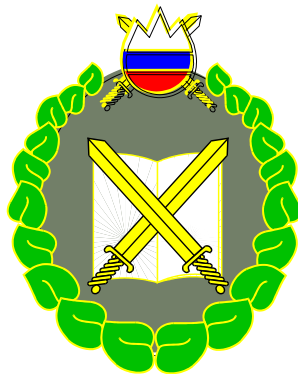


**ŠOLA ZA ČASTNIKE
21. GENERACIJA
SPECIALIZACIJA ZVEZE**

ZAKLJUČNA NALOGA

UPORABA DIGITALNEGA RADIJSKEGA SISTEMA TETRA NA MOM



Kandidat-slušatelj: desetnik Tomaž Zelenik
Mentor: stotnik Dragan Poslončec
So-mentor: štabni vodnik Darijan Ženko

Maribor, september 2010



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OBRAMBO
Slovenska vojska
Poveljstvo za doktrino, razvoj,
izobraževanje in usposabljanje
Šola za častnike

Številka:
Datum:

ZAKLJUČNA NALOGA

UPORABA DIGITALNEGA RADIJSKEGA SISTEMA TETRA NA MOM

Kandidat-slušatelj: desetnik Tomaž Zelenik
Mentor: stotnik Dragan Poslončec
So-mentor: štabni vodnik Darijan Ženko

Maribor, september 2010

POVZETEK

Radijske zveze so nepogrešljiv del komunikacijskega omrežja sistemov, ki pokrivajo velika ozemeljska področja in zahtevajo vzdrževanje in upravljanje množice naprav na dislociranih lokacijah, kjer drugih komunikacijskih poti ni na razpolago. Klasični analogni sistem profesionalnega radija počasi postaja zgodovina, na njihovo mesto pa stopajo novi digitalni sistemi, kot je TETRA. Ti poleg klasične funkcije prenosa govora omogočajo tudi prenos podatkov vključno s protokolom IP in s tem nove možnosti uporabe na področju podatkovnih storitev.

TETRA predstavlja odličen komunikacijski sistem za mednarodne operacije, kjer pripadniki Slovenske vojske opravljajo operativne naloge: varovanja baze, patroliranja v neposredni okolici, delujejo na kontrolnih točkah, spremljanja vozil na ožjem območju, zagotavljanja zdravstvene oskrbe, usposabljanja in izobraževanja na večnacionalnih vajah.

Vse bolj se pa Slovenska vojska vključuje v bojne operacije, predvsem v Afganistanu, kjer je zveza nepogrešljiva. TETRA preko satelita bi lahko nadomestila trenutne radijske zveze preko VHF in HF, saj bi s svojo priročnostjo in velikim naborom možnosti klicanja, omogočala hitrejši in bolj zanesljiv pretok informacij.

Ključne besede: TETRA, podatkovne komunikacije, varnost, TETRA preko satelita, Afganistan

SUMMARY

Radio communications are an indispensable part of communication networks in systems which cover large geographic areas and require maintenance and management of devices on remote locations where no other communication means are available. Traditional analog professional radio systems are becoming a part of the history, and are being replaced by new digital systems such as TETRA. Besides the traditional voice communication, the new digital systems provide also data communication including IP protocol support, and thus new possibilities of data services.

TETRA is an excellent communication system for international operations where Slovene Armed Forces carry out different operational tasks, such as protection of the base quarters, patrols in direct surroundings, actions on control points, monitoring and control of vehicles on the narrow territory, provision of health care and health services, training and education on multinational exercises.

However, the Slovene Armed Forces are getting more and more involved into combat operations in Afghanistan, where the communication is indispensable. TETRA over satellite could replace the current radio communications via VHF and HF. Its convenience and a large array of calling features would enable us faster and more reliable flow of information.

Key words: TETRA, data communication, security, TETRA over satellite, Afghanistan

KAZALO

POVZETEK.....	iii
SUMMARY.....	iv
KAZALO.....	v
1. UVOD.....	1
1.1 IZHODIŠČE ZAKLJUČNE NALOGE.....	1
1.2 NAMEN IN CILJI RAZISKAVE.....	1
1.3 METODE DE LA.....	1
1.4 STRUKTURA ZAKLJUČNE NALOGE.....	1
2. TETRA.....	2
2.2 OSNOVNE ZNAČILNOSTI SISTEMA.....	2
2.2 STANDARDI TETRA.....	3
TETRA 2.....	4
2.3 STORITVE SISTEMA TETRA.....	4
2.3.1 Nosilne Storitve.....	5
2.3.2 Dopolnilne Storitve.....	5
2.4 PRENOS PODATKOV V SISTEMU TETRA.....	6
2.4.1 Tetra V+D.....	7
2.4.2 Tetra DMO.....	10
2.4.3 Tetra PDO.....	13
2.4.4 TETRA Enhanced Data Service (TEDS).....	14
2.5 POVEZAVA OMREŽJA TETRA Z DRUGIMI OMREŽJI.....	14
2.5.1 Medsistemski Vmesnik.....	15
2.5.2 PSTN in ISDN Vmesnik.....	15
2.5.3 IP omrežje.....	16
2.5.4 Opis delovanja prenosa paketnih podatkov.....	16
3. PRIMERJAVA TETRA IN GSM OMREŽJA.....	17
4. TETRA PREKO SATELITA.....	19
4.1 ISI PREKO SATELITA.....	19
4.2 OMREŽNA ARHITEKTURA.....	19
4.3 ZAKLJUČEK.....	20
5. VARNOST.....	21
5.1 VARNOST KOT KLJUČNI ELEMENT KAKOVOSTI STORITEV.....	21
5.2 VARNOST V ZASEBNIH SISTEMIH RADIJSKIH ZVEZ.....	22
5.3 VARNOST V ZASEBNIH SISTEMIH RADIJSKIH ZVEZ 2 GENERACIJE TETRA.....	22
5.3.1 Zasnova varnost in standardi.....	22
5.3.2 Elementi varnosti.....	22
5.3 ZAKLJUČEK.....	26
6. REŠITVE TUJIH VOJSKA.....	27
6.1 EADS IN TETRAPOL.....	28
6.1.1 Nemška vojska prejela prva EADS TETRAPOL radija.....	28
6.2 ITALIJA.....	28
6.3 KDO UPORABLJA TETRA SISTEM?.....	29
6.4 MOŽNOST UPORABE SISTEMA TETRA ZA SLOVENSKO VOJSKO.....	30
7. POKRITOST SIGNALA V AFGANISTANU.....	32
7.1 PROGRAM ZA SIMULACIJO EMV RADIO MOBILE.....	32
8. SIMULACIJA POKRITOSTI TERENA S SIGNALOM V AFGANISTANU.....	35
8.1 ZAKLJUČEK.....	47
9. IZRAČUN IDEALNE CELIČNE STRUKTURE OMREŽJA.....	49
10. ZAKLJUČEK.....	51
LITERATURA.....	52
SEZNAM SLIK IN TABEL.....	53

SEZNAM IN RAZLAGA UPORABLJENIH KRATIC	54
IZJAVA O AVTORSTVU.....	55

1. UVOD

1.1 IZHODIŠČE ZAKLJUČNE NALOGE

Organizacija zveze na MOM¹ z nadrejenim poveljstvom doma in tujini, ter s sodelujočimi enotami na nalogi, je ključnega pomena za kvalitetno izvedbo nalog enot na misiji. Vzpostavljajo se različne vrste zvez glede na namen in uporabo. Prav zaradi tega je potrebna preučitev možnosti uvedbe sistema radijskih zvez TETRA², za prenos govora in podatkov, na MOM. Študija mora prikazati glavne tehnične možnosti in omejitve tega sistema za prenos govora in podatkov. Določiti mora obseg predvidenega radijskega omrežja za pokritost terena z radijskim signalom v Afganistanu.

1.2 NAMEN IN CILJI RAZISKAVE

Opisati organizacijo zveze sistema TETRA in potrebna materialno tehnična sredstva za vzpostavitev komunikacijskega sistema s poudarkom na MOM. Na osnovi organizacijsko-tehničnih rešitev tujih vojsk opisati trend razvoja v Slovenski vojski. Poudarek naloge bo na podatkovnih storitvah, saj tehnika bolj ali manj napreduje v tej smeri, prenos sporočil in paketiranih podatkov po protokolu IP.

1.3 METODE DELA

Pri nalogi bom uporabil komparativno metodo, metodo proučevanje na nivoju primerjanja dejstev, odnosov, procesov z namenom odkrivanja podobnosti in razlik. Uporabil bom tudi metodo razlage in metodo analize pisnih virov, s katerimi bom podrobneje opisal sistem TETRA.

S pomočjo računalniških aplikacij (Radio Mobile) bom skušal izdelati skico pokritosti signala v Afganistanu in s tem tudi primernost uporabe sistema za Slovensko vojsko na MOM-u.

1.4 STRUKTURA ZAKLJUČNE NALOGE

V prvem delu naloge sem opisal osnovne lastnosti sistema TETRA možni načini prenosa podatkov ter novosti, ki jih omogočajo najnovejši terminali. V nadaljevanju sem predstavil delovanje tega sistema preko satelita, kar olajša komunikacijo na mednarodnih operacijah in misijah.

Varnost pri tem je ključnega pomena, ki pa zaradi nenehnega razvoja tehnologije oziroma telekomunikacijskih sistemov postaja vse bolj kompleksna. Kako se s tem problemom soočajo tuje vojske?

Pogledali si bomo tudi teoretično, kako bi izgledalo, če bi hotela Slovenska vojska v Afganistanu postaviti svoje TETRA omrežje, kaj bi za to potrebovali in kakšna bi bila pokritost terena s signalom.

¹ Mednarodne Operacije in Misije

² TErrestrial Trunked RAdio

2. TETRA

2.2 OSNOVNE ZNAČILNOSTI SISTEMA

TETRA je popolnoma digitalen, večfunkcijski sistem, ki je namenjen prenosu govora in podatkov preko radijskih terminalov. TETRA je odprt sistem, ki se povezuje z drugimi omrežji preko standardnih vmesnikov. Vgrajeni zaščitni mehanizmi omogočajo varno sočasno uporabo različnih skupin uporabnikov.

Sistem TETRA je bil načrtovan kot snopovni sistem, ki ekonomično in učinkovito podpira souporabo omrežja tako, da imajo uporabniki sodelujočih organizacij zagotovljeno privatnost in vsestransko varnost komuniciranja. Isto fizično omrežje omogoča vzpostavitev različnih virtualnih omrežij. Vsako izmed navideznih omrežij ima lastno upravljanje in lasten nabor funkcij. Geografsko konfiguracijo navideznega omrežja je mogoče programsko spremeniti brez večjih posegov v infrastrukturo. [1]

Tabela 1: Parametri sistema TETRA

Parameter	Vrednost
Razmak med nosilcema	25kHz
Modulacija	$\pi/4$ - DQPSK
Podatkovna hitrost nosilca	36 kbit/s
Način dostopa	TDMA s štirimi okni
Uporabna podatkovna hitrost	7,2 kbit/s
Najvišja podatkovna hitrost	28,8 kbit/s

VIR: P. Böhm (2005, stran 10)

Souporaba sistema TETRA daje boljše izkoriščenost kanalov oziroma frekvenčnega prostora. Z ekonomskega in tehnološkega vidika pomeni sistem TETRA izziv. Sodelujočim organizacijam ni potrebno graditi lastnega mobilnega omrežja, prav tako jim ni potrebno skrbeti za njihovo upravljanje, vzdrževanje in nadgradnje, kar pomeni v večini primerov znižanje stroškov nabave, obratovanja in vzdrževanja sistema.

Sistem TETRA je zasnovan tako, da omogoča prehod iz analognih profesionalnih sistemov zvez. Iz tega razloga se radijski parametri razlikujejo od parametrov sistemov zvez za javno uporabo, npr. GSM. Razmak med nosilcema TETRA znaša 25 kHz, kar omogoča direktno zamenjavo dveh analognih 12,5 kHz FM kanalov ali enega analognega 25 kHz FM kanala. Sistem odlikuje učinkovita izraba radiofrekvenčnega spektra, zanesljivost in varnost pri komuniciranju, zato je bil v sistemu TETRA izbran časovno porazdeljeni sodostop TDMA³. TDMA pristop je zelo primeren za duplexni način. RF nosilci s po štirimi časovnimi okni so razmaknjeni za 25 kHz. Vsako izmed štirih časovnih oken podpira po en uporabniški kanal. Lahko pa se vsa štiri okna istega RF nosilca uporabijo za prenos informacije do istega uporabnika, s tem se prenosna hitrost štirikrat poveča. Sistem TETRA je načrtovan za frekvenčno območje med 150 MHz (VHF) in 900 MHz (UHF). [1]

Na podlagi tretjega odstavka 39. člena zakona o telekomunikacijah bo profesionalni mobilni radio TETRA deloval v Sloveniji na frekvenci od 410 MHz do 430 MHz. Parametri radijskega vmesnika kažejo na to, da so bile pri zasnovi sistema TETRA upoštevane zahteve profesionalnih uporabnikov radijskih zvez. Še posebej je to razvidno iz značilnosti sistema

³ Time Division Multiplex Access

TETRA, ki jih ne najdemo v nobenem obstoječem digitalnem javnem sistemu mobilnih komunikacij. Te lastnosti so hiter dostop in vzpostavitev klica, širok nabor posebnih storitev, prožna arhitektura, ki omogoča prilagajanje konfiguracije sistema različnim potrebam in visoka stopnja uporabnikovega nadzora nad razpoložljivostjo virov. [1]

2.2 STANDARDI TETRA

Vodilno vlogo na področju standardizacije telekomunikacijskih sistemov v Evropi kot tudi v svetu, ima Evropski telekomunikacijski inštitut za standardizacijo ETSI⁴. Največji uspeh Evropskega telekomunikacijskega inštituta za standardizacijo je nedvomno razvoj standarda na področju javne digitalne mobilne telefonije GSM⁵, ki je postal dejansko svetovni standard. Podoben uspeh lahko pričakujemo pri uveljavitvi standarda profesionalnih digitalnih radijskih zvez TETRA. [1]

TETRA je edini evropski standard za digitalne prizemeljske snopovne komunikacije, ki ga podpirajo vodilni svetovni proizvajalci, operaterji in uporabniki PMR⁶/PAMR⁷ opreme. Celotni standard TETRA je sestavljen iz petih delov:

- ETS 300 392 — TETRA govor in podatki (V+D),
- ETS 300 392 — TETRA neposredni način delovanja (DMO),
- ETS 300 393 — TETRA paketno optimizirani podatki (PDO).

Prvi trije deli predstavljajo tri osnovne načine delovanja:

- ETS 300 395 — TETRA govorni kodek,
- ETS 300 394 — TETRA testiranje skladnosti.

Zadnja dva dela specificirata govorni kodek in testiranje skladnosti.

Ostale osnovne zahteve:

- Sistem mora biti zasnovan modularno. Modularnost omogoča njegovo postopno, izgradnjo.
- Sistem mora omogočati uporabo iste infrastrukture različnim organizacijskim uporabnikom z možnostjo vzpostavitve navideznih zaprtih omrežij znotraj sistema TETRA. Pri tem mora imeti vsaka organizacija možnost nadzora nad svojimi uporabniki in nad svojimi komunikacijami. Obstajati mora možnost komuniciranja med uporabniki iz različnih organizacij.
- Vzpostavitev skupinskega klica mora biti enostavna. Uporabnik mora za vzpostavitev skupinskega klica pritisniti samo na oddajno tipko na svoji radijski postaji.
- Čas za postavitve zveze pri skupnem klicu ne sme presegati 300ms ne glede na to, kje v območju pokrivanja sistema se člani določene skupine uporabnikov nahajajo.
- Sistem mora poleg govornih komunikacij omogočati enakovredno tudi prenos podatkov.

