

Dr. sc. Zoran Mrak / Ph. D.
Prof. dr. sc. Vinko Tomas / Ph. D.
Sanjin Valčić, mag. ing.
Sveučilište u Rijeci / *University of Rijeka*
Pomorski fakultet u Rijeci /
Faculty of Maritime Studies Rijeka
Studentska 2, 51000 Rijeka
Hrvatska / *Croatia*

Pregledni članak
Review article

UDK / *UDC*:
621.396.932
656.61

Primljeno / *Received*:
12. listopada 2012. / *12th October 2012*
Odobreno / *Accepted*:
13. studenoga 2012. / *13th November 2012*

ANALIZA KOPNENIH DIGITALNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA S OSVRTOM NA MOGUĆU PRIMJENU U POMORSKOM VHF PODRUČJU

ANALYSIS OF LAND DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS WITH EMPHASIS ON POSSIBLE APPLICATIONS IN THE MARITIME VHF BAND

SAŽETAK

Uslijed porasta broja korisnika i intenzivnog korištenja frekvencijskog VHF područja javila se potreba za povećanjem njegova kapaciteta. Također, javljaju se i potrebe za novim vrstama usluga, kao što je prijenos podataka, što postojeći analogni sustavi ne mogu uspješno podržati. Stoga su u ovome radu analizirana obilježja relevantnih kopnenih digitalnih komunikacijskih sustava s ciljem utvrđivanja mogućnosti primjene u pomorstvu. Ključni parametri prema kojima je provedena analiza odabrani su na temelju pretpostavke o važnosti istovremenog postojanja analognog i digitalnog načina rada na susjednim kanalima i mogućnosti postepenog uvođenja novog sustava. Analogni način rada potreban je za obavljanje komunikacija pogibelji, hitnosti i sigurnosti zbog njegove robusnosti i rasprostranjenosti. Za moguću primjenu u pomorskom VHF području predloženi su oni sustavi koji postižu visoku spektralnu učinkovitost i koji se uklapaju u postojeće komunikacijske kanale, čime bi se olakšalo njihovo uvođenje.

Ključne riječi: pomorske VHF komunikacije, kopneni digitalni sustavi, DMR, dPMR

SUMMARY

Due to the increase in the number of users and the intensive usage of maritime VHF band, there has been a need to increase the system capacity. Moreover, there is a need for new types of services, such as data transmission, which cannot be supported efficiently by the existing analog systems. Therefore, in this paper the characteristics of relevant land digital communication systems have been analyzed with the aim of identifying possibilities of maritime applications. The key parameters, under which the analysis was conducted, were selected on the basis of the assumption on the importance of coexistence of analog and digital modes of operation on adjacent channels and the possibility for gradual introduction of a new system. The analog mode of operation should be maintained to perform the distress, urgency and safety communications due to its robustness and distribution/prevalence. The systems that achieve high spectral efficiency and fit into the existing communication channels, which would facilitate their introduction, are proposed for the possible application in the maritime VHF band.

Key words: maritime VHF communications, land digital communication systems, DMR, dPMR

1. UVOD

Govorne komunikacije prenošene analognim kanalima, osobito u pomorstvu, do sada su mogle razmjerno kvalitetno zadovoljiti potrebe proširenja kapaciteta informacijske infrastrukture. Međutim, razvojem pomorskog prometa u posljednjim desetljećima, značajno se povećao broj korisnika sustava pomorskih komunikacija dovedavši do njegove preopterećenosti. Stoga, u svijetu, već više godina postoji rasprava o potrebama dogradnje, odnosno povećanja kapaciteta VHF područja, odnosno nameće se potreba aktivnog istraživanja novih tehnoloških rješenja problema, uz sagledavanje višestrukih problema prilagodbe na međunarodnoj i nacionalnoj razini.

Zbog značajnih prednosti u odnosu na analogne sustave, digitalni se sustavi posljednjih godina uvode u sva važnija područja unutar kopnenih pokretnih komunikacija. Budući da su ovi sustavi, premda ograničeni u broju korisnika, usluga i dometu, već funkcionalni, oni predstavljaju dobar izvor saznanja koja se mogu koristiti i pri razvoju sustava pomorskih komunikacija.

Korištenje digitalnih govornih komunikacija u području pomorstva malo je istražena tema. Digitalne komunikacije u pomorstvu prisutne su kod satelitskih sustava, ali ovi funkcioniraju na bitno različitim principima (tehničkim osnovama) u usporedbi s terestričkim komunikacijskim sustavima u pomorstvu. Međunarodna udruga za telekomunikacije – ITU koja kroz svoje preporuke određuje i standarde vezane uz pomorske komunikacije, na zahtjev zemalja s povećanim potrebama za brojem kanala u pomorskom VHF području kroz dvije ključne preporuke odredila je smjernice razvoja [15] [16].

Organizacija ITU upućuje na traženje rješenja nedostatka broja kanala kroz primjenu spektralno učinkovitih digitalnih komunikacijskih sustava i navodi osnovne smjernice. Kao primjeri uspješnog prijelaza s analognog na digitalni način komunikacije, u radu su analizirani kopneni komunikacijski sustavi, koji se zbog specifičnosti potreba u pomorstvu ne mogu izravno primijeniti u pomorskim sustavima. Slijedom proučenih izvora bilo je moguće razraditi i prikaz postojećih spoznaja koje se sažeto navode u nastavku.

1. INTRODUCTION

Voice communications, transmitted in the analog channels, especially in the maritime applications have been able to satisfy the needs of capacity expansion of the information infrastructure relatively well. However, the development of the maritime traffic in the last decades led to a significant increase in the number of maritime communications users which resulted in its congestions. As a result, for many years there has been a debate in the world about the need to upgrade and increase the capacity of the VHF band, which imposes the necessity of active research into new technological solutions, with the consideration of multiple adjustment problems at international and national level.

