc. 2009.
- [12] Microchip, „*ENC28J60 Stand-Alone Ethernet Controller with SPI interface*”, ENC28J60.pdf, Microchip Technologies Inc. 2008.
- [13] Texas Instruments, „*LM2575 1-A Simple Step-Down Switching Voltage Regulator*”, LM2575-3.pdf, Texas Instruments Inc. 2005.
- [14] ST, „*LF00 Series - Very Low Drop Voltage Regulators With Inhibit*”, LF33.pdf, STMicroelectronics 2003.
- [15] RAMTRON, „*FM24CL16 – 16Kb FRAM Serial 3V Memory*”, FM24CL16DS.pdf, Ramtron International Corporation 2005.
- [16] MIDCOM, „*Transformer RJ45-T8 MIC24011-0101T*”, MIC24011-0101T.pdf, Midcom Inc. 2005.
- [17] Dallas Semi, „*DS1818 - 3.3V EconoReset with Pushbutton*”, DS1818.pdf, Dallas Semiconductor.
- [18] J. Postel, „*User Datagram Protocol*”, RFC768.pdf, Information Sciences Institute, University of Southern California, January 1980.
- [19] J. Postel J, „*Internet Protocol*”, RFC791.pdf, Information Sciences Institute, University of Southern California, September 1981.
- [20] Standard IEEE 802.3 , „*Carrier sense multiple access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specification*”, 802.3-2008\_section1.pdf - 802.3-2008\_section5.pdf, IEEE 3 Park Avenue, New York, 26 December 2008.
- [21] Aurel, „*TX-SAW MID/3V High Performacne Mini Transmitter*”, tx-saw-mid-3v.pdf, Aurel Wireless System, 10 March 2005.
- [22] TSC, „*TSM2302 – 20V N-Channel Enhancement Mode MOSFET*”, TSM2302.pdf, Taiwan Semiconductor 2003.
- [23] Maxim, „*High-Efficiency, Low-Supply-Current, Compact, Step-Up DC-DC Converters*”, max1674\_1675\_1676.pdf, Maxim 19-1360; Rev 3; 3/00.

- [24] Microchip, „PIC16F685/687/689/690 20-pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology”, pic16f685\_687\_689\_690.pdf, Microchip Inc. 2005.
- [25] Atmel, „2-wire Serial EEPROM AT24C512”, 24C512.pdf, Atmel Corporation 2000.
- [26] R. G. Lyons, „Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
- [27] Aurel, „RX MID 3V Mini ASK SuperHet Receiver”, rx-mid-3V.pdf, Aurel Wireless System, 10 March 2005.

## **RADIO COMMUNICATION CALLING NETS DEDICATED FOR THE PURPOSES OF THE HEALTH SERVICE DESIGN**

Summary – In spite of a growth of many technologies of the contact, the calling radio conception drawn up at the beginning of the past century, was applying in many fields. In the article a plan of the cheap and reliable radio communication system was expressed. It system was dedicated for the special hospital in Kościerzyna, with the structure of prototypes of devices as well as testing them in the operating environment.