⁴ European Telecommunication Standard Institute

⁵ Global System for Mobile Communications

⁶ Private Mobile Radio

⁷ Public Access Mobile Radio

TETRA 2

TETRA II je nadgradnja sistema TETRA in je nastala na osnovi zahtev uporabnikov po novih storitvah in ugodnostih, ki jih obstoječi standard TETRA ne zajema. Večina omenjenih novih zahtev je pogojena s precej višjimi hitrostmi prenosa podatkov. Predvidoma bodo hitrosti prenosa podatkov približno 10-krat višje. Pri tem bo TETRA II delovala na obstoječih frekvenčnih območjih določenih za TETRO na osnovi odločitve CEPT ERC(96). [14]

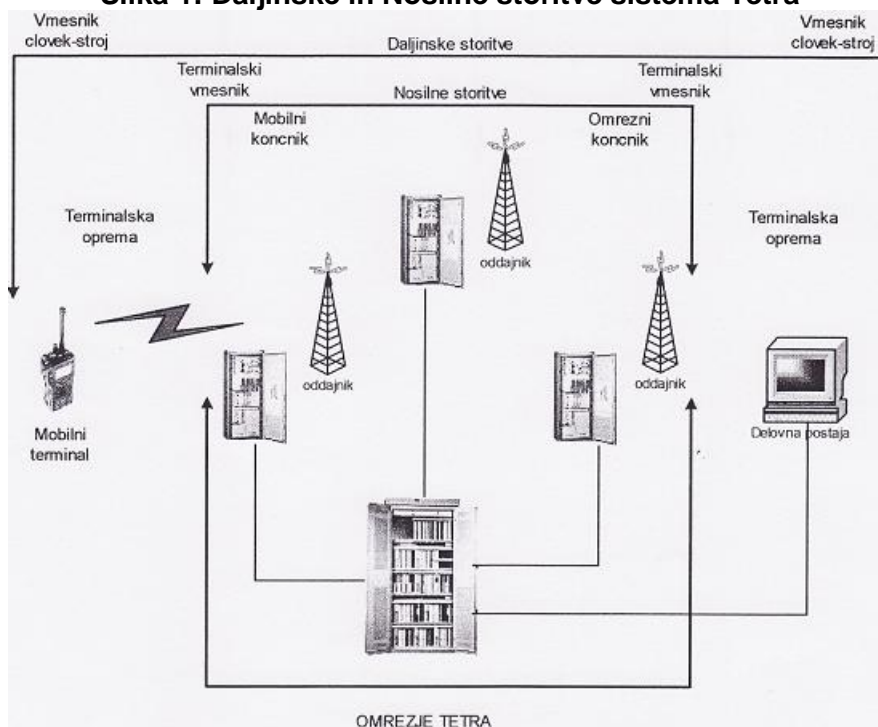
Poleg omenjenega bo TETRA II prinesla še:

- dodaten nabor vokoderjev za izboljšano medsebojno komuniciranje med TETRO in drugimi omrežji tretje generacije brez potrebe po prekodiranju in za povečano kvaliteto govornega signala.
- izboljšan radijski vmesnik, ki bo posledično omogočal optimalnejšo izrabo frekvenčnega spektra, povečano kapaciteto omrežja, povečano kvaliteto storitev, zmanjšanje velikosti in znižanje cen terminalske opreme, povečanje avtonomije delovanja prenosnih terminalov,...
- izboljšano medsebojno sodelovanje in prehajanje med omrežji TETRA in javnimi mobilnimi omrežji GSM, GPRS, UMTS in drugimi omrežji 3G/IP.
- nadaljni razvoj kartice TETRA SIM, ki bo konvergirala v USIM1. To bo omogočalo združitev specifičnih storitev TETRA ob istočasnih ugodnostih, ki jih ponuja medsebojno delovanje in prehajanje v javnih mobilnih omrežjih GSM, GPRS in UMTS.
- povečanje radijskega dosega na 120-200 km za uporabo v letalstvu za področje javne varnosti, za pomorsko uporabo, za ruralno telefonijo in za uporabo na železnicah, naftovodih ter plinovodih.
- polno združljivost z obstoječimi standardi TETRA in integracijo novih storitev v obstoječe standarde. S tem bo zagotovljeno zavarovanje investicij uporabnikov TETRA.

2.3 STORITVE SISTEMA TETRA

TETRA omogoča storitve, ki se delijo na nosilne (bearer services) in daljinske storitve (teleservices). Nosilne storitve omogočajo prenos informacij med uporabniškimi vmesniki omrežja TETRA na spodnjih treh slojih OSI in izključujejo funkcije terminalne opreme. Daljinska storitev pa k osnovnim storitvam dodaja tudi funkcionalnost terminalne opreme in tako vključuje tudi višje sloje OSI. Ta koncept je prikazan na spodnji sliki:

Slika 1: Daljinske in Nosilne storitve sistema Tetra



VIR: P. Böhm (2005, stran 11)

2.3.1 Nosilne Storitve

Nosilne storitve v sistemu TETRA se nanašajo na prenos podatkov in so: [1]

- podatkovna storitev vodovne zvrsti brez zavarovanja prenosa podatkov (7,2/14,4/21,6/28,8 kbit/s),
- podatkovna storitev vodovne zvrsti z nizko stopnjo zavarovanja prenosa podatkov (4,8/9,2/14,4/19,2 kbit/s),
- podatkovna storitev vodovne zvrsti z visoko stopnjo zavarovanja prenosa podatkov (2,4/4,8/7,2/9,6 kbit/s),
- povezavno orientiran prenos podatkov,
- nepovezavno orientiran prenos paketiranih podatkov.

Daljinske storitve:

- individualni klic (Individual Call),
- skupinski klic (Group Call),
- skupinski klic s potrditvijo (Acknowledged Group Call),
- razpršeni klic (Broadcast Call).

2.3.2 Dopolnilne Storitve

Zraven naštetih storitev standard TETRA določa tudi večje število dopolnilnih storitev, ki modificirajo ali dopolnjujejo zgoraj naštetite storitve. Dopolnilne storitve se delijo na:

- profesionalne dopolnilne storitve
 - klic, ki ga je odobril dispečer (Call Authorised by Dispatcher, CAD),
 - izbira področja (Area Selection AS),
 - dostopovna prioriteta (Access Priority, AP),

- prednostni klici (Priority Call, PC),
- klic v sili (Pre-emptive Priority Call, PPC),
- naknadni vstop v zvezo (Late Entry, LE),
- dopolnilne storitve telefonskega tipa
 - identifikacija kličočega (Connected Line Identification Present, CLIP),
 - omejitev identifikacija kličočega (Connected Line Identification Restriction, CLIR),
 - poročilo o klicu (Call Report),
 - identifikacija govorečega (Talking Party Identification, TPI),
 - čakajoči klic (Call Waiting, CW),
 - zadrževanje klica (Call Hold, CH),
 - podaja klica, ko uporabnik ni dosegljiv (Call Forward on Subscriber Not Reachable, CFSNR),
 - podaja klica, ko ni odziva (Call Forward on No Reply, CFNR),
 - obvestilo o stroških (Advice of Charge, AOC),
 - prenos krmiljenja (Transfer of Control, TC),
 - vključitev klicev (Include Call, IC),
 - ohranitev klica (Call Retention, CR).

2.4 PRENOS PODATKOV V SISTEMU TETRA

Tetra podpira nekaj različnih načinov prenosa podatkov, kar omogoča uporabo za razne podatkovne aplikacije. Preko komunikacijskega kanala je možen vodovno komutiran (circued switched) ali paketni prenos podatkov, pri čemer je podprta tudi uporaba IP protokola. V ta namen je v standardu določen vmesnik PEI⁸ za povezavo med terminalom TETRA in podatkovno opremo. To je standardni asinhroni serijski vmesnik, neposredno povezljiv s serijskimi vrati COM osebnega računalnika. [2]

Slika 2: prikazuje dosegljive hitrosti prenosa podatkov

Raven zaščite pred napakami	Hitrost prenosa podatkov [kb/s]
Brez zaščite	7,2
Normalen	4,8
Visok	2,4

Preglednica 1. Hitrosti podatkovnega prenosa v sistemu TETRA za en komunikacijski kanal
 Table 1. TETRA data transmission speed for a single communication channel

VIR: Ujma (2009, str. 3)

Standard TETRA predvideva tri načine delovanja:

- snopovni (Trunked Voice and Data, V+D) - v tem načinu so predvidene naslednje storitve: mešan prenos govora in podatkov, dispečerske storitve, skupinski klic in statusna sporočila. Prenos podatkov je mogoča vodovni ali na paketni način.
- konvencionalni (Direct mode, DMO) - v tem načinu je mogoča neposredna komunikacija med mobilnimi terminali. Možna je tudi navezava na TETRA omrežje preko vmesnika. V tem načinu je na voljo le omejen nabor storitev.

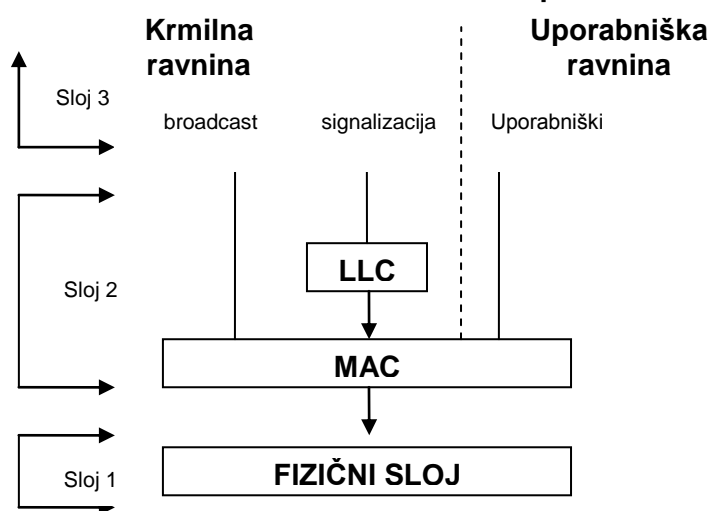
⁸ Peripheral Equipment Interface

- samo prenos podatkov (Packet Data Optimised, PDO) - ta način prenosa je optimiran za prenos podatkov. Odzivni čas je v tem primeru precej krajši kot pri običajnem prenosu podatkov. [1]

Vsak od načinov delovanja omogoča določen nabor storitev. Največji nabor storitev omogoča način delovanja V+D. Podatki se prenašajo s pomočjo prometnih kanalov. Prometni kanal je eden od številnih logičnih kanalov v sistemu TETRA. Prenosni mehanizem za logične kanale je zagotovljen s fizičnimi kanali. Posamezni fizični kanal lahko z multipleksiranjem souporablja več logičnih kanalov. Hierarhija logičnih kanalov je sorazmerno zapletena in je preslikana na fizični sloj OSI referenčnega modela na več načinov.

Naloga drugega sloja referenčnega modela OSI je zagotovitev zanesljive povezave preko fizičnega sloja, med tretjim slojem sprejemnika in oddajnika. V mobilnih radijskih sistemih pa namenske povezave med mrežnima slojema sprejemne in oddajne strani ni. Zato mora to vlogo prevzeti drugi sloj. V ta namen se drugi sloj deli na podsloj za krmiljenje logične povezave (LLC⁹) in na podsloj za krmiljenje dostopa do prenosnega medija (MAC¹⁰). Podsloj LLC sodeluje s tretjim slojem in skrbi za zanesljivo povezavo, medtem ko podsloj MAC zagotavlja potrebne komunikacijske vire. Podsloj LLC in MAC sta ločena od uporabniških podatkov in se tudi prenašata preko radijskega kanala. Zato se informacije s katerimi ima opraviti drugi sloj delijo na krmilno in uporabniško ravnino, kot je razvidno s spodnje slike. [1]

Slika 3: Razdelitev modela OSI na krmilno in uporabniško ravnino



VIR: P. Böhm (2005, stran 14)

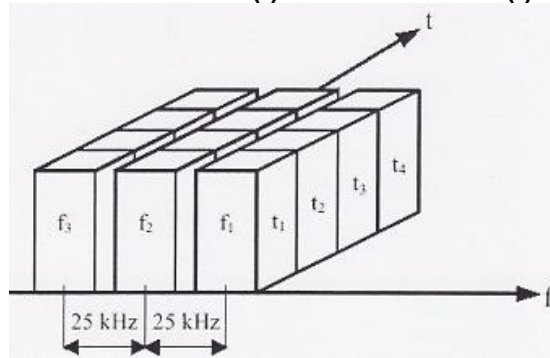
2.4.1 Tetra V+D

Snopovni način delovanja omogoča sočasni prenos govora in podatkov z vodovno komutacijo. V tem načinu delovanja je vsakemu viru za čas klica stalno dodeljen prometni kanal, ne glede na to ali v določenem trenutku potreba za prenosom obstaja ali ne. Vsak nosilec v sistemu TETRA V+D vsebuje štiri časovne reže, ki predstavljajo fizične kanale, kot prikazuje spodnja slika. Te fizične kanale si medsebojno delijo logični kanali, ki lahko prenašajo promet ali signalizacijo. [1]

⁹ Logical Link Control

¹⁰ Medium Access Protocol

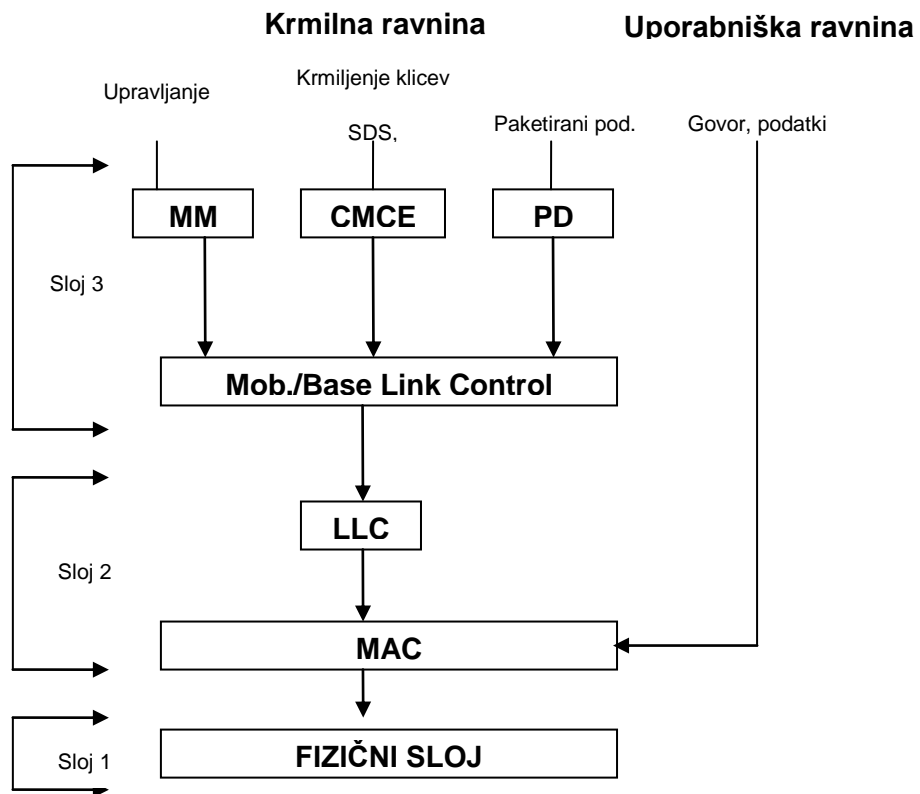
Slika 4: Nosilci (f) in fizični kanali (t)



VIR: P. Böhm (2005, stran 15)

Na spodnji sliki se nahaja shema protokolnega sklada radijskega vmesnika za način delovanja V+D.