In the recent years, due to their significant advantages over analog systems, the digital systems have been introduced in all major areas within the land mobile communications. Since these systems are already functional, although limited in the number of users, services and range, they represent a good source of information that can be used in the development of maritime communication systems.

Utilization of digital voice communications in maritime communication systems is a rarely explored and discussed topic. Maritime digital communications are present in satellite systems, but they operate on very different principles (technical basis) if compared to terrestrial maritime communications systems. The International Telecommunication Union (ITU), which through its recommendations also sets standards related to maritime communications at the demand of countries facing an increase in the need for more channels in the maritime VHF band, presented guidelines for the future development and expansion of the existing system in two key recommendations [15][16].

The ITU suggests an increase in the number of channels through the use of spectrally efficient digital communication systems, for which it provides some basic guidelines. As examples of successful transition from analog to digital mode of communication, the land communication systems, which, due to the specific maritime needs, cannot be directly applied to maritime systems, are analyzed in this paper. Following the sources studied, it was possible to analyze the display of the existing knowledge that is concisely cited hereinafter.

2. KOPNENI DIGITALNI KOMUNIKACIJSKI SUSTAVI

Radi utvrđivanja mogućnosti i ograničenja prenošenja iskustava iz već postojećih (i standardiziranih) kopnenih komunikacijskih sustava, u radu je izložen pregled relevantnih obilježja kopnenih sustava koji mogu poslužiti za modeliranje prijedloga digitalnih komunikacija u pomorstvu. Naime, digitalni komunikacijski sustavi zasad se ne koriste za govorne komunikacije u pomorstvu unutar terestričkih komunikacijskih sustava. Potrebno je stoga, iskustva vezana uz kopnene komunikacije procijeniti te dati smjernice za potrebne prilagodbe specifičnostima pomorskih komunikacija.

Poznati komunikacijski sustavi na kopnu u pravilu su razvijani u službi potreba specifičnih korisnika kao što su vojska, policija, vatrogastvo itd., što ih je učinilo relativno zatvorenima i relativno ograničenim u području primjene. To se odrazilo na samu tehnologiju, odnosno na opremu i na organizaciju komunikacijske mreže. Posredovanje dispečerskih centara kao i vezanost za nacionalne regulatorne okvire predstavljaju ograničavajuće okolnosti za prijenos dobrih iskustava na područje pomorstva.

U nastavku je dan kratak prikaz najrasprostranjenijih kopnenih digitalnih komunikacijskih sustava: TETRA, APCO Project 25, EDACS, DIMRS, DMR i dPMR.

2.1. TETRA sustav

Jedan od prvih digitalnih komunikacijskih sustava TETRA (početni naziv *Trans European Trunked Radio*, kasnije *TErrestrial Trunked Radio*) razvila je organizacija ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) za potrebe hitnih službi i kopnenih prometnih sustava [2 – 8]. U TETRA komunikacijskom sustavu korisnici nemaju fiksno dodijeljene kanale, već se putem baznih stanica upravlja korištenjem kanala. Ovakva tehnologija ima visoku iskorištenost raspoloživog frekvencijskog spektra. Sustav podržava tri načina komunikacija:

1. govorne komunikacije i prijenos podataka nazvan V+D (Voice+Data), gdje preko baznih stanica korisnici imaju mogućnost istovremenog odašiljanja govora i podataka u simpleks i dupleks modu;

2. LAND DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS

In order to determine the possibilities and limitations of the transfer of experience from existing (and standardized) land communication systems, a review of the relevant characteristics of land systems, that can be used to model the proposed maritime digital communications, is presented in this paper. Namely, digital communication systems are not currently used for voice communications within the maritime terrestrial communications systems. Hence, it is necessary to assess the experiences related to land communications, and provide guidelines for necessary adjustments to the specific maritime needs.

The present land communication systems have been generally developed to serve the needs of specific users such as the military, police, fire service, etc., which made them relatively closed and limited in scope. This was reflected on the technology, i.e. on the equipment and the organization of the communication network. The procurement of dispatching centers as well as the attachment to the national regulatory frameworks present restrictive conditions for the transfer of good experiences in the area of maritime communications.

In addition, a brief overview of the most widespread land digital communication systems is given: TETRA, APCO Project 25, EDACS, DIMRS, DMR i dPMR.

2.1 The TETRA system

One of the first digital communication systems, called TETRA (original *Trans European Trunked Radio*, later *TErrestrial Trunked Radio*), was developed by the ETSI organization (*European Telecommunications Standards Institute*) for the emergency services and land transport systems [2 – 8]. Users of the TETRA communication system do not have assigned fixed channels; the use of channels is managed through base stations. This technology has high utilization of the available frequency spectrum. The system supports three modes of communications:

1. voice communications and data transmission called V + D (Voice + Data), where users have possibilities of simultaneous voice and data transmissions in simplex and duplex mode through base stations;

Tablica 1. Osnovne tehničke karakteristike TETRA sustava**Table 1** Basic technical characteristics of the TETRA system

Širina fizičkog kanala / <i>Physical channel bandwidth</i>	25 kHz
Multipleksiranje kanala / <i>Channel multiplexing</i>	TDMA, 4 logička kanala po okviru / <i>4 logical channels per frame</i>
Modulacija / <i>Modulation method</i>	$\pi/4$ -DQPSK
Brzina prijenosa / <i>Transmission rate</i>	7.2 kbit/s po logičkom kanalu / <i>7.2 kbits/s per logical channel</i>
Kodiranje govora / <i>Speech coding</i>	ACELP koder / <i>coder (Algebraic Code-Excited Linear Predictive)</i> 4.8 kbit/s
Broj kanala u odnosu na kanal širine 25 kHz / <i>Number of channels in relation to the 25 kHz channel bandwidth</i>	4 kanala / <i>4 channels</i>

Izvor / *Source*: Autori / *Authors*

2. direktne komunikacije DMO (*Direct Mode Operation*), gdje pokretne stanice mogu izravno stupiti u vezu bez posredovanja baznih stanica;
3. paketni prijenos podatka PDO (*Packet Data Optimized*) koji je pogodan za korisnike koji imaju potrebe samo za povremenim odašiljanjem podataka.