Slika 5: Protokolni sklad radijskega vmesnika v načinu delovanja V+D



VIR: P. Böhm (2005, stran 15)

V načinu delovanja V+D so na voljo tri vrste podatkovnih storitev:

- storitev kratkih sporočil (Short Data Service, SDS),
- podatkovna storitev vodovne zvrsti (Circuit Mode Data, CMD),
- podatkovna storitev prenosa paketnih podatkov (Pocket Data, PD).

Storitev kratkih sporočil

Kratka sporočila se prenašajo po krmilnem kanalu, sočasno s prenosom govora ali podatkov na prometnem kanalu. Hitrost prenosa podatkov znaša 4800 bit/s. [1]

Kratka sporočila se delijo na:

- **statuse** – statusi so numerične kode z vnaprej dogovorjenim pomenom. Uporabljajo se za obveščanje o rutinskih opravilih, njihova uporaba zmanjšuje zasedenost sistema.

Statusi imajo dolžino 16 bitov, število statusov tako znaša 65.535. Polovica vseh statusov je namenjena sistemski uporabi, druga polovica pa je na voljo uporabnikom:

- sporočila tipa SDS1 – dolžina 16 bitov, vse vrednosti so na voljo za uporabo,
- sporočila tipa SDS2 – dolžine 32 bitov, vse vrednosti so na voljo za uporabo,
- sporočila tipa SDS3 – dolžine 64 bitov, vse vrednosti so na voljo za uporabo,
- sporočila tipa SDS4 – spremenljiva dolžina a največ 2047 bitov, vsebino določa uporabnik.

Vsa kratka sporočila se lahko pošiljajo posameznikom ali skupinam uporabnikom. Storitve kratkih sporočil ne omogoča potrditve o sprejemu sporočila. Izjema je le izpeljanka sporočil tipa SDS4, ki se imenuje SDS-TL¹¹. Ta storitev je del transportnega sloja storitve SDS. Sestavljajo jo nabor aplikacijskih protokolov, ki uporabljajo SDS4 za prenos alfanumeričnih sporočil (teksta), za GPS¹², WAP¹³, WCMP¹⁴ itd. [1]

Storitev SDS –TL omogoča pošiljatelju samodejno potrditev sprejema sporočila s strani prejemnika sporočila. Storitev temelji na tekstovnem protokolu. SDS – TL, omogoča prenos potrditve o prejemu sporočila med virom in ponorom. Negativna potrditev lahko pride tudi s strani centrale TETRA, npr. v primeru, da prejemnik sporočila ni registriran ali je izven dosega sistema. Potrditev o prejemu sporočila je koristna tudi v primeru, da pošiljatelj želi preveriti dosegljivost prejemnika. Tako je lahko pošiljatelj obveščen, da je pomnilnik radijske postaje prejemnika sporočila poln.

V zglavju sporočila SDS - TL se poleg samega sporočila nahajajo še dodatne informacije, ki vsebujejo:

- Identifikacijsko številko protokola (ta pove kateri protokol se naj uporablja, npr. številka protokola, ki se nanaša na »tekstovno sporočilo« pomeni tekstovno sporočilo s potrditvijo. Številka protokola, ki se nanaša na »enostavno tekstovno sporočilo« pomeni tekstovno sporočilo brez zahteve po potrditvi).
- Tip sporočila (SDS - transfer pomeni, da je poslano sporočilo tekstovno sporočilo, SDS - report pomeni, da je poslano sporočilo za potrditev).
- Poročilo o zahtevi po dostavi sporočila (možni vrednosti sta »sporočilo o dostavi ni zahtevano« in »poročilo o dostavi je zahtevano«).
- Izbira storitve (pove ali je sporočilo dovoljeno poslati na skupinski naslov. Če je izbira storitve nastavljena na »individualno storitev«, končni naslov pa je skupinski, lahko centrala TETRA prenos sporočila zavrne).

Podatkovna storitev vodovne zvrsti

Pri tej vrsti podatkovne storitve se vzpostavi povezava med dvema točkama. Prenos podatkov po tej povezavi je lahko nezavarovan ali zavarovan z višjo ali nižjo stopnjo zavarovanja. Zavarovanje je mišljeno v smislu zanesljivosti, da se bodo podatki prenesli brez napak. Standard TETRA V+D omogoča dinamično dodeljevanje virov (časovnih rež ali fizičnih kanalov) v odvisnosti od potreb po prenosu podatkov. Hitrost prenosa podatkov v odvisnosti od števila za prenos namenjenih in v odvisnosti od stopnje zavarovanja prenosa

¹¹ Short Data Service - Transport Layer

¹² Global Positioning System

¹³ Wireless Application Protocol

¹⁴ Wireless Control Message Protocol

podatkov se nahaja v naslednji tabeli:

Tabela 2: Hitrost prenosa podatkov pri storitvi vodovne zvrsti

	Hitrosti prenosa podatkov (kbit/s)			
Število časovnih rež	1	2	3	4
Nezavarovano	7,2	14,4	21,6	28,2
Nizka stopnja zavarovanja	4,8	9,6	14,4	19,2
Visoka stopnja zavarovanja	2,4	4,8	7,2	9,6

VIR: P. Böhm (2005, stran 17)

Podatkovna storitev prenosa paketnih podatkov

Prenos paketnih podatkov je lahko organiziran na dva načina:

- Povezano (Connection Oriented Network Service, CONS). V tem primeru se vzpostavi virtualna povezava med oddajnim in sprejemnim terminalom, ki je potrebna za prenos podatkov po protokolu X.25.
- Nepovezano (Specific Connection Network Service, SCLNS). Ta način prenosa paketnih podatkov pošilja posamezne pakete med oddajnim in enim ali več sprejemnimi terminali brez vzpostavitve virtualne povezave.

Najnovejše verzije TETRA sistema pa uporabljajo poleg navedenih načinov prenosa paketnih podatkov tudi TETRA PD (Packet Data), ki sloni na uporabi protokola IP. Razlogi zakaj je smiselna uporaba protokola IP in ne protokolov X.25 in SCLNS, so naslednji: [1]

- Protokol IP omogoča izvedbo večine uporabniških aplikacij.
- Protokol IP je protokol mrežnega sloja popularne družine protokolov TCP/IP, ki je najpogosteje uporabljena v lokalnih in prostranih računalniških omrežjih.
- Protokol X.25 se v glavnem uporablja samo v javnih podatkovnih omrežjih s paketno komutacijo. Direktne povezave z gostiteljskimi računalniki so redke.
- Protokol SCLNS je interni TETRA protokol, zato ni širše poznan in je slabo podprt s strani razvijalcev aplikacij.

Za naslednjo generacijo TETRA (verzija 2) zasnovan standard TEDS¹⁵, ki preko radijskega kanala širine 25kHz omogoča večje hitrosti. [1]

2.4.2 Tetra DMO

TETRA izhaja iz sistemov PMR. Osnovna značilnost sistemov PMR, ki je povečini ostala nespremenjena vse do današnjih dni, je konvencionalni način delovanja. To pomeni namenske radijske kanale za komunikacijo, ki jih radijski uporabniki na svojih radijskih postajah izbirajo ročno. Razvoj je v 80.letih prinesel snopovni način delovanja, ki je omogočal avtomatsko izbiro radijskih kanalov. Sistemi PMR so s tem postali uporabni tudi v komercialne namene - PAMR, povečana prodaja je prinesla pocenitev opreme.

Kljub temu se takratni snopovni sistemi radijskih zvez med uporabniki s področja javne varnosti niso razširili. Razlog za to je bil v dejstvu, da komuniciranje izven področja pokrivanja sistema z radijskim signalom ni bilo možno. Dodaten razlog je bil tudi sorazmerno

¹⁵ TETRA Enhanced Data Services

dolg čas vzpostavitve zveze, ki je bil posledica počasne signalizacije.

S prihodom TETRE se je navedeno radikalno spremenilo, saj je TETRA digitalna tehnologija, ki poleg avtomatske izbire kanalov in učinkovite izrabe frekvenčnega spektra v načinu delovanja V+D, ohranja z načinom delovanja DMO tudi prednosti konvencionalnega načina komuniciranja. Pri tem sta oba načina delovanja TETRA možna z uporabo iste radijske postaje. Dodatno, k temu je standardizirano tudi medsebojno delovanja načinov V+D in DMO. Navedeno omogoča vsem profesionalnim uporabnikom veliko prožnost pri izbiri načina opravljanja zahtevnih operativnih nalog. [2]

Na naslednji sliki se nahaja protokolni sklad radijskega vmesnika neposrednega načina delovanja.



VIR: P. Böhm (2005, stran 19)

Vsebovane storitve so:

- klic v sili,
- identifikacija,
- kasnejši vstop.

Poleg prenosa govora TETRA DMO omogoča v primerjavi z načinom delovanja V+D omejene podatkovne storitve med katerimi ni prenosa paketnih podatkov. Prenosne hitrosti direktnega načina so manjše, ker uporabljamo samo eno časovno okno namesto štirih. Temu sledijo hitrosti 2,4/4,8/7,2 kbit/s za visok, nizek in nezavaran prenos, ki so enake hitrosti prvemu časovnemu oknu v prenosu V+D. Storitve sporočil (SDS) je popolnoma enaka kot v načinu V+D.

Osnovni način delovanja DMO

Osnovni način delovanja je najenostavnejši (simpleks, back-to-back) in poteka neposredno med dvema ali več terminali mimo omrežja TETRA.

Doseg je odvisen od moči oddajnika radijskih postaj in od konfiguracije terena, v povprečju znaša od nekaj 100 m do nekaj km. Za povečanje dosega obstaja več načinov, ki so opisani v nadaljevanju.

Radijska postaja v načinu delovanja Dual Watch

Radijska postaja v načinu delovanja Dual Watch lahko hkrati deluje v načinu delovanja V+D in DMO in s tem omogoča tako komunikacijo s postajami v načinu delovanja DMO, kot tudi ohranjanje zveze z matičnim omrežjem. [14]

Radijska postaja v načinu delovanja Dual Watch se lahko nahaja v enem od spodaj naštetih stani:

- stanje pripravljenosti v katerem izmenično posluša kontrolni kanal omrežja TETRA in izbrani kanal DMO
- komuniciranje z drugo postajo v načinu DMO in hkrati poslušanje kontrolnega kanala omrežja TETRA brez prekinjanja neposrednega načina delovanja
- komuniciranje z matičnim omrežjem TETRA ob sočasnem poslušanju izbranega kanala DMO brez prekinjanja komuniciranja z omrežjem TETRA

Repetitor DMO

Repetitor DMO sprejema informacije od oddajnega terminala preko ene časovne reže (uplink timeslot) in jih sprejemnemu terminalu, ali terminalom, pošilja preko druge časovne reže (downlink timeslot). Pri tem repetitor signal tudi regenerira

Standard določa tri različne tipe repetitorjev:

- tip 1A omogoča en sočasen klic na isti frekvenci za oddajo in sprejem
- tip 1B omogoča en sočasen klic na dveh različnih frekvencah za oddajo in sprejem
- tip 2 omogoča dva sočasna klica na dveh različnih frekvencah za oddajo in sprejem

Prehod DMO

Prehod DMO omogoča medsebojno povezavo obeh načinov delovanja. Informacije sprejete iz omrežja TETRA se posredujejo radijskim postajam v načinu delovanja DMO in obratno. Prehod pri tem opravlja ustrezno pretvorbo protokolov.

Repetitor / prehod DMO

V tem primeru gre za kombinacijo repetitorja in prehoda v eni napravi.

Upravljeni način DMO

Poleg omenjenih načinov delovanja DMO je v pripravi tudi standard (ETSI EN 300 396-10 V1.1.1 (2000-12) Draft) za upravljani način DMO, M-DMO1. Način M-DMO omogoča nadzor uporabe DMO s pomočjo mehanizmov, ki omogočajo uporabo frekvenc za neposredni način delovanja samo za določen čas. Namen načina M-DMO je omejiti oddajo terminalov M-DMO na geografskih območjih, kjer nimajo dovoljenja za oddajo. [14]

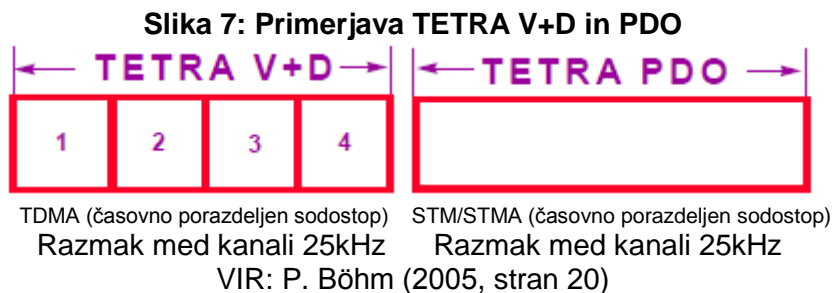
Prednosti načina DMO in uporaba

Neposredni način delovanja omogoča:

- **komuniciranje na območjih izven pokrivanja infrastrukture TETRA**
V primeru npr. nesreče, ki se je zgodila izven pokrivanja omrežja TETRA, lahko vsaka pristojna služba na mestu nesreče nemoteno komunicira. Z ustreznim frekvenčnim načrtovanjem se lahko zagotovijo tudi frekvenčni kanali namenjeni za medsebojno komunikacijo med službami.
- **komuniciranje na slabše pokritih predelih znotraj območja pokrivanja**
V urbanih okoljih je običajno v podzemnih garažah, tunelih, ipd., pokritost z radijskim signalom slabša. V primerih, ki zahtevajo nujno posredovanje na teh lokacijah, je neposredni način delovanja edina možnost za komuniciranje na teh območjih.
- **razširitev pokrivanja na slabo pokrita območja**
Z uporabo prehodov se lahko področje pokrivanja sistema TETRA razširi na območja s slabšo pokritostjo s signalom matičnega omrežja. Prehod v tem primeru posreduje sporočila med sistemom TETRA in radijskimi postajami v neposrednem načinu delovanja.
- **rezervni način delovanja v primeru izpada omrežja TETRA**
- **uporabo v posebnih primerih znotraj območja pokrivanja**
Ti primeri zajemajo lokalno omejene dejavnosti kot so spremljanje nevarnih tovorov, varovanje pomembnih oseb, ipd., kjer je pomembna tajnost in kjer delovanje preko omrežja TETRA ni zaželeno iz različnih razlogov. [14]

2.4.3 Tetra PDO

Ta način delovanja je namenjen samo prenosu paketnih podatkov. Radijski vmesnik se v tem načinu delovanja bistveno razlikuje od ostalih dveh načinov delovanja. Glavna razlika je v načinu dostopanja do prenosnega medija, ki je v primeru PDO zasnovan na statičnem multipleksiranju. Primerjava obeh sistemov je prikazana na spodnji sliki. [2]



Obema načinoma delovanja je skupna modulacija $\pi/4$ DQPSK, kanalski razmak 25 kHz in podatkovne hitrost nosilca 36 kbit/s. Medtem, ko v TETRA V+D omogoča 4 sočasne storitve na enem nosilcu, TETRA PDO na enem nosilcu omogoča prenos paketnih podatkov z največjo skupno hitrostjo 36 kbit/s.

V praksi sistemov in opreme, ki bi delovala v načinu PDO ni. Prav tako nihče od proizvajalcev ne predvideva proizvodnje ustrezne opreme za način delovanja, čeprav je TETRA PDO standardizirana. Razlog je v tem, da sta v času nastajanja standarda TETRA PDO skokovit razvoj doživela javna mobilna telefonija GSM in internetne storitve. S tem so se povečale potrebe po večjih prenosnih hitrostih paketnih podatkov, ki pa še jih zaenkrat TETRA PDO ni zmogla. [2]

2.4.4 TETRA Enhanced Data Service (TEDS)

TEDS je nova TETRA High Speed Data (HSD) storitev z uporabo različnih RF kanalov pasovne širine in hitrosti prenosa podatkov za prilagodljivo uporabo frekvenčnih pasov PMR. TEDS je popolnoma združljiva s TETRA verzijo1 in omogoča lažje migracije. Ta je optimizirana za učinkovito rabo frekvenčnih pasov PMR in je oblikovana za vse tržne TETRA aplikacije. Pasovne širine RF kanala, podprte v TEDS so: [3]

- 25 kHz
- 50 kHz
- 100 kHz
- 150 kHz

Modulacije v TEDS so:

- $\pi/4$ DQPSK (za skupen kanalni nadzor TETRA V+D ter TEDS)
- $\pi/8$ D8PSK (za zgodnje migracije, ki zahtevajo zmerno povečanje hitrosti)
- 4 QAM (za učinkovitejše povezave na robu pokritosti)
- 16 QAM (za srednje hitrosti)
- 64 QAM (za večje hitrosti)

Slika 8: je matrika, ki prikazuje različne pasovne širine RF kanalov in hitrosti prenosa podatkov, podprte v TEDS

Packet Data Throughput (Downlink kbits/s)

Channel Type Modulation	25 kHz	50 kHz	100 kHz	150 kHz
$\pi/4$ DQPSK	15.6			
$\pi/8$ D8PSK	24.3			
4-QAM	11	27	58	90
16-QAM	22	54	116	179
64-QAM	33	80	175	269
64-QAM	44	107	233	359
64-QAM	66	160	349	538

Note: All channels are 4 slots

VIR: <http://www.google.si/images>

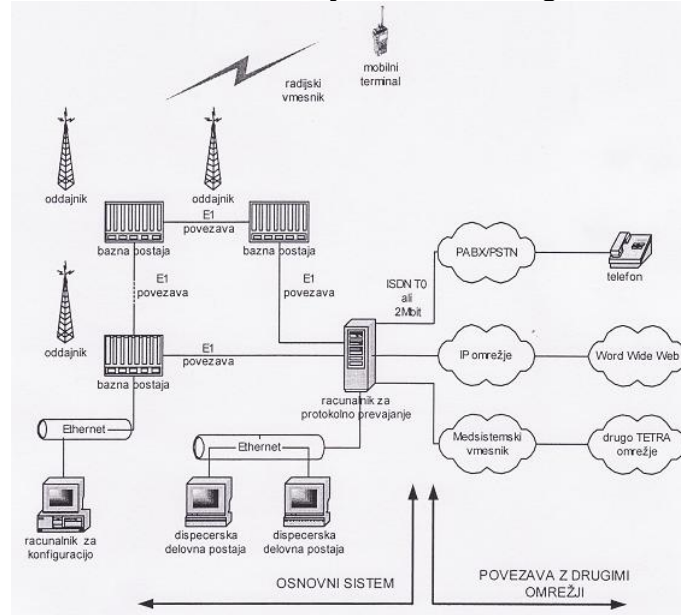
2.5 POVEZAVA OMREŽJA TETRA Z DRUGIMI OMREŽJI

Omrežje TETRA se lahko poveže z drugimi omrežji preko računalnika za protokolno prevajanje. Dodatna nova omrežja so lahko:

- ISDN/PSTN omrežje,
- druga TETRA omrežja,
- IP omrežje.

Z novimi omrežji dobimo tudi nove storitve, ki povečajo fleksibilnost sistema TETRA.

Slika 9: Povezava omrežja TETRA z drugimi omrežji



VIR: P. Böhm (2005, stran 22)

2.5.1 Medsistemski Vmesnik

Mobilnim uporabnikom je potrebno zagotoviti nemoteno prehajanje ne le iz območja ene bazne postaje v drugo (handover), ampak tudi prehajanje iz enega TETRA sistema v drugega. Usklajevanje med omrežjema in zveznost prehoda omogočata medsistemski vmesnik ISI¹⁶. [1]

Naloge, ki jih opravlja upravljalec mobilnosti so naslednje:

- prijava (registration) in odjava uporabnika omrežja,
- pripetje (attachment) in odpetje skupine,
- povezava (linking) in razvezava skupine,
- avtentifikacija,
- ažuriranje individualnega in skupinskega sistema,
- obnovitev podatkovne zbirke.

Pri prehodih iz enega omrežja v drugo omrežje izvaja kontrolo klica vedno domača infrastruktura za upravljanje komutacije, ne glede na to ali je uporabnik na njenem območju ali ne. To velja tudi za skupinske klice.

2.5.2 PSTN in ISDN Vmesnik

Vmesnik PSTN¹⁷ omogoča, da TETRA uporabnik lahko vzpostavi zvezo z naročnikom v javnem telefonskem omrežju PSTN in obratno, da lahko PSTN naročnik pokliče TETRA uporabnika (standard ETS 300 392 41). Vmesnik omogoča, da postane TETRA omrežje del PSTN omrežja. Pri tem je v TETRA sistemu na razpolago del nabora dopolnilnih telefonskih storitev.

Podobne ugotovitve veljajo za ISDN¹⁸ omrežje. V tem primeru je kompatibilnost obeh

¹⁶ Inter System Interface

¹⁷ Public Switched Telephone Network

¹⁸ Integrated Switched Digital Network

sistemov večja saj je signalizacija v TETRA sistemu izpeljana iz SS7¹⁹, ki se uporablja tudi v ISDN sistemu (standard ETS 300 392 42). [1]

2.5.3 IP omrežje

IP omrežje s prenosom paketnih podatkov je določen v standardu ETSI ETS 300 392-2 Voice + Data št.2: zračni vmesnik (AI) v 28. členu. Ta člen določa le prenos podatkov preko radijskega vmesnika in ne predpisuje načina prenosa preko mrežne infrastrukture TETRA. IP omrežje deluje na nivoju tretjega sloja OSI modela in služi za povezovanje med različnimi omrežji. Protokolni prevajalnik paketnega prenosa (PDG²⁰) je del računalnika za protokolno prevajanje. Omogoča nam povezavo med TETRA sistemom in zunanjim IP omrežjem. Omrežje TETRA, ki je opremljeno za paketni prenos podatkov, predstavlja po protokolu IP z vidika uporabnika podomrežje IP. Podomrežje IP je del omrežja, ki je lahko fizično neodvisen mrežni segment. Skupaj z ostalimi deli omrežja si deli mrežni naslov – podomrežno številko IP. Podomrežje IP sistema TETRA ima lahko en prehod PDG, preko katerega se povezuje na druga podomrežja IP in tako postane del intraneta ali interneta. Veliko omrežje TETRA se lahko deli v številna podomrežja, ki so medsebojno povezana preko prehodov PDG. Za dostop do omrežja uporablja TETRA IP naslov razreda B, po protokolu IPv4²¹. Na IP omrežje lahko priključimo tudi podatkovni strežnik in ga uporabljamo za vnos podatkov, ki jih lahko kasneje obdelamo in za branje predhodno vnesenih podatkov. Hitrosti s katerimi lahko uporabnika terminalov prenašajo podatke so od 2,4 Kbit/s do 7,2 Kbit/s, 500 Kbit/s pa je prenos v omrežju E1. [1]

2.5.4 Opis delovanja prenosa paketnih podatkov

Za primer vzemimo, da imamo osebni računalnik povezan z radijsko postajo. Na osebнем računalniku teče aplikacija za iskanje po podatkovni bazi, ki se nahaja na podatkovnem strežniku. Aplikacija na osebнем računalniku pošlje preko radijske postaje zahtevo za podatke v obliki datagrama IP, ki potuje preko omrežja TETRA in prehoda PDG do zunanjega gostitelja - strežnika s podatki.

Da lahko v omrežje IP pošljemo datagram IP, mora imeti osebni računalnik veljaven naslov IP. Ta se v našem primeru dinamično dodeli pred oddajo datagrama po dogovoru med mrežno programsko opremo v osebнем računalniku in omrežjem TETRA. Po oddaji datagrama z zahtevo po podatkih, čaka osebni računalnik na odgovor zunanjega podatkovnega strežnika. Ko odgovor pride do prehoda PDG, le-ta usmeri odgovor do radijske postaje, to pa naprej do osebnega računalnika. Sistem TETRA na nivoju radijskega vmesnika uporablja za usmerjanje datagrama identifikacijsko številko radijske postaje (ITSI). Da odgovor lahko pride do ustrezne radijske postaje, mora sistem vedeti, katera identifikacijska številka radijske postaje ustreza naslovu IP, s katerega je prišla zahteva za prenos podatkov. Prav tako mora sistem vedeti, v kateri celici se nahaja radijska postaja, kateri so namenjeni podatki. [1]

¹⁹ Signalling System 7

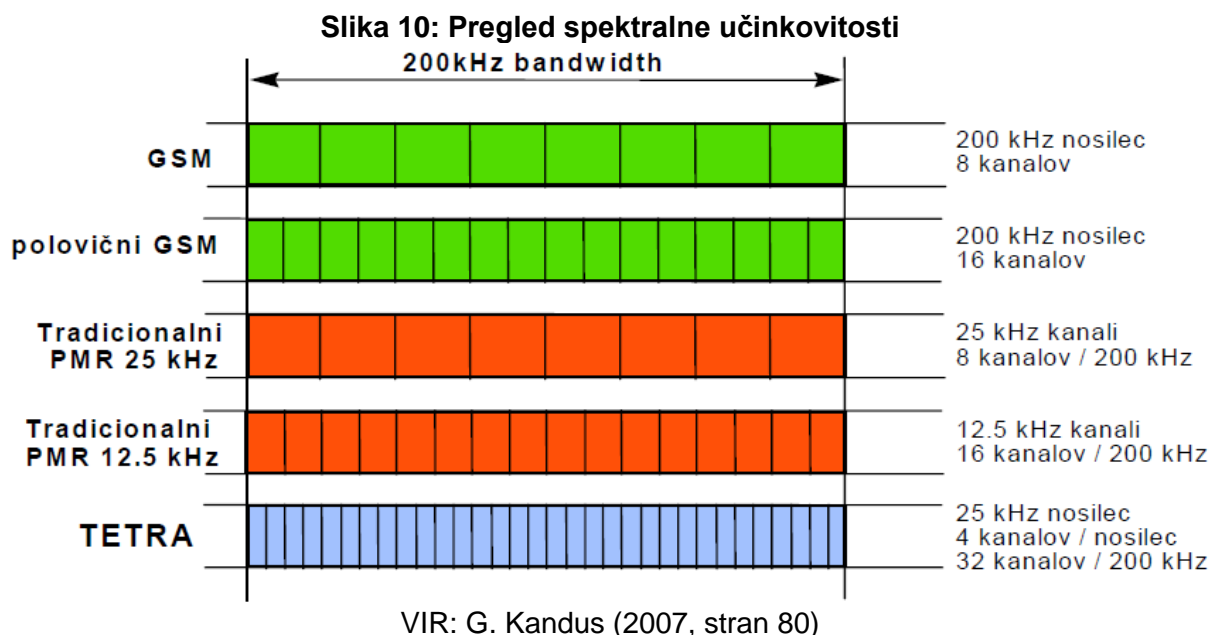
²⁰ Packet Data Gateway

²¹ Internet Protocol v4

3. PRIMERJAVA TETRA IN GSM OMREŽJA

GSM in TETRA sta komplementarni tehnologiji, saj tipični PMR uporabniki potrebujejo storitve, ki jih GSM ne more kakovostno zagotoviti. Seveda velja tudi obratno. TETRA ni uporabna za javno mobilno telefonijo, ki temelji na individualnih komunikacijah, ponuja vrsto dodatnih storitev (elektronska tajnica, omogoča visoko zmogljivost sistema...). To bi bila prehuda obremenitev za sistem TETRA.

Glavne prednosti TETRA tehnologije so: skupinske komunikacije (zveza že ob pritisku na eno tipko), dispečerske komunikacije (neposreden način zveze DMO), nujni in prioritetni klic, dodatno zaščitene komunikacije, visoka razpoložljivost sistema, zlasti v kritičnih trenutkih (blokirani klici, shranjeni v spominu), učinkovita raba frekvenčnega spektra. [4]



Druge slabosti sistema GSM za uporabnike PMR:

- nima možnosti delovanja komunikacije dveh ali več terminalskih naprav zunaj infrastrukture - direktni način,
- čas vzpostavitve zveze je prevelik (približno 10s),
- pomanjkljiv dostop do sistema v primeru naravnih nesreč in katastrof, ko pride do preobremenitev omrežja. Zato je potrebna sistemska določitev prioritete uporabnikov, kar je omogočeno v TETRA sistemu s pomočjo dispečerja,
- visoki stroški naročnine in pogovorov za vsako radijsko terminalsko napravo,
- skupinski dostop zahteva predhodno proceduro izbiranja,
- nima možnosti formiranja zaprte skupine uporabnikov, v katerem vsak udeleženec sliši vsakega - odprti kanal.

Sistem TETRA omogoča še nekaj funkcij, ki pa jih GSM sistem ne omogoča. To so:

- združevanje radijskih kanalov v primeru potreb po prenosu podatkov,
- dual watch ali dvojno gledanje, kar omogoča, da lahko komuniciramo kot gost neke skupine in smo še vedno dosegljivi za matično uporabniško skupino,
- funkcija gateway, ki omogoča da avtomobilski terminal prevzame funkcijo repetitorja in s tem razširi področje pokrivanja, * TETRA omogoča daljinsko blokado terminalov in programiranje.

Iz navedenega vidimo, da ima tehnologija GSM za profesionalno uporabo preveč pomanjkljivosti. Smiselno pa ga je uporabljati, kot dopolnilo k radijskemu sistemu policije. Prepričljiva je tudi spektralna učinkovitost TETRA sistema, ki je štirikrat boljša od GSM sistema. [4]

Tehnični podatki:

Tabela 3: Tehnični podatki TETRA in GSM

	TETRA	GSM (osnovna izvedba)
Frekvenca	okoli 400 Mhz	okoli 900 in 1800 Mhz
Pasovna širina nosilca	25 kHz	200 kHz
Št. kanalov/nosilec	4	8
Radijski dostop	TDMA	TDMA
Čas vzpostavitve zveze	< 1s (običajno 0.3s)	< 10s (običajno nekaj sekund)
Bruto bitna podatkovna hitrost na Hz	1.44 bit/Hz (36 kbit/s na 25 kHz pasovne širine)	1.35 bit/Hz (270 kbit/s na 200 kHz pasovne širine)
Skupinski klici	da	ne, (GSM-PRO trenutno omogoča največ 16 uporabnikov v skupini)
SIM kartica	opcija	da
Bitni pretok govora	4.567 kbit/s (ACELP)	13.0 kbit/s (RPE/LPC)
Statusna sporočila	da	ne
Kratka podatkovna sporočila	da (do 256 znakov)	da (do 160 znakov)
Vodovni način prenosa podatkov	da (do 28.8 kbit/s)	da (do 9.6 kbit/s)
Paketni način prenosa podatkov	da	ne, (GPRS da)
Periferni podatkovni vmesnik	da (PEI)	da
Neposredni način komunikacije (DMO)	da	ne
Enkripcija konec – konec	da	ne
Velikost celice	prostrana (do 60 km)	majhna ali srednje velika

VIR: G. Kandus (2007, stran 80)

Tabela 4: Primerjava hitrosti

	GSM	HSCSD	GPRS
Komutacija	vodovna	vodovna	paketna
Aplikacije	aplikacije v realnem času	aplikacije v realnem času	rafalni prenosi
Hitrost	9.6 kbit/s	57.6 kbit/s	115.0 kbit/s
Hitrost (realna)	9.6 kbit/s	40.0 kbit/s	50.0 kbit/s

VIR: G. Kandus (2007, stran 80)