TETRA sustav projektiran je za rad na UHF području uz širinu kanala od 25 kHz, a udaljenost među stanicama može iznositi do 17,5 km. Osnovne tehničke karakteristike sustava prikazane su u tablici 1.

Izravna primjena TETRA tehnologije nije moguća u pomorstvu. Naime, sustav je razrađen samo za UHF područje te po svojim tehničkim karakteristikama, odnosno zbog strukture kanala ne odgovara primjeni na VHF području. Nadalje, sam način modulacije zahtijeva upotrebu izlaznih pojačala s linearnom karakteristikom, dok postojeći brodski uređaji s obzirom na karakteristike signala koji se odašilje, koriste nelinearna pojačala koja imaju visok stupanj iskoristivosti. Eventualno uvođenje TETRA tehnologije zahtijevalo bi potpuni i istovremeni prijelaz svih korisnika na novu tehnologiju, što je nerealno. Paralelna primjena oba sustava, TETRA i analognog pomorskog VHF područja, na susjednim bi kanalima stvarala smetnje onemogućavajući komunikaciju.

2.2. APCO Project 25 sustav

APCO Project 25 (*Association of Public-Safety Communications Officials-International*) je digitalni komunikacijski sustav organizacije TIA (*Telecommunications Industry Association*)

2. direct communications DMO (*Direct Mode Operation*), where mobile stations can make direct contact with the end user, without the intermediation of base stations; and
3. packet data transmission PDO (*Packet Data Optimized*) which is suitable for users who need only occasional data transmissions.

The TETRA system is designed to operate on UHF frequency band with a 25 kHz channel bandwidth, and a distance can range up to 17.5 km between stations. The basic technical characteristics of the system are shown in Table 1.

A direct application of the TETRA technology is not possible in maritime communications. The system was developed to operate only on UHF frequency band and because of its technical characteristics, i.e. its channel structure is not appropriate for VHF frequency band application. Furthermore, the very way of modulation requires the use of an amplifier with a linear output characteristic. Namely, the existing ship systems, regarding the characteristics of the transmitted signal, use non-linear amplifiers which have a high efficiency. A possible introduction of the TETRA technology would require a complete and simultaneous transition of all users to the new technology, which is unrealistic. A parallel implementation of both systems, the TETRA and the analog VHF communication system, would create interferences on adjacent channels which would prevent normal communication.

2.2 The APCO Project 25 system

The APCO Project 25 (*Association of Public-Safety Communications Officials-International*) is a digital communication system standardized

Tablica 2. Osnovne tehničke karakteristike APCO Project 25 sustava
Table 2 Basic technical characteristics of the APCO Project 25 system

Širina fizičkog kanala / <i>Physical channel bandwidth</i>	12.5 kHz (1. faza / <i>Phase 1</i>) 6.25 kHz (2. faza / <i>Phase 2</i>)
Multipleksiranje kanala / <i>Channel multiplexing</i>	FDMA
Modulacija / <i>Modulation method</i>	C4FM (1. faza / <i>Phase 1</i>) CQPSK (2. faza / <i>Phase 2</i>)
Brzina prijenosa / <i>Transmission rate</i>	9.6 kbit/s
Kodiranje govora / <i>Speech coding</i>	IMBE koder / <i>coder (Improved Multi-band Excitation)</i> 4.4 kbit/s
Broj kanala u odnosu na kanal širine 25 kHz / <i>Number of channels in relation to the 25 kHz channel bandwidth</i>	2 kanala / <i>2 channels</i> (1. faza / <i>Phase 1</i>) 4 kanala / <i>4 channels</i> (2. faza / <i>Phase 2</i>)

Izvor / *Source*: Autori / *Authors*

standardiziran u SAD-u za potrebe službi opće sigurnosti (policija, hitna pomoć, vatrogasci itd.), kao i za državne službe [18]. Sustav podržava tri načina komunikacija kao i TETRA sustav, a raspodjela kanala je također na zahtjev prema *Trunking* protokolu. Predviđene su dvije faze uvođenja sustava, a razlikuju se po načinu modulacije i predviđenim širinama komunikacijskih kanala. Prva faza koristi C4FM (*Constant-Envelope 4-level Frequency Modulation*), modulaciju uz širine kanala od 12,5 kHz, dok je u drugoj fazi za širine kanala 6,25 kHz predviđena CQPSK (*Coherent Quaternary Phase Shift Keying*) modulacija. Multipleksiranje kanala je frekvencijsko i logički kanal je ujedno i fizički. Frekvencijska područja na kojima sustav može raditi su VHF i UHF, a udaljenost na kojoj se može obaviti komunikacija je do 35 km. Osnovne tehničke karakteristike sustava prikazane su u tablici 2.

Osnovni problem APCO Project 25 sustava je relativno mali domet, iako je za prvu fazu uvođenja sustava vrsta modulacije prihvatljiva, s obzirom da signal ima konstantnu amplitudu. U drugoj fazi postiže se visoka spektralna učinkovitost, ali karakteristika moduliranog signala zahtijeva upotrebu linearnih pojačala. Dodatni je problem što FDMA tehnologija zahtijeva dupleksnu izvedbu uređaja za potrebe obavljanja istovremeno dvosmjernih veza, a također se njenom primjenom smanjuje i spektralna učinkovitost.