4. TETRA PREKO SATELITA

Potreba za komunikacijo med različnimi neodvisnimi Professional Mobile Radio (PMR) omrežji je bila zahteva že več let. To še posebej velja za javno varnost in sorodne organizacije pri reševanju večjih incidentov. Vseevropski TETRA standard je pomemben korak k interoperabilni komunikacijski opremi na področju storitev v sili. TETRA omrežje mora omogočati tesnejše sodelovanje med policijo, gasilci, reševalnimi vozili, vojsko, mejnimi varnostnimi silami in drugimi. TETRA omogoča zelo hiter vzpostavljeni klic čas (300ms), kar je bistvenega pomena za javno varnost in sistem klicev v sili. Satelitske komunikacije, katere že po svoji naravi zagotavljajo pokritost na širšem območju, lahko igrajo pomembno vlogo pri povezovanju TETRA omrežij. Satelitska povezava se lahko uporabi za podporo katerega koli vmesnika v omrežju TETRA. Trenutno številni koncepti vključujejo pogled v satelitske povezave; od povezovanja malih TETRA baznih postaj preko satelita za medsebojno povezovanje dveh samo stoječih TETRA omrežij. [6]

4.1 ISI PREKO SATELITA

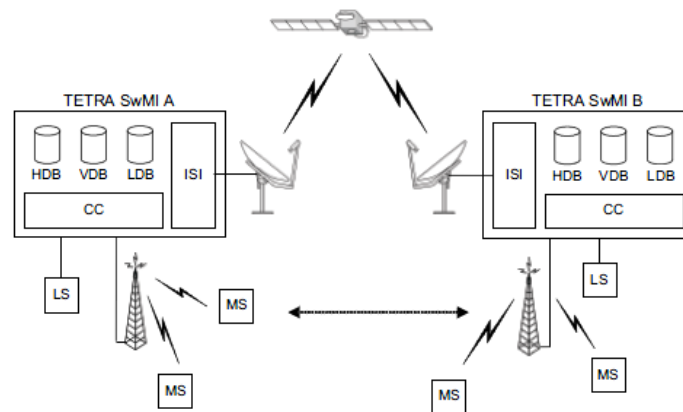
ISI²² preko satelita je poseben medsebojen scenarij za dve omrežji TETRA, ki se lahko uporablja v nujnih primerih, kadar med dvema omrežjema ne obstaja prizemna infrastruktura, ali pa kot alternativa za medsebojno povezovanje na zemeljski infrastrukturi. Uporaba satelitskih povezav, kot del integriranega komunikacijskega sistema, ni nič novega. Obstajajo študije, ki preučujejo vključitev satelitov v TETRA omrežje. Vprašanje je samo, kakšen del komunikacijske infrastrukture bi bil oslavljen ali uničen v primeru izrednih razmer. Satelitske povezave so bile že uspešno predstavljene v TETRA sistemu leta 2003. S poskusi so pričeli Motorola, NATO in agencija C3. Vendar kljub vsemu, nobena študija o satelitski povezavi, ki uporablja ISI preko satelita, za povezavo dveh TETRA omrežij, še ni bila narejena. [6]

4.2 OMREŽNA ARHITEKTURA

Upravičenost uporabe satelitske povezave za medsebojno povezavo dveh TETRA omrežij je prikazano na sliki 11. Vsako TETRA omrežje sestavlja »Vklop in upravljanje infrastrukture« (SwMI – Switching and Management Infrastructure), oddajniki, žične linije in mobilne postaje. Povezava med dvema SwMI, je ena satelitska povezava iz ene točke vmesnika v enem SwMI do druge točke vmesnika v drugih SwMI. [6]

²² Inter-System Interface

Slika 11: TETRA omrežna arhitektura preko satelita



VIR: R. Novak (2008, stran 2)

4.3 ZAKLJUČEK

Pri čezmejnem sodelovanju reševalnih ekip v večjih incidentih igra ISI preko satelita pomembno vlogo. Prav tako v primerih, kadar je potrebno hitro povezovanje domačega in tujega omrežja, kadar ni na voljo prizemeljne infrastrukture, nam komunikacija preko satelita zelo olajša stvari.

Največ truda je bilo vložena v študije ETSI standarda, kakšne so možnosti oziroma omejitve te posebne topologije medomrežnega povezovanja. Prav tako je potrebo boljše preučiti omrežne protokole nad ISI, za katere še ni bil izveden noben dejanski preizkus. Ta študija, ISI preko satelita, se lahko šteje za preizkus rentabilnosti, pred dejanskim izvajanjem na terenu. Možne so tudi druge omejitve, ki jih ni mogoče izračunati, katere temeljijo izključno na vsebini ustreznih standardov.

Uvedba satelitske povezave med dvema TETRA omrežjema je **vpprašljiva**, predvsem zaradi znatnega povečanja časa vzpostavitve zveze. Posamezni klici so večinoma pod 1s, tudi če je prišteta zakasnitev signala. Izjema je prenos nadzora za pol-dupleksni način s časom 1,2s, kjer je prav tako že prišteta zakasnitev signala. Najbolj motena zveza je pri vzpostavitvi skupinskega klica in vzdrževanje skupinskega klica. Med migracijskimi storitvami se ravno vzpostavitev skupinskega klica opravlja najslabše. Z naprej definiranimi profili migracijskih storitev, bi to situacijo morda lahko izboljšali.

Za izboljšanje storitev ISI preko satelita se predlaga PEP²³. ISI PEP je trenutno samo groba ideja, za razvoj satelitskih komunikacij v TETRA omrežju, katera se bo najverjetneje razvijala tudi v prihodnosti.

Uporaba TETRA omrežja preko satelita na MOM-u, predvsem Afganistan, kjer je trenutno težišče dogajanja, bi lahko bila ključnega pomena. Če bi ta sistem deloval z večjo gotovostjo, bi olajšali komunikacijske poti med vojskami. Afganistan, zaradi svojega značilnega terena in podnebja, predstavlja za uspešnost zvez večni izziv. Prav tako se pojavijo težave pri satelitih. Le ti so v pomanjkanju, zaradi česa smo primorani zakupiti določeno pasovno širino na eni komunikacijski poti Zemlja – Satelit – Zemlja, ki pa žal ne zadostuje pošiljanju večjih količin podatkov. Digitalizacija bojišča pa narekuje predvsem to, realno sliko bojišča v vsakem trenutku.

Slovenska vojska je premajhna, da bi lahko v celoti zagotavljala tak sistem, mi nismo lastniki nobenega satelita. Kot NATO članica pa imamo pravice do zakupa linka oz. povezave določene pasovne širine.

²³ Performance Enhancing Proxies

5. VARNOST

Varnost v zasebnih sistemih radijskih zvez predstavlja enega od ključnih elementov zagotavljanja kakovosti telekomunikacijskih storitev. Varnost je še zlasti pomembna pri zasebnih sistemih radijskih zvez za potrebe državnih organov, še posebej na področju nacionalne varnosti. Varnosti se ne da zagotoviti izključno z uporabo novih tehnologij in sodobne telekomunikacijske opreme. Velja celo obratno, saj nove tehnologije same po sebi praviloma omogočajo še učinkovitejše napade! Zato je pri zagotavljanju varnosti potrebno upoštevati tudi druge elemente varnosti, od varovanja strojne in programske opreme, šifrirnih ključev, telekomunikacijskih poti, prostorov in drugega, kar na kratko imenujemo varnostna politika.

Varnostno politiko lahko v grobem razdelimo na tri dele: [9]

- organizacijo varovanja - varnostna pravila in upravljalvske prioritete ter pravice, ...
- tehnično varovanje - šifriranje, overovitev, izmenjava šifrirnih ključev, ...
- fizično varovanje - varovanje objektov, komunikacijskih poti, ...

5.1 VARNOST KOT KLJUČNI ELEMENT KAKOVOSTI STORITEV

Kakovost storitev v zasebnih sistemih radijskih zvez določajo predvsem: zmožnost, razpoložljivost, zanesljivost, vzdržljivost in varnost (slika 1). Varnost predstavlja ključni element kakovosti storitev, saj je zagotavljanje ostalih elementov kakovosti bolj ali manj odvisno od varnosti. Zmožnost sistema, razpoložljivost, zanesljivost in vzdržljivost so pri vdoru, motenju, lažnemu predstavljanju, preobremenitvi, fizičnem napadu na telekomunikacijske poti in objekte ter drugih napadih na telekomunikacijske sisteme močno okrnjeni, če ne celo onemogočeni. Izkušnje pri nas in po svetu kažejo, da se število napadov na telekomunikacijske sisteme vztrajno povečuje. [9]

Slika 12: Elementi kakovosti storitev



VIR: B. Tavčar (2007, stran 1)

Pri tem smo priča tako fizičnim napadom na objekte in naprave, kot tudi elektronskim in drugim napadom neposredno na telekomunikacije. Potrebno se je zavedati, da ne gre zgolj za vandalizem ali hekerstvo temveč vse pogosteje za načrtne napade z jasno določenimi cilji.

5.2 VARNOST V ZASEBNIH SISTEMIH RADIJSKIH ZVEZ

Pri obstoječih konvencionalnih sistemih radijskih zvez temelji varnost predvsem na zaščiti infrastrukture omrežja, prenosnih poti in terminalov. Najšibkejša točka je varovanje radijske prenosne poti, ki jo zaradi uporabljene analogne tehnologije ni mogoče učinkovito zaščititi brez zmanjšanja dometa in kvalitete radijske zveze. Razpoložljiva tehnologija praktično ne omogoča učinkovite zaščite pred prisluškovanjem, lažnim predstavljanjem, motenjem in drugim. Z razvojem sistemov radijskih zvez druge generacije, ki bodo temeljili na skupnih infrastrukturah in virtualnih radijskih omrežjih, se spreminja tudi strategija varnosti. Ta ne bo temeljila več izključno na varovanju omrežij temveč na varovanju vsebine in prenosa podatkov, ki se pretakajo po njih. Vsebino podatkov lahko učinkovito varujemo z uporabo zanesljivih in varnih kriptografskih algoritmov v kombinaciji s primernimi elektronskimi ključi. Prenos podatkov pa varujemo z izbiro zanesljivih in različnih prenosnih poti praviloma virtualno vzpostavljenih na javnih in zasebnih telekomunikacijskih omrežjih. [9]

5.3 VARNOST V ZASEBNIH SISTEMIH RADIJSKIH ZVEZ 2 GENERACIJE TETRA

5.3.1 Zasnova varnost in standardi

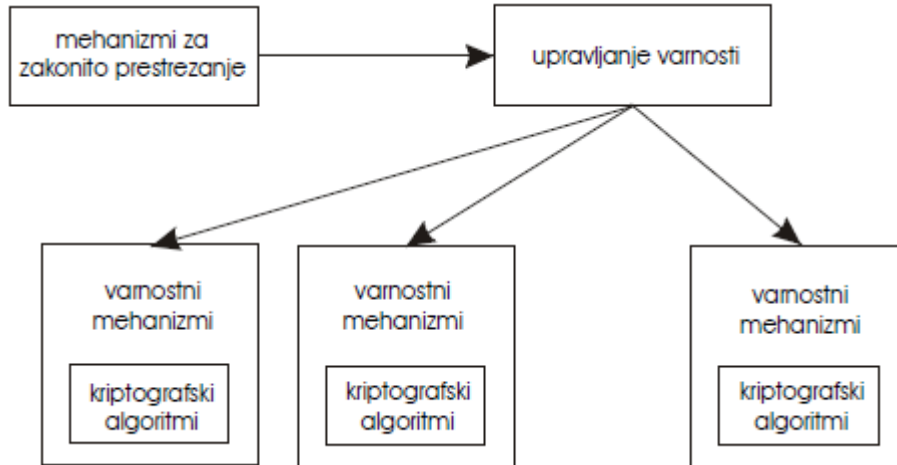
Sistemi radijskih zvez TETRA temeljijo na edinih odprtih evropskih standardih za zasebne sisteme radijskih zvez druge generacije, ki jih je pripravil Evropski inštitut za telekomunikacije ETSI. Skupina standardov: ETS 300 39x-x poglavje 7 in ETS 300 812, tehničnih priporočil: ETR 367, ETR 086-3, EN 300 812, EG 200 234 in drugih, določa varnost v sistemih zvez TETRA. Poleg Evropskega inštituta za telekomunikacije ETSI, se s problemi varnosti intenzivno ukvarja tudi interesno združenje proizvajalcev telekomunikacijske opreme TETRA MoU. To med drugim skrbi tudi za uveljavitev standardov in medsebojno skladnost opreme različnih proizvajalcev tudi na področju varnosti. Varnost v sistemih TETRA je zasnovana strukturno in odprto z uporabo uveljavljenih metod in postopkov varovanja. Strukturna zasnova varnosti pomeni, da so varnostne funkcije in mehanizmi, ki so bili določeni na podlagi zahtev uporabnikov, učinkovito vključeni v protokole TETRA. Tak način vključevanja funkcij za zagotavljanje varnosti v sistemih se je izkazal za optimalnega. Sistemi TETRA pri zagotavljanju varnosti uporabljajo odprt pristop, saj so varnostne funkcije in mehanizmi javno dostopni deli standardov. Varnost sistemov TETRA tako ni zasnovana na tajnih specifikacijah, kot je bilo to običajno v starejših lastniških sistemih zvez, kjer je bila varnost pogosto odvisna od uspešnega varovanja tajnosti specifikacij. Varnost v sistemih zvez TETRA se opira na izkušnje iz drugih mobilnih telekomunikacijskih standardov GSM, DECT in drugih. Pri sistemih zvez TETRA je bilo treba tej osnovi dodati še druge varnostne funkcije, pri tem pa niso smele biti okrnjene osnovne značilnosti sistemov TETRA, kot na primer hitra vzpostavitev zveze in mobilnost uporabnikov pri prehajanju med celicami. [9]

5.3.2 Elementi varnosti

Elementi varnosti v sistemih radijskih zvez TETRA so zajeti v:

- varnostnih mehanizmih,
- funkcijah upravljanja varnosti,
- standardnih kriptografskih algoritmih,
- mehanizmih za zakonito prestrezanje.

Slika 13: Povezavo med različnimi elementi varnosti



VIR: B. Tavčar (2007, stran 2)

Pomembno je, da ločimo različne vloge posameznih elementov varnosti. Ti se v konkretnih primerih lahko medsebojno prepletajo, kar otežuje analizo stopnje varnosti v sistemih in posledično zapleta uvajanje in kontrolo varnosti. Pogosto se zamenjuje varnostne mehanizme s kriptografskimi algoritmi. Zato se varnost, ki jo zagotavlja posamezen varnostni mehanizem, ocenjuje zgolj na osnovi odpornosti kriptografskega algoritma, ne upošteva pa se okolja in časa, v katerem se algoritem uporablja. [9]

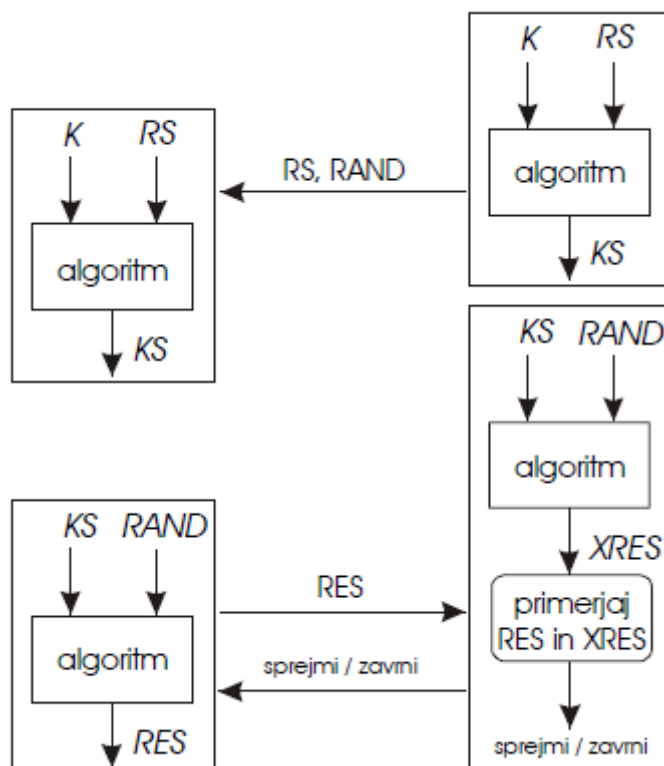
Varnostni mehanizmi v sistemih TETRA so:

- medsebojna overitev med terminalnimi napravami in omrežjem prek radijskega vmesnika,
- kriptografska zaščita radijskega vmesnika,
- kriptografska zaščita točka – točka,
- anonimnost,
- daljinska blokada terminalnih naprav.

Overitev je postopek ugotavljanja identitete in pravic uporabnika, terminala ali drugega sklopa v sistemu. Overitev je uspešna ob poznavanju pravilnega gesla ali PIN števila, ki omogočita uporabo tajnega ključa. Ta je varno deponiran v terminalu ali posebni SIM kartici in je enak ključu, ki je deponiran v centralni enoti telekomunikacijskega sistema. Postopek overitve v sistemu TETRA prikazuje slika 14.

Zasebni sistemi radijskih zvez TETRA omogočajo kriptografsko zaščito radijskega vmesnika kot tudi kriptografsko zaščito podatkov na celotni poti med dvema ali več uporabniki, zaščito točka – točka. [9]

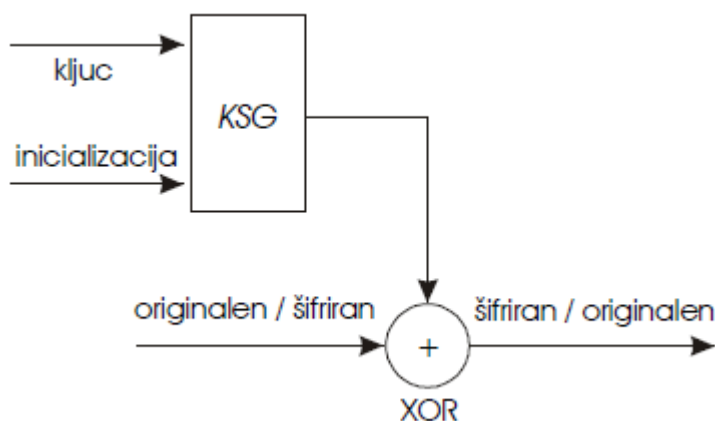
Slika 14: Postopek overovitve v sistemu TETRA



VIR: B. Tavčar (2007, stran 3)

Pri tem je pri zaščiti točka - točka kriptografski algoritm v domeni uporabnika in je vgrajen v radijske postaje.

Slika 15: Postopek kriptografske zaščite radijskega vmesnika



VIR: B. Tavčar (2007, stran 3)

Mogoča je daljinska blokada in deblokada terminalov. V primeru izgube ali kraje lahko terminal blokiramo. S tem preprečimo prisluškovanje in motenje radijskega prometa. Blokirani terminal lahko v vsakem trenutku ponovno odblokiramo. [9]

Med funkcije upravljanja varnosti prištevamo:

- upravljanje s ključi za overovitev,
- upravljanje s ključi za kriptografsko zaščito podatkov,
- mehanizem OTAR za razdeljevanje ključev,
- prenos informacij o overovitvi med omrežji.

Ključ za overovitev »K« se uporablja za medsebojno overovitev med radijsko postajo in omrežjem TETRA. Ključ »K« se lahko generira iz uporabnikovega ključa za overovitev UAK, ki je shranjen v radijski postaji ali na SIM kartici, s pomočjo ročno vnesene overovitvene kode ali s kombinacijo ključa UAK in vnesene PIN kode.

Obstaja več vrst ključev za kriptografsko zaščito. Nekateri so izpeljani ali preneseni preko omrežja kot del postopka overovitve. Upravljanje s ključi je v primeru ključev za kriptografsko zaščito v veliki meri avtomatizirano. Obstajajo ključi z daljšo ali krajšo dobo veljavnosti. Za zaščito ključev z daljšim rokom trajanja skrbijo posebni mehanizmi.

Mehanizem OTAR se uporablja za distribucijo ali obnavljanje ključev CCK, GCK in SCK. Mehanizem omogoča neposreden vnos ključev iz omrežne infrastrukture TETRA v radijske postaje preko radijskega vmesnika. Vnos ključev z mehanizmom OTAR je možen samo v primeru, da za posamezno radijsko postajo obstaja ključ za overovitev K.

V primeru, da radijska postaja preide iz domačega v tuje omrežje TETRA, je potreben prenos informacij o overovitvi iz domačega v tuje omrežje. Le tako je namreč možna medsebojna overovitev med radijsko postajo in tujim omrežjem ter prenos šifriranih ključev v radijsko postajo. Obstajajo trije načini prenosa informacij o overovitvi. Najbolj enostaven način je prenos overovitvenega ključa »K« v tuje omrežje, kar pa iz varnostnih razlogov ni vedno priporočljivo. Druga možnost je prenos določenih informacij, ki se lahko uporabijo za posamezen overovitveni postopek. To je v osnovi metoda, ki se uporablja v sistemih GSM in je zelo varna. V primeru omrežij TETRA pa bi pogosto prenašanje teh informacij povzročilo precejšnjo režijo. Zato obstaja tretja možnost, ki pomeni kompromis med varnostjo in učinkovitostjo. Pri tej možnosti domače omrežje enkrat prenese overovitveni ključ radijske postaje, ki se v tujem omrežju lahko večkrat uporabi, ne da bi se pri tem razkril originalni overovitveni ključ radijske postaje. [9]

Standardni kriptografski algoritmi, ki se uporabljajo v sistemih zvez TETRA so:

- algoritmi za overovitev in upravljanje s ključi,
- algoritmi za kriptografsko zaščito radijskega vmesnika,
- algoritmi za kriptografsko zaščito točka – točka.

Določen je standardni algoritem za overovitev in upravljanje s ključi radijskega vmesnika TAA1, katerega skrbnik je ETSI.

Uporabniki TETRA v splošnem lahko določijo svoj algoritem za kriptografsko zaščito radijskega vmesnika. Zaradi medsebojne skladnosti med sistemi različnih proizvajalcev so bili določeni tudi standardni algoritmi. Ti ustrezajo določenim zahtevam, med katerimi sta najpomembnejši potreba po raznolikosti in predpisi o izvoznih omejitvah.

Trenutno so uporabnikom TETRA na voljo štirje standardni algoritmi za kriptografsko zaščito radijskega vmesnika:

- TEA1 je osnovni algoritem za splošno uporabo.
- TEA2 je 80 bitni algoritem. Njegova uporaba je omejena na organizacije javne varnosti v državah podpisnicah Schengenskega sporazuma. Izvoz algoritma je pod nadzorom.
- TEA3 je 80 bitni algoritem. Njegova uporaba je omejena na organizacije javne varnosti v državah, ki niso podpisnice Schengenskega sporazuma, vendar lahko ta algoritem v odvisnosti od uporabe, uporabljajo tudi drugi uporabniki. Izvoz algoritma je pod nadzorom.
- TEA4 je namenjen splošni uporabi. Načrtovan je tako, da ravno zadošča novim predpisom o izvoznih omejitvah članic Wassenaarskega sporazuma.

Algoritme je razvila skupina SAGE, ki deluje v okviru ETSI.

Standard TETRA podpira različnih načine kriptografske zaščite točka – točka. Večina uporabnikov, ki zahteva kriptografsko zaščito točka – točka, bo uporabljala svoje algoritme. Iz tega razloga standard TETRA ne določa nobenega standardnega algoritma. V okviru TETRA MoU priporočajo uporabo algoritma IDEA, vendar le pod pogojem, da bo lastnik algoritma (podjetje Ascom) licence za algoritme podeljeval pod razumnimi in za vse enakimi pogoji.

Poleg zaščite samih informacij je pomembna tudi zaščita kontrolnih podatkov oziroma signalizacije. Eden od signalizacijskih elementov, ki se jih prek omrežja TETRA pošilja v šifrirani obliki z uporabo kriptografske zaščite radijskega vmesnika, je identifikacijska številka radijske postaje. Vsakič, ko radijska postaja odda identifikacijsko številko, je ta šifrirana drugače. Na ta način morebitni prisluškovalec ne more ugotoviti, katera radijska postaja jo v resnici oddaja. To je v določenih primerih lahko enako pomembno kot samo dejstvo, da se določeni komunikaciji ne more prisluškovati.

Z uvajanjem IP protokola v omrežja TETRA tako na nivoju upravljanja omrežja kot tudi na nivoju prenosa podatkov, se odpirajo iste varnostne dileme kot v računalniških omrežjih. V tem primeru pride še bolj do izraza podrejenost posameznih elementov kakovosti storitve elementu varnosti. Zato v določenih strokovnih krogih prevladuje prepričanje, da uporaba protokola IP na nivoju upravljanja omrežja TETRA ni primerna. To naj bi še zlasti veljalo za sisteme TETRA namenjene področju nacionalne varnosti. [9]

5.3 ZAKLJUČEK

Tako kot v preteklosti, bo tudi v prihodnosti varnost igrala pomembno oziroma vse pomembnejšo vlogo. Z razvojem tehnologije se na eni strani povečujejo zmožnosti telekomunikacijskih sistemov, po drugi strani pa se povečuje njihova kompleksnost, kar neizbežno slabo vpliva na varnost. Do sedaj so se varnostni problemi v zasebnih sistemih radijskih zvez reševali večinoma naknadno, z dodajanjem posameznih varnostnih elementov v telekomunikacijske sisteme. V prihodnje bodo morali biti rešeni v okviru tehnologij telekomunikacijskih sistemov, kot njihov integralni del.

6. REŠITVE TUJIH VOJSKA

Uspeh na bojišču je v veliki meri odvisen od pravočasnega prejema točne informacije, predstavljene v obliki, ki se lahko zlahka dojame, katerega poveljnik in njegovi podrejeni zlahka razumejo, ter da jim omogoči, da na podlagi teh informacij pripravijo ustrezne načrte. Te informacije potem pomagajo poveljnikom da opazujejo, se orientirajo, odločijo in ukrepajo (OODA Observe, Orient, Decide and Act) v realnem času. Hitrost opravljanja cikla OODA je neposredno sorazmerna s trdnostjo komunikacijske infrastrukture tako na taktični kot strateški ravni. Taktični telekomunikacijski sistemi morajo zagotavljati visoke hitrosti, podatkovna omrežja in glasovne komunikacije. Obseg in zmogljivosti teh sistemov v taktičnem bojnem prostoru (TBA - Tactical Battle Area) mora zadovoljiti potrebo po odločanju poveljnikom na vseh ravneh. Brez komunikacije v TBA na področju sodobnih bitk je poveljnik gluh, nem in slep. [13]

Slika 16: Tactical Battle Area (TBA)



VIR: http://ids.nic.in/tnl_ices_mar_2010/TBA.htm

Sistem TETRA uporablja veliko vojska, Francoska, Španska, Nemška, Angleška, Belgijska...Nekatere slonijo na Tetrapol standardu (KFOR in Afganistan), nekatere temeljijo na sistemu Nokia (predvsem na Kosovu). Slovenska vojska se vse pogosteje vključuje v pomembne operacije na mednarodnih misijah in operacijah, predvsem v Afganistanu, kjer zelo težko govorimo, da gre za mirovno misijo. Iz vidika zvez, bi bilo za Slovensko vojsko zelo enostavno in cenovno ugodno sodelovati na MOM-u, kjer bi TETRA omrežje vzpostavila nadrejena vojska. Slovenska vojska bi morala zagotoviti terminale ter dispečerske centre, ki bi omogočala vključitev naših pripadnikov v ta sistem.

V operacijah vsiljevanja miru (Peace making forces), kot je Afganistan, je sistem TETRA primeren predvsem kot komunikacijski sistem za poveljniška mesta, ter za komunikacijo v zalednih enotah. Saj je sistem s svojo dokaj stacionarno infrastrukturo še neprimeren za uporabo v prvih bojnih vrstah. [7]

6.1 EADS IN TETRAPOL

Na Eurosatory 2010 je EADS24 predstavila prototip svojega novega radijsko zaščenega mobilnega omrežja, ki temelji na TETRAPOL standardu in omogoča prenos visoke hitrosti preko IP protokola.

Nova tehnologija omogoča visoko hitrost prenosa podatkov po standardu TETRAPOL, kateri podpira prenos glasu in podatkov z visoko hitrostjo na začetnih operacijah. V skladu z EADS je sistemska infrastruktura zasnovana za hitro vojaško namestitev. Zaradi težkih pogojev na terenu mora biti lahko in hitro namestljiva, potrebno je lahko vzdrževanje ter enostavna vključitev opreme v vozila.

TETRAPOL omrežja so v široki uporabi s članicami NATA, še posebej z angleškimi, nemškimi, francoskimi in španskimi silami, katere so nameščene na Kosovu in v Afganistanu. PTN²⁵ telekomunikacijsko omrežje uporablja francoska vojska v Kabulu že od prvega četrletja leta 2010, za usposabljanje afganistanske policije. Ta začasna pokritost radijskih zvez zagotavlja kriptirane telefonske in podatkovne storitve za več tisoč naročnikov na področju 5000 km². Nova vojaška omrežja bodo imela korist od te že obstoječe baze, lahko bodo povečala digitalizacijo obstoječih omrežij, ter tako znatno povečale zahtevo po večji prepustnosti komunikacij. Od zgodnjih 90-ih let, je EADS že namestila TETRAPOL, TETRA, P25 v več kot 200 omrežjih v 68 državah. [12]

6.1.1 Nemška vojska prejela prva EADS TETRAPOL radija

TETRAPOL je vojaški komunikacijski sistem, ki služi naročnikom na velikem območju, podobno kot komercialno mobilno (mobilni telefon) omrežje. Za razliko od komercialnih telefonskih storitev, sistem TETRAPOL uporablja standard TETRA. TETRAPOL Sistem bo podpiral nemške vojaške sile v »out-of-area« območjih. Projekt, vreden 55.000.000 € vključuje zagotavljanje 30 mobilnih, popolnoma avtonomnih digitalnih radijskih sistemov za operacije izven območja.

TETRAPOL komunikacijski sistem bo nemški vojski zagotavljal govorne in podatkovne storitve, v varnih in ne-varnih omrežjih na vseh ravneh taktične komunikacije. Sistem uporablja bazne postaje, premestljive kontejnerje, ki služijo za pokritost površine na območju 25 km. Sedanji sistem bo služil 10.000 digitalnim radijskim terminalom. Vsak telefon lahko tudi vzpostavi neposredno zvezo z drugimi telefoni, na blizu do 2,5 km. Nemška vojska je že vzpostavila TETRAPOL sistem v Afganistanu in na Kosovu, kjer so takšne komunikacijske platforme vključene v vodenje in nadzor sistema.