2.3. EDACS sustav

Komunikacijski sustav EDACS (*Enhanced Digital Access Communication System*) razradila je tvrtka *Ericsson*, čija je namjena omogućava-

in the United States by the TIA organization (*Telecommunications Industry Association*) for the services of public safety (police, ambulance, fire, etc.), as well as for civil services [18]. The system supports three modes of communication as does TETRA, and the channel assignment is also conducted to the so-called "*Trunking*" protocol. Two phases of system implementation are anticipated.

These two differ in the modulation method and provided communication channel bandwidths. In the first phase, the C4FM (*Constant-Envelope 4-level Frequency Modulation*) method with a 12.5 kHz channel bandwidth is used, while the second phase uses the CQPSK (*Coherent Quaternary Phase Shift Keying*) modulation method with a 6.25 kHz channel bandwidth. The system uses frequency division multiple access and the logical channel is also the physical channel. Frequency bands on which the system can operate are VHF and UHF, and a distance between stations for communication establishment can range up to 35 km. The basic technical characteristics of the system are shown in Table 2.

The basic problem of the APCO Project 25 system is a relatively small range, although the modulation method in the first phase of the system implementation is acceptable, given that the signal has a constant amplitude. High spectral efficiency is achieved in the second phase of the system implementation, but the characteristics of the modulated signal require the use of linear amplifiers. An additional problem lies in the fact that the FDMA technology requires duplex design of devices for the purposes of performing simultaneous bidirectional communications, and thus its application reduces the spectral efficiency.

Tablica 3. Osnovne tehničke karakteristike EDACS sustava**Table 3** Basic technical characteristics of the EDACS system

Širina fizičkog kanala / <i>Physical channel bandwidth</i>	25 kHz i / <i>and</i> 12.5 kHz
Multipleksiranje kanala / <i>Channel multiplexing</i>	FDMA
Modulacija / <i>Modulation method</i>	GFSK
Brzina prijenosa / <i>Transmission rate</i>	9.6 kbit/s
Kodiranje govora / <i>Speech coding</i>	IMBE ili / <i>or</i> AMBE koder / <i>coder</i> 6.5 kbit/s
Broj kanala u odnosu na kanal širine 25 kHz / <i>Number of channels in relation to the 25 kHz channel bandwidth</i>	1 ili 2 kanala / <i>1 or 2 channels</i>

Izvor / *Source*: Autori / *Authors*

nje izravnog prijelaza s analognih na digitalne komunikacije [18]. Sustav je primjenjiv za kanale širine 12,5 kHz i 25 kHz na VHF i UHF frekvencijskim područjima. Koristi GFSK modulaciju (*Gaussian Frequency Shift Keying*) uz brzinu prijenosa od 9600 bit/s i frekvencijsku raspodjelu kanala (FDMA). Sustav omogućava istovremeno korištenje analognih komunikacija na kanalima širine 25 kHz i digitalnih komunikacija na kanalima širine 25 kHz i 12,5 kHz, uz upotrebu istih uređaja. Sustav je stoga pogodan za postepeni prijelaz s analognih na digitalne komunikacije jer omogućuje komunikacije posredstvom baznih stanica i izravne komunikacije između pokretnih stanica. Nadalje, upotrebom sustava podržane su govorne komunikacije i prijenos podataka. Korištenje kanala je moguće na konvencionalni način, kao i način korištenja kanala na zahtjev, odnosno *Trunking* protokol. Kodiranje govora obavlja se pomoću AMBE (*Advanced Multi-Band Excitation*) ili IMBE (*Improved Multi-Band Excitation*) koderom sa 6,5 kbit/s, te je osigurana visoka kvaliteta govornog signala. Udaljenosti na kojima se može obavljati komunikacija ovise o frekvencijskom području. Osnovne tehničke karakteristike EDACS sustava prikazane su u tablici 3.

Glavni nedostatak ovoga sustava je njegova niska spektralna učinkovitost, čime se ne bi moglo povećati broj raspoloživih komunikacijskih kanala što i je osnovni razlog istraživanja alternative za postojeće komunikacije na pomorskom VHF području.

2.4. DIMRS sustav

Sustav DIMRS (*Digital Integrated Mobile Radio System*) razvijen je u Kanadi kao jedinstven sustav u kojem su integrirane usluge mobilne telefonije, *paging* sustav, dispečerski sustav i

2.3 The EDACS system

The communication system EDACS (*Enhanced Digital Access Communication System*) was developed by the Ericsson company and it was intended to enable the direct transition from analog to digital communications [18]. The system is applicable for the 12.5 kHz and 25 kHz channel bandwidths on the VHF and UHF frequency bands. It uses the GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*) modulation method with a transmission rate of 9600 bit/s and frequency division multiple access. The system enables the simultaneous use of analog communications on channels of 25 kHz bandwidth and digital communications on channels of 25 kHz and 12.5 kHz bandwidth, using the same device. Therefore, the system is suitable for a gradual transition from analog to digital communications. The system allows both communications via base stations and direct communications between mobile stations. The system also supports voice communications and data transmission. The channel usage is possible in a conventional way as on demand, i.e. according to the "*Trunking*" protocol. Speech coding is made by AMBE (*Advanced Multi-Band Excitation*) or IMBE (*Improved Multi-Band Excitation*) coders with 6.5 kbit/s, ensuring a high quality of the speech signal. The distances for the successful communication establishment depend on the frequency band. The basic technical characteristics of the system are shown in Table 3.

The main disadvantage of this system lies in its low spectral efficiency, thus the system could not increase the number of available channels, which is the main reason for the search for alternatives to the existing communications in maritime VHF band.

Tablica 4. Osnovne tehničke karakteristike DIMRS sustava
Table 4 Basic technical characteristics of the DIMRS system

Širina fizičkog kanala / <i>Physical channel bandwidth</i>	25 kHz
Multipleksiranje kanala / <i>Channel multiplexing</i>	TDMA, 6 logičkih kanala po okviru / <i>6 logical channels per frame</i>
Modulacija / <i>Modulation method</i>	16QAM
Brzina prijensa / <i>Transmission rate</i>	64 kbit/s
Kodiranje govora / <i>Speech coding</i>	VSELP koder / <i>coder</i>
Broj kanala u odnosu na kanal širine 25 kHz / <i>Number of channels in relation to the 25 kHz channel bandwidth</i>	6 kanala / <i>6 channels</i>

Izvor / *Source*: Autori / *Authors*

prijenos podataka [18]. Komunikacijski kanali širine su 25 kHz uz primjenu TDMA tehnologije, a svaki fizički kanal koristi vremenski okvir trajanja 90 ms koji je razdijeljen u 6 logičkih kanala svaki u trajanju od 15 ms. Struktura komunikacijskih kanala i brzine prijensa u DIMRS sustavu različiti su u ovisnosti o vrsti usluge. Za kodiranje govora koristi se VSELP (*Vector Sum Excited Linear Prediction*) koder. Upotrebom 16QAM (*16-level Quadrature Amplitude Modulation*) modulacije postignuta je ukupna brzina prijensa unutar kanala širine 25 kHz od 64 kbit/s. Sustav je predviđen za rad samo na UHF području, a karakteristike moduliranog signala zahtijevaju upotrebu izlaznog pojačala s linearnom karakteristikom. Također, sustav ne omogućuje izravne komunikacije među pokretnim stanicama, a područje pokrivanja koje ovisi o dizajnu sustava i vrstama uređaja iznosi do 40 km. Osnovne tehničke karakteristike DIMRS sustava prikazane su u tablici 4.

Osnovna prednost DIMRS tehnologije je vrlo visoka spektralna učinkovitost. Nedostatak predstavlja način modulacije koji traži izrazito linearna izlazna pojačala, kao i kod TETRA tehnologije. Utoliko niti ova tehnologija, kao ni vrlo slična TETRA, ne dozvoljava izravnu primjenu u pomorstvu.

2.5. DMR sustav

Sustav DMR (*Digital Mobile Radio*) je "otvoreni" komunikacijski sustav razrađen i standardiziran od organizacije ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) [9 – 13]. Sustav je predviđen za upotrebu u tri razine: nelicencirani korisnici (*Tier I*), licencirani korisnici u konvencionalnoj mreži (*Tier II*) i licencirani korisnici u *Trunking* mreži (*Tier III*). Sustav je predviđen za frekvencijska područja VHF i

2.4 The DIMRS system

The DIMRS system (*Digital Integrated Mobile Radio System*) was developed in Canada as a unique system with integrated mobile phone services, paging, dispatch and data transmission [18]. The system is based on TDMA technology with communication channels of 25 kHz bandwidth, and each physical channel uses a time frame of 90 ms, which is divided into 6 logical channels, each lasting 15 ms. The structure of communication channels and data transmission rates, in the DIMRS system, vary depending on the type of service. The VSELP (*Vector Sum Excited Linear Prediction*) coder is used for speech coding. Using the 16QAM (*16-level Quadrature Amplitude Modulation*) modulation method, the overall transmission rate of 64 kbit/s within a channel of 25 kHz bandwidth, is achieved. The system is designed to operate only on the UHF band and the characteristics of the modulated signal require the use of the output amplifiers with linear characteristic. Moreover, the system does not allow direct communications between mobile stations and the area of coverage, which depending on the system design and the types of devices, ranges up to 40 km. The basic technical characteristics of the system are shown in Table 4.

The main advantage of the DIMRS technology is its very high spectral efficiency. The modulation method, which requires highly linear power amplifiers, as well as in the TETRA technology, represents a disadvantage. Insofar, neither the DIMRS technology, nor the very similar TETRA technology, allows direct maritime applications.

Tablica 5. Osnovne tehničke karakteristike DMR sustava
Table 5 Basic technical characteristics of the DMR system

Širina fizičkog kanala / <i>Physical channel bandwidth</i>	12.5 kHz
Multipleksiranje kanala / <i>Channel multiplexing</i>	TDMA, 2 logička kanala po okviru / <i>2 logical channels per frame</i>
Modulacija / <i>Modulation method</i>	4FSK
Brzina prijenosa / <i>Transmission rate</i>	9600 bit/s
Kodiranje govora / <i>Speech coding</i>	nije definirano – struktura kanala podržava kodiranje govora brzinom 3600 bit/s / <i>not defined – the channel structure supports speech coding of 3600 bit/s rate</i>
Broj kanala u odnosu na kanal širine 25 kHz / <i>Number of channels in relation to the 25 kHz channel bandwidth</i>	4 kanala / <i>4 channels</i>

Izvor / Source: Autori / Authors

UHF uz korištenje komunikacijskih kanala širine 12,5 kHz. Multipleksiranje kanala je izvedeno primjenom TDMA tehnologije, a svaki fizički kanal koristi vremenski okvir trajanja 60 ms koji je razdijeljen u 2 logička kanala svaki u trajanju od 30 ms. Struktura komunikacijskih kanala teoretski omogućuje komunikacije do udaljenosti od 150 km, no u stvarnim uvjetima je zbog neusklađenosti sinkronizacije u prijemnicima udaljenost manja.