TETRAPOL bo deloval na frekvenčnem območju od 385-390 / 395-399,9 MHz, ki je skladen z mednarodno razpoložljivim spektrom. Sistem bo omogočal hitrosti prenosa podatkov nizka od 2,4 kBit / s - 7,2 kbit / s, odvisno od obremenitve in razpoložljivosti. [13]

6.2 ITALIJA

Italijanska fregata dolžine 123m je bila opremljena s TETRA sistemom, kateri je služil kot interkom na sami ladji za lažje vodenje in nadzor borilnih in reševalnih operacij. [13]

²⁴ European Aeronautic Defence and Space Company

²⁵ Private Telecommunication Network

Slika 17: Fregate Maestrale 123m



VIR: <http://www.google.com/images>

6.3 KDO UPORABLJA TETRA SISTEM?

Sistem TETRA uporabljajo od policije, reševalci in storitev javne organizacije prevoza, vojske iz ameriškega ministrstva za obrambo, vojska Grčije, Norveške, Južne Koreje in Anglije, kot tudi gasilci ipd. [11]

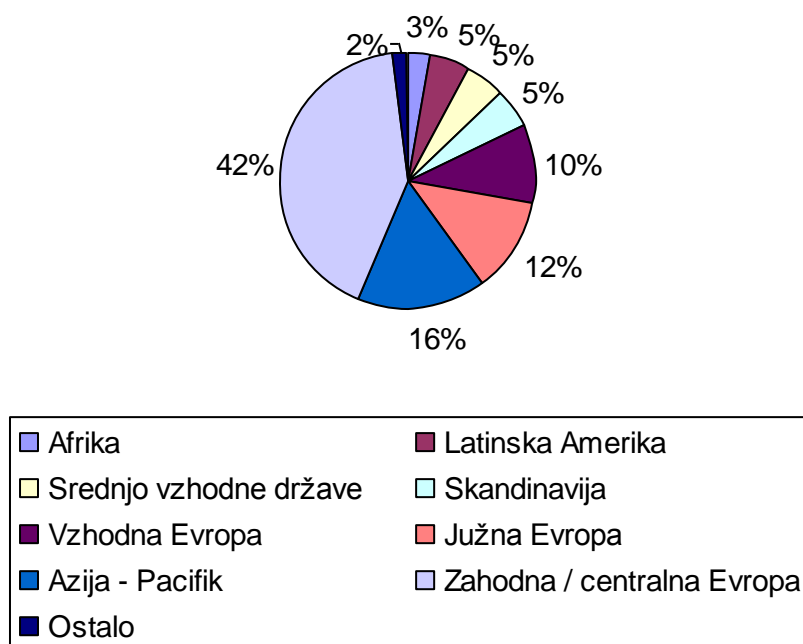
Komercialni uporabniki so Air France, ruske železnice, Oman (nafta industrija), Saudska elektro družba, Kitajska, Volvo, BMW, in letališče Hannover ter Madrid.

Vseh TETRA pogodb po vsem svetu je več kot 1400. Tržni sektorji so pa naslednji:

- Javna varnost – 48%
- prevoz – 21%
- različno – 5%
- vladni – 5%
- poslovni in industrijski – 5%
- vojaški – 4%
- PAMR – 3%
- Naftni sektor – 2%

Sistem TETRA se je vpeljal v številnih regijah izven Evrope, s čimer postane resnično globalni standard, in pričakuje se, da se bo le ta razvil slično kot GSM. TETRA omrežje se bo gradilo in posodabljalo vsaj še 25 let, kar posledično pomeni velik donos za vlagatelje, proizvajalce in dobavitelje. [11]

Slika 18: TETRA pogodbe v letu 2007



VIR: <http://www.army-technology.com/features/feature1247/>

6.4 MOŽNOST UPORABE SISTEMA TETRA ZA SLOVENSKO VOJSKO

TETRA predstavlja odličen komunikacijski sistem za mednarodne operacije, kjer pripadniki Slovenske vojske opravljajo operativne naloge: [7]

- varovanja baze,
- patroljiranja v neposredni okolici,
- delujejo na kontrolnih točkah,
- spremljanje vozil na ožjem območju,
- zagotavljanje zdravstvene oskrbe,
- usposabljanja in izobraževanja na večnacionalnih vajah,
- ter vse pogosteje bojne naloge.

Slovenska vojska je sodelovala oziroma še sodeluje v kar nekaj mednarodnih operacijah, kjer bi naši pripadniki lahko v polni meri izkoriščali komunikacijski sistem TETRA:

- operacija ISAF v Afganistanu,
- operacija KFOR na Kosovu,
- SFOR / EUFOR v BiH.

Mi ne moremo govoriti o tem, da bi Slovenska vojska vzpostavila svojo TETRA omrežje v bazi ali v okolici baze, saj je potrebno za vsako postavljeno anteno v bazi imeti dovoljenje od poveljnika baze. Poleg tega je baza že zelo napolnjena z različnimi antenami in sistemi (slika 19).

Slika 19: Camp Arena v Heratu (Afganistan)



VIR: D.Rajh (2010)

V okolici baze je pa že dodobra razvito lokalno GSM omrežje imenovano Thuraya, katero služi za komunikacijo znotraj baze, vendar zgolj na osnovni ravni.

SV sodeluje s premajhnim številom pripadnikov na MOM, da bi bila postavitve sistema rentabilna. Smotrno bi jim bilo le zagotoviti TETRA terminale, katere bi vključili v sistem, ki ga je postavila njihova nadrejena enota.

7. POKRITOST SIGNALA V AFGANISTANU

S pomočjo programa *EMV Radio Mobile* bom skušal izračunati pokritost signala za omrežje TETRA v provinci Herat. Omejil se bom zgolj na prostor camp Arena in njene širše okolice, kjer je nastanjena tudi Slovenska vojska. Simulacija bo pokazala vpliv terena in vremena na pokritost signala. Namen te naloge je pogledati optimalno delovanje sistema TETRA, kje so šibke točke in kako se spopasti s težavami, ki pretijo temu območju.

Za lažje razumevanje same naloge bom v začetku opisal osnovne lastnosti programa. V nadaljevanju bom naredil teoretični izračun idealne celične strukture, s katerim bom skušal podati teoretične vrednosti postavitve baznih in mobilnih postaj.

7.1 PROGRAM ZA SIMULACIJO EMV RADIO MOBILE

Program RM je avtorsko zaščiten s strani avtorja Roger Coudé.

Uporaba programa:

- Namenjen je uporabi v radioamaterske in humanitarne namene.
- Komerzialna uporaba NI prepovedana, vendar avtor ne prevzema odgovornosti za rezultate simulacije.
- Za rezultate simulacije odgovarja uporabnik programa.
- Uporabnik se mora strinjati z omejitvami in pravili uporabe zunanjih podatkovnih baz.

Model temelji na:

- Elektromagnetni teoriji.
- Statističnih analizah terena in radijskih meritev (njunih posebnostih).

Upošteva srednjo vrednost slabljenja radijskega signala kot funkcijo razdalje in spremenljivosti signala v prostoru in času. [10]

Sistemske značilnosti:

- Frekvenčno področje: 20 MHz do 20 GHz
- Razdalja: 1 km do 2000 km
- Višina antene: 0.5 m do 3000 m
- Polarizacija antene: vertikalna ali horizontalna

Parametri okolja:

- Valovitost terena - Δh
- Električne lastnosti tal: dielektričnost in prevodnost
- Površinska lomljivost - N_s : 250 – 400 N-enot
- Vpliv podnebja

Priporočene vrednosti valovitosti terena - Δh :

Tabela 5: Priporočene vrednosti valovitosti terena - Δh

	Δh (m)
Ravnina ali umirjena voda	0
Nižava	30
Hriboviti teren	90
Gorati teren	200
Visoko gorati skalnati teren	500

VIR: B. Vlaovič (2010, stran 104)

Za povprečen teren z griči in manjšimi hribi uporabi $\Delta h=90$ m!

Tabela 6: Priporočene vrednosti električnih konstant tal

	Relativna dielektričnost (As/Vm)	Prevodnost (S/m)
Povprečna tla	15	0.005
Suha tla	4	0.001
Prevodna tla	25	0.020
Sladka voda	81	0.010
Morska voda	81	5.0

VIR: B. Vlaovič (2010, stran 105)

Za večino primerov se uporablja konstante za *Povprečna tla*.

Tabela 7: Priporočene vrednosti površinske lomljivosti – Ns (vpliv podnebja)

	Ns (N-enot)
Ekvatorialno (Kongo)	360
Kontinentalno subtropsko (Sudan)	320
Obmorsko subtropsko (zahodna obala Afrike)	370
Puščava (Sahara)	280
Zmerno kontinentalno	301
Zmerno obmorsko po kopnem (V. Britanija)	320
Zmerno obmorsko čez morje	350

VIR: B. Vlaovič (2010, stran 106)

Za povprečne atmosferske razmere uporabimo podatek za *Zmerno-kontinentalno podnebje* Ns=301 N-enot *(N-enot): parts per million

Spodnja frekvenčna meja je 20 MHz. Omejujejo jo zmožnost ionosferskega razširjanja nižjih frekvenc od 20 MHz skozi ionosfero (nastanejo odboji). Zgornja frekvenčna meja je 20 GHz. Simulacijo višjih frekvenc onemogoča atmosferska absorpcija. Ta je predvsem izrazita pri 22 GHz zaradi vodnih par, ki jo močno povečajo. [10]

Slabljenje zaradi dežja:

Vpliv močnega deževja je opazen na frekvencah nad 6 GHz. Uporabljen ITS model ga ne upošteva!

- Ni primeren za izračun (line of sight) mikrovalovnih linkov.
- Ni primeren za simulacijo komunikacije letala z Zemljo na višini višji od 3 km. Zaradi nepredvidljivih posebnih pogojev razširjanja so vprašljivi tudi podatki za višine nad 1 km.

Simulacija radijske pokritosti terena:

- Single polar: Uporabimo za simulacijo pokritosti terena ene same postaje (broadcast).
- Combined Cartesian: Uporabimo za simulacijo pokritosti terena ob uporabi več radijskih postaj.
- Interference: Simulacija interference med dvema signaloma in prikaz na karti.
- Fresnel: Izračun prve Fresnelove cone za ugotavljanje zmožnosti radijske komunikacije med dvema točkama (link).
- Route: Vrednotenje sprejema izbrane postaje, ko se druga postaja premika po določeni poti (ruti).
- Find Best Site: Iskanje postavitve najboljše lokacije postaje.

Network (omrežje):

- omrežje določa skupino postaj, ki medsebojno delujejo.

System (sistem), parametri, ki določajo lastnosti radijskega sistema:

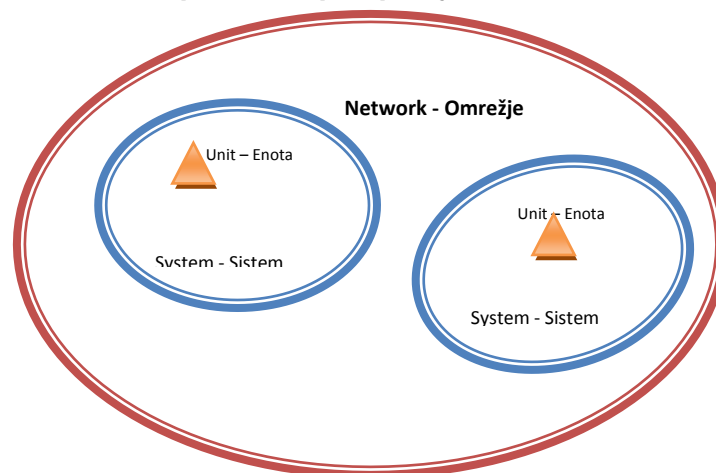
- moč oddajnika/občutljivost sprejemnika,
- ojačanje antene in njeno višino,
- izgube na prenosni poti do antene.

Za isti tip radijskega sistema se lahko uporabijo isti parametri.

Unit (enota), radijska postaja:

- postaji se dodelijo parametri izbranega radijskega sistema,
- v omrežje lahko postavimo več postaj.

Slika 20: Definira se lahko več omrežij, sprejemnik ali oddajnik je enota, lastnosti skupine enot pa opisuje sistem



VIR: avtor naloge

Slabljenje signala (A) kot funkcija treh spremenljivk:

$A(qT, qL, qS)$

qT ...delež spremenljivosti – čas

qL ...delež spremenljivosti – prostor

qS ...delež spremenljivosti – lega

Imamo 4 možnosti metode spremenljivosti (mode of variability):

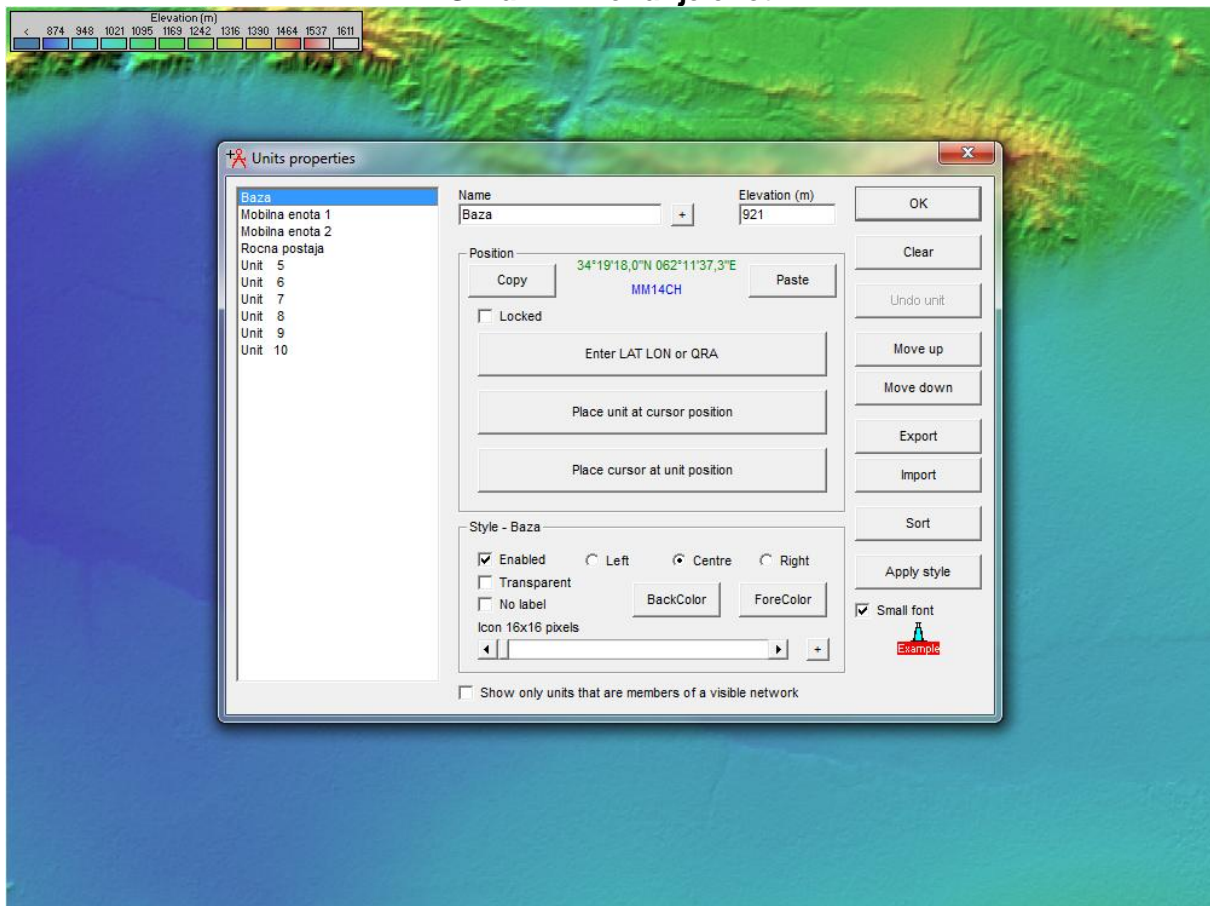
- Spot: vse tri deleže spremenljivosti obravnavamo skupaj.
- Accidental: primerno za proučevanje interference.
- Mobile: združeno obravnavamo qL in qT . Primerno pri simulaciji postaj, ki se med komunikacijo premikajo.
- Broadcast: vse tri deleže spremenljivosti obravnavamo posebej.

8. SIMULACIJA POKRITOSTI TERENA S SIGNALOM V AFGANISTANU

Ogledali si bomo rezultate simulacije, naštel bom parametre, ki smo jih pri sami simulaciji uporabili in skušal interpretirati dobljene podatke.