Sustavom su podržana tri načina komunikacija posredstvom baznih stanica, ali i izravnim vezama između pokretnih stanica: govorne komunikacije, kratke tekstualne poruke (SMS) i paketni prijenos podataka prema IPv4 i IPv6 protokolima. Bazne stanice omogućuju izravan pristup mobilnim korisnicima u različite komunikacijske sustave (javna telefonska mreža, internet itd.), kao i izravne pozive prema mobilnim korisnicima. Signal moduliran 4FSK (*4-level Frequency Shift Keying*) modulacijom omogućuje brzinu prijenosa od 9600 bit/s, ima konstantnu amplitudu i kompatibilan je s analognim kutno moduliranim signalima. Osnovne tehničke karakteristike DMR sustava prikazane su u tablici 5.

DMR sustav osigurava visoku spektralnu učinkovitost i omogućuje duplex komunikacije s vremenskom podjelom TDD (*Time Division Duplex*). Nedostatak sustava je da se u simpleks načinu rada, koji je potreban za odašiljanje poruke prema više korisnika, istovremeno može koristiti samo jedan vremenski okvir čime se gubi na spektralnoj učinkovitosti. Dvije važne prednosti DMR sustava proizlaze iz činjenice da se lako može uklopiti u postojeću strukturu

2.5 The DMR system

The DMR system (*Digital Mobile Radio*) is an “open” communication system developed and standardized by the ETSI organization (*European Telecommunications Standards Institute*) [9 – 13]. The system is intended for use of three levels: the unlicensed users (*Tier I*), licensed users of the conventional network (*Tier II*) and licensed users in the “*Trunking*” network (*Tier III*). The system is designed for VHF and UHF frequency bands with the use of communication channels of 12.5 kHz bandwidth. The channel multiplexing is made by using TDMA technology, and each physical channel uses a time frame of 60 ms, which is divided into 2 logical channels, each of 30 ms. Theoretically, the structure of communication channels allows communication up to distances of 150 km, but in real terms, due to mismatches in receiver synchronization, this distance is smaller.

The system supports three modes of communication through base stations, and direct links between mobile stations: voice communications, short text messages (SMS) and packet data transmissions to the Ipv4 and Ipv6 protocols. The base stations provide direct access for mobile users into different communication systems (public telephone network, the Internet, etc.), as well as direct calls to other mobile users. The signal modulated with the 4FSK (*4-level Frequency Shift Keying*) modulation method provides a data transmission rate of 9600 bit/s, has a constant amplitude and is compatible with analog angular modulated signals. The basic technical characteristics of the system are shown in Table 5.

komunikacijskih kanala na pomorskom VHF području te omogućuje istovremeno postojanje analognih i digitalnih komunikacija na susjednim kanalima. Za DMR tehnologiju još ne postoji razrađena infrastruktura, odnosno postoji samo na idejnoj razini.

2.6. dPMR sustav

Komunikacijski sustav dPMR (*digital Private Mobile Radio*) je po svojim karakteristikama vrlo sličan DMR sustavu i također standardiziran od organizacije ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) [14]. Razlika u odnosu na DMR je u FDMA načinu korištenja kanala. Modulacija 4FSK za dPMR sustav prilagođena je za širine komunikacijskih kanala od 6,25 kHz, a brzina prijenosa iznosi 4800 bit/s. Sustav je predviđen za frekvencijska područja VHF i UHF.

Sustav je zbog FDMA tehnologije jednostavniji za primjenu (manji problemi oko sinkronizacije uređaja) i razrađen je za dva načina upotrebe. Prvi način predviđen je za izravne simpleks komunikacije među mobilnim uređajima (*Mode 1*). Drugi način rada predviđen je kao centralizirani sustav upravljani preko bazne stanice, koji omogućuje duplex komunikacije. Za duplex komunikacije potrebno je koristiti dva kanala čime spektralna učinkovitost postaje ista kao i u DMR sustavu. Iako slični po karakteristikama, sustavi dPMR i DMR nisu međusobno kompatibilni. Osnovne tehničke karakteristike dPMR sustava prikazane su u tablici 6.

Također, kao i DMR, dPMR sustav se lako može uklopiti u postojeću strukturu komunikacijskih kanala na pomorskom VHF području i

The DMR system ensures high spectral efficiency and provides duplex communications with time division TDD (*Time Division Duplex*). The disadvantage of the system is that in the simplex mode of communication, which is needed for transmitting messages to multiple users, the system can simultaneously use only one time frame and thereby lose spectral efficiency. Two important advantages of the DMR system stem from the fact that it can easily fit into the existing structure of communication channels in the maritime VHF band, and it allows simultaneous existence of analog and digital communications on adjacent channels. There is, however, yet no existing designed and elaborated infrastructure for the DMR technology, i.e. it exists only on the conceptual level.

2.6 The dPMR system

The dPMR communication system (*digital Private Mobile Radio*) is very similar to the DMR system by its characteristics, and is also standardized by the ETSI organization [14]. The difference, if compared to the DMR system, is the FDMA channel usage. The modulation method 4FSK of dPMR system is optimized for communication channel of 6.25 kHz bandwidths, and a 4800 bit/s transmission rate. The system is designed for the VHF and UHF frequency bands.

The system is easier to use due to the FDMA technology (less problems with synchronization devices) and is designed for two modes of communication. The first mode is intended for direct simplex communications between mobile users (*Mode 1*). The second mode of communication is intended to operate as a centralized

Tablica 6. Osnovne tehničke karakteristike dPMR sustava
Table 6 Basic technical characteristics of the dPMR system

Širina fizičkog kanala / <i>Physical channel bandwidth</i>	6.25 kHz
Multiplexiranje kanala / <i>Channel multiplexing</i>	FDMA
Modulacija / <i>Modulation method</i>	4FSK
Brzina prijenosa / <i>Transmission rate</i>	4800 bit/s
Kodiranje govora / <i>Speech coding</i>	nije definirano – struktura kanala podržava kodiranje govora brzinom 3600 bit/s / <i>not defined – the channel structure supports speech coding of 3600 bit/s rate</i>
Broj kanala u odnosu na kanal širine 25 kHz / <i>Number of channels in relation to the 25 kHz channel bandwidth</i>	4 kanala / <i>4 channels</i>

Izvor / *Source*: Autori / *Authors*

omogućuje istovremeno postojanje analognih i digitalnih komunikacija na susjednim kanalima.

Nove komunikacijske tehnologije standardizirane od strane ETSI organizacije, DMR i dPMR, prepoznate su kod velikog broja proizvođača komunikacijske opreme, projektanata komunikacijskih sustava, regulatornih tijela te korisnika. Glavni razlozi za iskazani interes proizlaze iz:

- relativno velikih mogućnosti daljnjeg širenja uz obuhvat velikog broja novih korisnika
- mogućnosti postupnog prijelaza iz postojećih sustava, odnosno migracije s analognih na digitalne tehnologije
- multifunkcionalnosti, odnosno mogućnosti pružanja novih usluga kao što su lociranje, logistički menadžment itd.

Budući da je DMR tehnologija predviđena za profesionalne potrebe, 2005. godine potpisan je memorandum o suradnji, temeljem kojeg je osnovana DMR asocijacija (*DMR Association*) u čijem članstvu sudjeluju vodeće tehnološke grupacije kao što su ICOM, Motorola, Fylde Micro, Avtec, EMC i drugi. Osnovni cilj je suradnja u testiranju i certificiranju DMR sustava te suradnja s regulatornim agencijama što čini DMR tehnologiju jednom od najperspektivnijih.

3. ZAKLJUČAK

Specifičnosti pomorskih VHF komunikacija, kao što su upotreba frekvencijskog područja za potrebe sigurnosti i globalna rasprostranjenost, uvjetuju način prijelaza na digitalne komunikacijske sustave. Kopneni komunikacijski sustavi funkcioniraju unutar manjih geografskih područja, pa je njihov model prijelaza zasnovan na revoluciji, gdje se u jednom trenutku tehnologije u potpunosti zamjenjuju. Pomorski VHF sustav zahtijeva evolucijski model u kojem nova tehnologija treba koegzistirati s postojećom tehnologijom. Kod uvođenja novog digitalnog komunikacijskog sustava na VHF području u pomorskim komunikacijama posebnu pažnju potrebno je usmjeriti prema komunikacijama za potrebe sigurnosti, koje bi zbog svoje važnosti i robusnosti trebale ostati na postojećem analognom načinu rada.

Zbog potrebe istovremenog postojanja analognih i digitalnih komunikacijskih sustava unutar pomorskog VHF područja, analizirane su

system controlled by the base station, which allows duplex communications. To establish such communications, it is necessary to use two channels, thus the spectral efficiency becomes the same as in the DMR system. Although similar in characteristics, the dPMR and the DMR systems are not mutually compatible. The basic technical characteristics of the system are shown in Table 6.

The dPMR system, like the DMR system, can easily be integrated into the existing structure of communication channels in the maritime VHF band and it also allows simultaneous existence of analog and digital communications on adjacent channels.

The new communication technologies standardized by the ETSI organization, the DMR and the dPMR, have been recognized by a large number of communication equipment manufacturers, communication systems planners, regulators and users. The main reasons for the interest shown arise from:

- relatively great possibilities for further expansion with the coverage of a large number of new users,
- possibilities of a gradual transition from the existing system, i.e. migration from analog to digital technologies,
- multifunctionalities, i.e. the possibility to provide new services such as locating, logistics management, etc.

Since the DMR technology is intended for professional purposes, in 2005, a memorandum of cooperation was signed and the DMR Association was established. These members are leading technology groups such as ICOM, Motorola, Fylde Micro, Avtec, EMC, and others. The main objective of the DMR Association is the cooperation in the testing and certifying the DMR system and the cooperation with regulatory agencies, making the DMR technology the most promising choice.

3. CONCLUSION

The specific features of maritime VHF communications, such as the use of the frequency spectrum for safety purposes and its global distribution, determine the way of transition to digital communication systems. Land communication systems operate within smaller geographical areas, and therefore their transition

važnije tehnologije koje se koriste u kopnenim komunikacijama. Dvije tehnologije standardizirane od organizacije ETSI primjenjive su za potrebe pomorskih VHF komunikacija, a obje omogućuju koegzistenciju analognih i digitalnih kanala. S obzirom na unaprjeđenja koja se postižu, prednost je dana tehnologiji DMR koja koristi komunikacijske kanale širine 12,5 kHz uz vremensku raspodjelu kanala i omogućuje dupleks komunikacije s primjenom TDD protokola. Druga tehnologija je dPMR, koja je razrađena za komunikacijske kanale širine 6,25 kHz i podržava samo frekvencijsku raspodjelu kanala.

Sustav DMR primjenjiv je na kanale širine 12,5 kHz te ne zahtjeva dodatnu preraspodjelu komunikacijskih kanala s obzirom da je ITU predvidio komunikacijske kanale na pomorskom VHF području širine 12,5 kHz. Spektralna učinkovitost od 6,25 kHz proizlazi iz korištenja vremenske raspodjele kanala čime se jedan fizički kanal širine 12,5 kHz dijeli na dva korisnička (logička) kanala. Sustav se temelji na četverorazinskoj FSK modulaciji (4FSK) s konstantnom amplitudom moduliranog signala. Ova modulacija uz prethodnu obradu digitalnog signala informacije (filtriranje) omogućava brzine prijenosa od 4800 simbola u sekundi, odnosno 9600 bita u sekundi. Odabrana vrsta modulacije ne uzrokuje smetnje na susjednim kanalima i pogodna je za paralelan rad analognih i digitalnih komunikacijskih sustava, te bi se mogla koristiti kao podloga za izradu pomorskog digitalnog VHF komunikacijskog sustava.

model is based on revolution, i.e. technologies can be completely replaced at once. The maritime VHF system requires an evolutionary model in which the new technology should coexist with the existing technology. When introducing a new digital communication system in the VHF maritime communications, special attention must be paid to communications for safety purposes, which in view of their importance and robustness should remain on the existing analog mode.

Due to the need for the coexistence of analog and digital communication systems within the maritime VHF band, some important technologies used in land communications have been analyzed. The two technologies standardized by the ETSI organization are applicable in maritime VHF communications, and both allow the coexistence of analog and digital channels. Regarding the improvements that are achieved, the authors' preference is given to the DMR technology, as it uses communication channels of 12.5 kHz bandwidth with a time division of channels and allows duplex communications using the TDD protocol. The other technology is the dPMR, developed for communication channels of 6.25 kHz bandwidth and which supports only frequency division of channels.

The DMR system is applicable to channels of 12.5 kHz bandwidth, and does not require additional redistribution of communication channels. The ITU has planned communication channels of 12.5 kHz bandwidth in the maritime VHF band. The spectral efficiency of 6.25 kHz stems from the use of time division of channels allowing one physical channel of 12,5 kHz bandwidth to be divided into two user (logical) channels. The system is based on the four-level FSK modulation method (4FSK) with a constant amplitude of the modulated signal. This modulation method, with previous processing of digital information signal (filtering), allows transmission rates of 4800 symbols per second, or 9600 bits per second. The selected type of the modulation method does not cause interferences on adjacent channels and is suitable for parallel operation of analog and digital communication systems, so could therefore be used as a basis for the development of the maritime VHF digital communication system.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Dewey, R., Y. Tong Lee, *Performance Studies of the Tetra Mobile Radio System*, Vehicular Technology Conference, 1996., Mobile Technology for the Human Race, IEEE
- [2] ETSI EN 300 396-1, *Terrestrial Trunked Radio (TETRA), Technical Requirements for Direct Mode Operation (DMO), Part 1: General Network Design*, European Telecommunications Standards Institute 1998.
- [3] ETSI EN 300 396-2, European Standard (Telecommunications series), *Terrestrial Trunked Radio (TETRA), Voice plus Data (V+D), Part 2: Air Interface (AI)*, European Telecommunications Standards Institute, 2007.
- [4] ETSI EN 300 396-3 European Standard (Telecommunications series), *Terrestrial Trunked Radio (TETRA), Technical Requirements for Direct Mode Operation (DMO), Part 3: Mobile Station to Mobile Station (MS-MS) Air Interface (AI) Protocol*, European Telecommunications Standards Institute 2006.
- [5] ETSI TECHNICAL REPORT ETR 300-1, *Terrestrial Trunked Radio (TETRA), Voice plus Data (V+D), Designers' Guide, Part 1: Overview, Technical Description and Radio Aspects*, European Telecommunications Standards Institute, 1997.
- [6] ETSI TECHNICAL REPORT ETR 300-2, *Terrestrial Trunked Radio (TETRA), Voice plus Data (v+d), Designers' Guide, Part 2: Radio Channels, Network Protocols and Service Performance*, European Telecommunications Standards Institute, 1997.
- [7] ETSI TECHNICAL REPORT ETR 300-3, *Terrestrial Trunked Radio (TETRA), Voice plus Data (V+D), Designer' Guide Part 3: Direct Mode Operation (DMO)*, European Telecommunications Standards Institute, 2000.
- [8] ETSI TECHNICAL REPORT ETR 300-4, *Terrestrial Trunked Radio (TETRA), Voice plus Data (V + D); Designers' Guide, Part 4: Network Management*, European Telecommunications Standards Institute, 1997.
- [9] ETSI TS 102 361-1, *Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM), Digital Mobile Radio (DMR) Systems, Part 1: DMR Air Interface (AI) Protocol*, European Telecommunications Standards Institute, 2007.
- [10] ETSI TS 102 361-2, *Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM), Digital Mobile Radio (DMR) Systems, Part 2: DMR Voice and Generic Services and Facilities*, European Telecommunications Standards Institute, 2007.
- [11] ETSI TS 102 361-3, *Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems, Part 3: DMR Data Protocol*, European Telecommunications Standards Institute 2007.
- [12] ETSI TS 102 361-4, *Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM), Digital Mobile Radio (DMR) Systems, Part 4: DMR Trunking Protocol*, European Telecommunications Standards Institute 2007.
- [13] ETSI TS 102 398, *Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM), Digital Mobile Radio (DMR) General System Design*, European Telecommunications Standards Institute, 2008.
- [14] ETSI TS 102 658 V2.1.1, *Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM), Digital Private Mobile Radio (dPMR) Using FDMA with a Channel Spacing of 6,25 kHz*, European Telecommunications Standards Institute, 2010.
- [15] ITU-R Recommendation M.1084, *Interim Solutions for Improved Efficiency in the Use of the Band 156-174 MHz by Stations in the Maritime Mobile Service*, 2001.
- [16] ITU-R Recommendation M.1312, *A Long Term Solution for Improved Efficiency in the Use of the Band 154-174 MHz by Stations in the Maritime Mobile Service*, 1997.
- [17] Marwood, I., *Global Deployment of TETRA and Market Developments*, IEE PGE8 Event, IEE, 2000.
- [18] Report ITU-R M.2014, *Spectrum Efficient Digital Land Mobile Systems for Dispatch Traffic*, 1998.