Slika prikazuje območje Herata (središče slike je baza Arena) s širšo okolico. Za ta primer sem si izbral eno bazno postajo, dve mobilni in eno ročno radijsko postajo. Glede na samo strukturo terena, ki jo vidimo na spodnji sliki, ne pričakujem težav s pokritostjo terena. Ne smemo pa zanemariti dokaj ekstremnih vremenskih razmer, kjer temperature med dnevom in nočjo zelo nihajo (tudi do 30°C in več), peščeno kamnito območje. Zanimivi bodo rezultati, kjer pričakujem, da bo analiza pokazala, da prav slednjih faktorjev ni za zanemarit.

Slika 21: Kreiranje enot



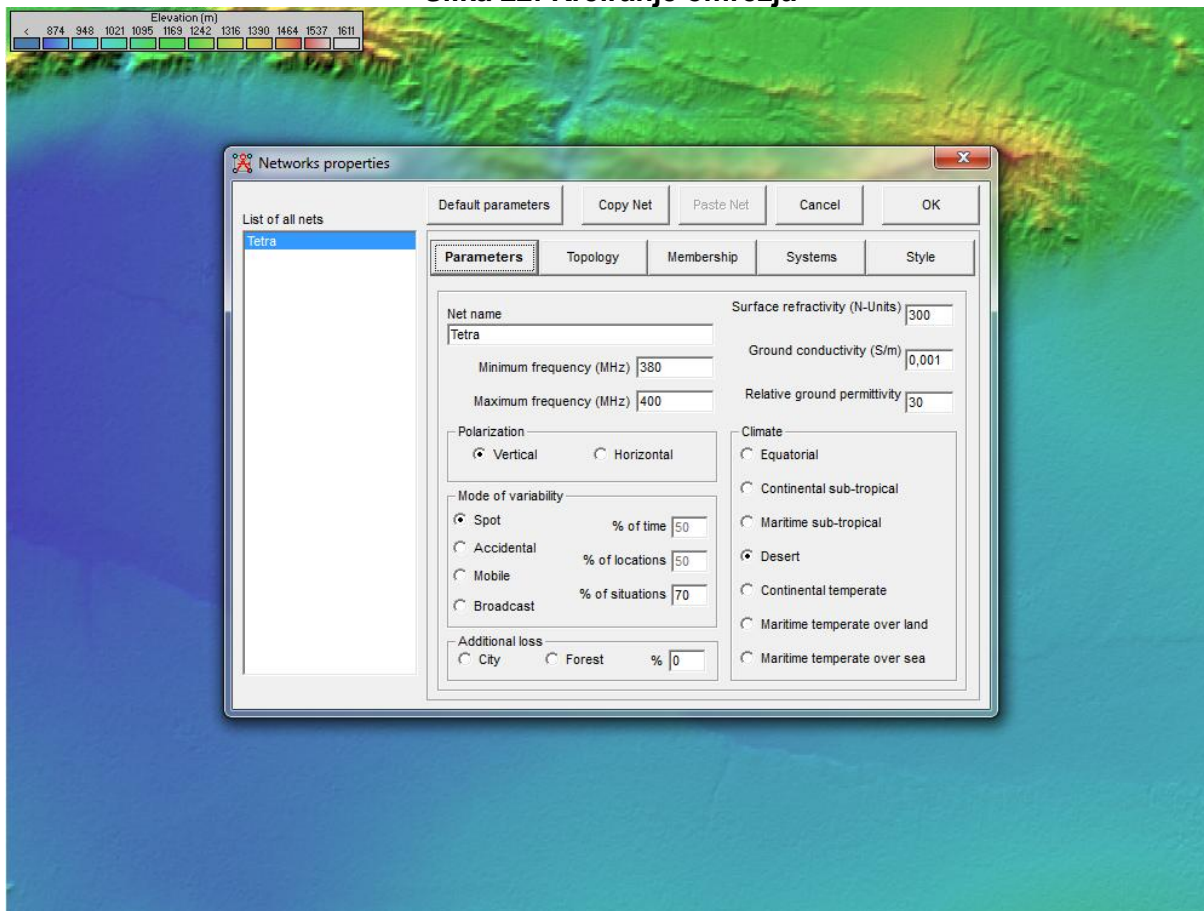
VIR: avtor naloge

V tem delu sem kreirali 4 enote, in sicer:

- Baza
- Mobilna enota 1
- Mobilna enota 2
- Ročna postaja

Te enote smo s klikom na gumb »Place unit at cursor position« postavili na mapo - zemljevid.

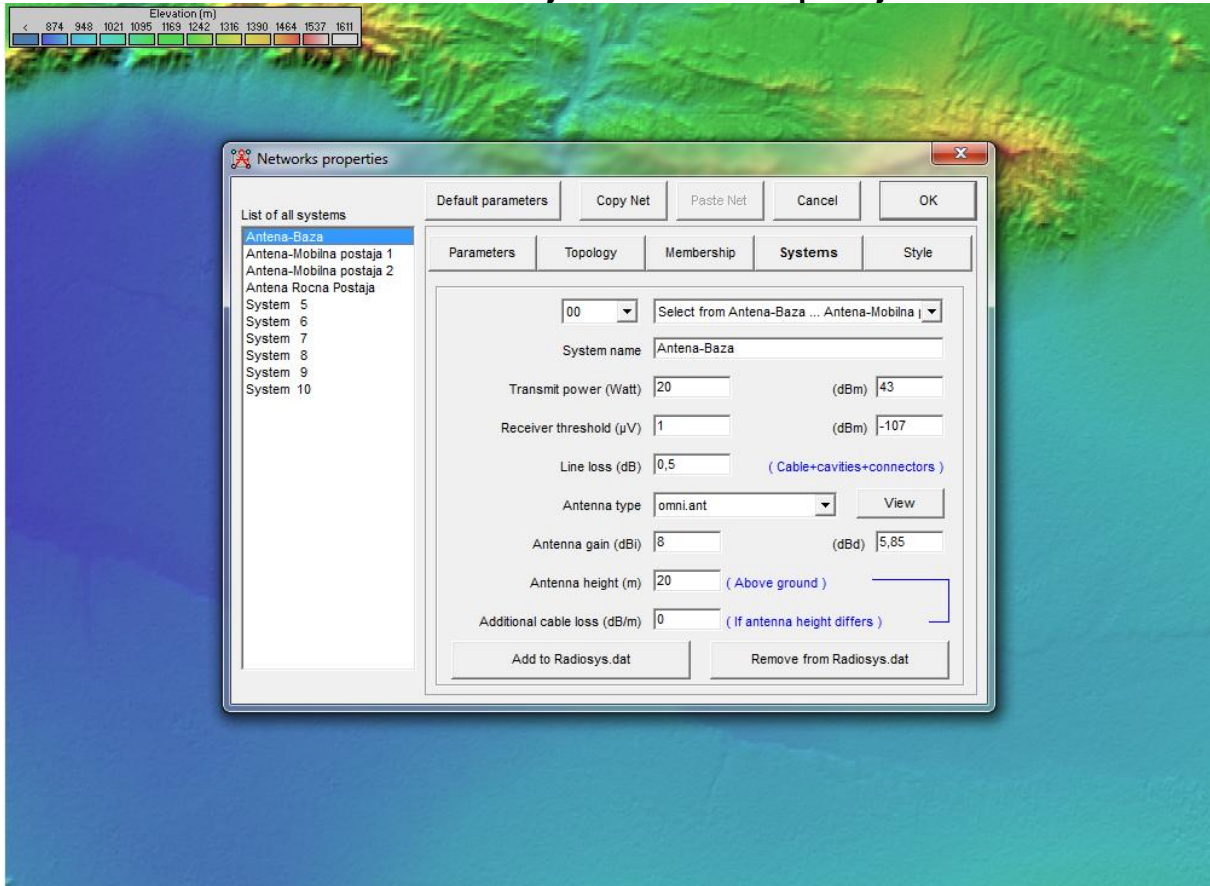
Slika 22: Kreiranje omrežja



VIR: avtor naloge

Kreiral sem omrežje TETRA, kjer sem nastavljal frekvenčno območje od **380 do 400 MHz**, vertikalno polarizacijo, površinsko lomljivost N-Units nastavljal na **300** (glej tabelo v seminarski nalogi »*Priporočene vrednosti površinske lomljivosti - Ns (vpliv podnebja)*«), prevodnost tal nastavljal na **0,001**, ter valovitost terena na **30**. Za klimatsko območje sem izbral »Puščava«, saj po statističnih podatkih, večino tega predela je pokritega s peskom in kamenjem.

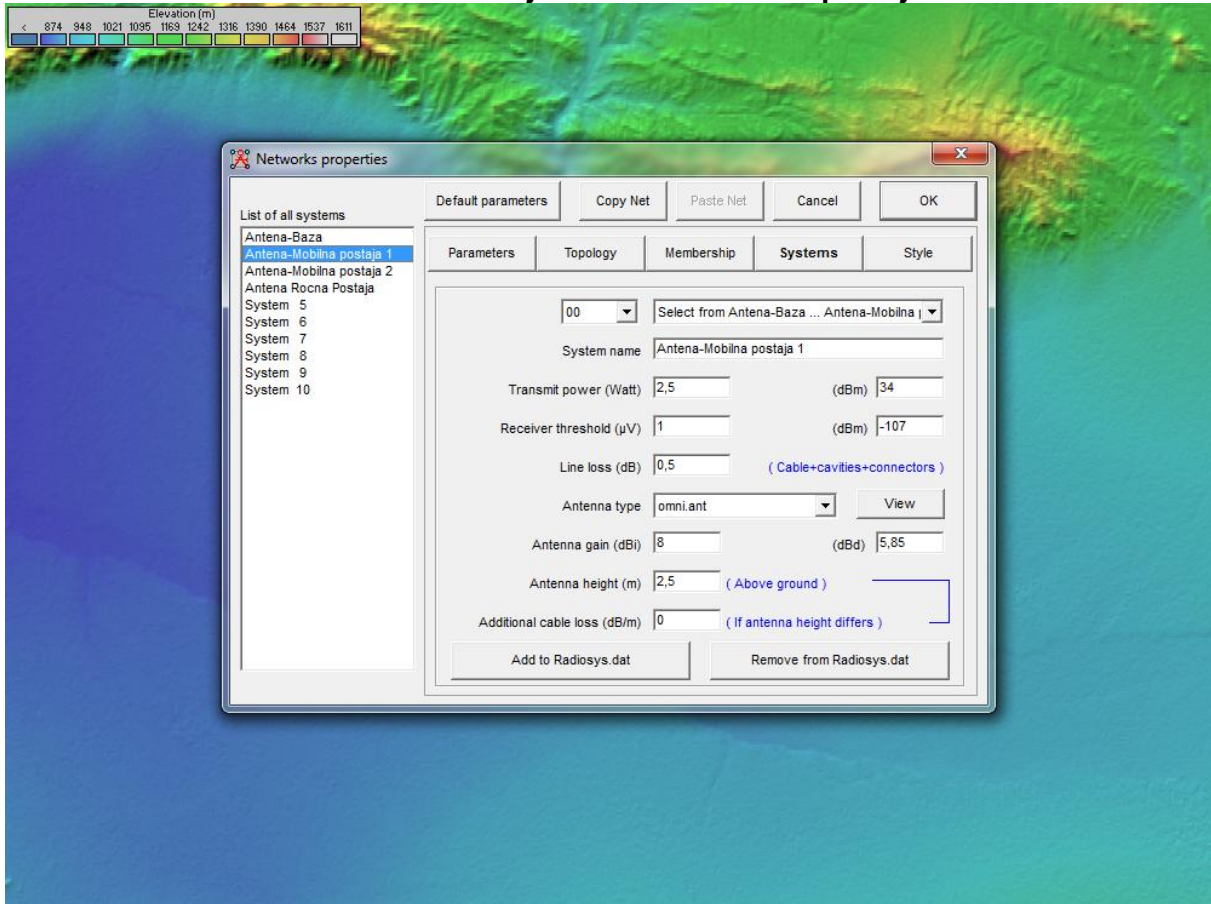
Slika 23: Kreiranje sistema- bazna postaja



VIR: avtor naloge

Za bazno postajo sem izbral anteno omni, ji dodelil oddajno moč 20W, prag sprejema nastavlil na -107dBm, gain (dobiček, korist) na 8dBi, višino antene 20m.

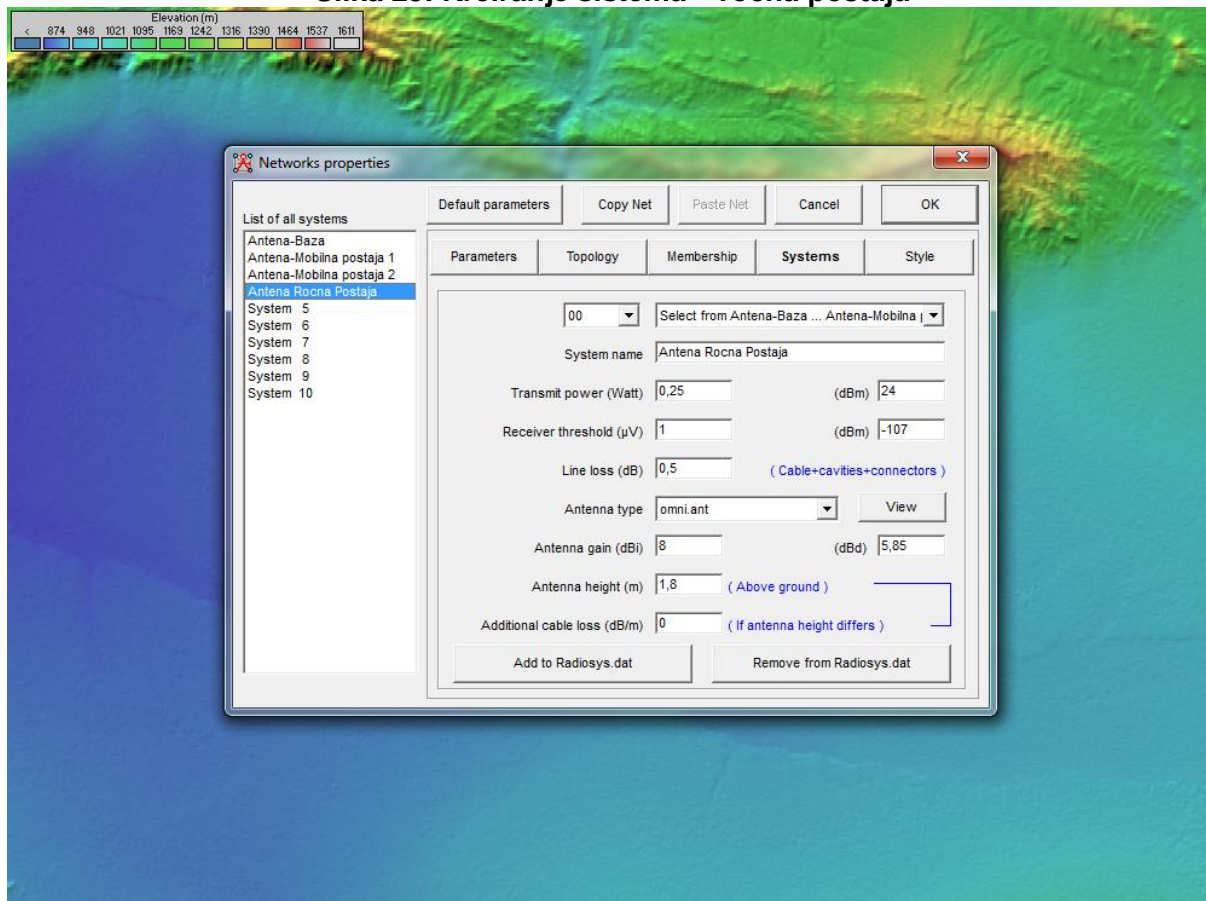
Slika 24: Kreiranje sistema – mobilna postaja



VIR: avtor naloge

Podobno kot pri prejšnji sliki, sem za mobilno postajo izbral anteno omni, ji dodelil oddajno moč 2,5W, prag sprejema nastavlil na -107dBm, gain na 8dBi, višino antene 2,5m.

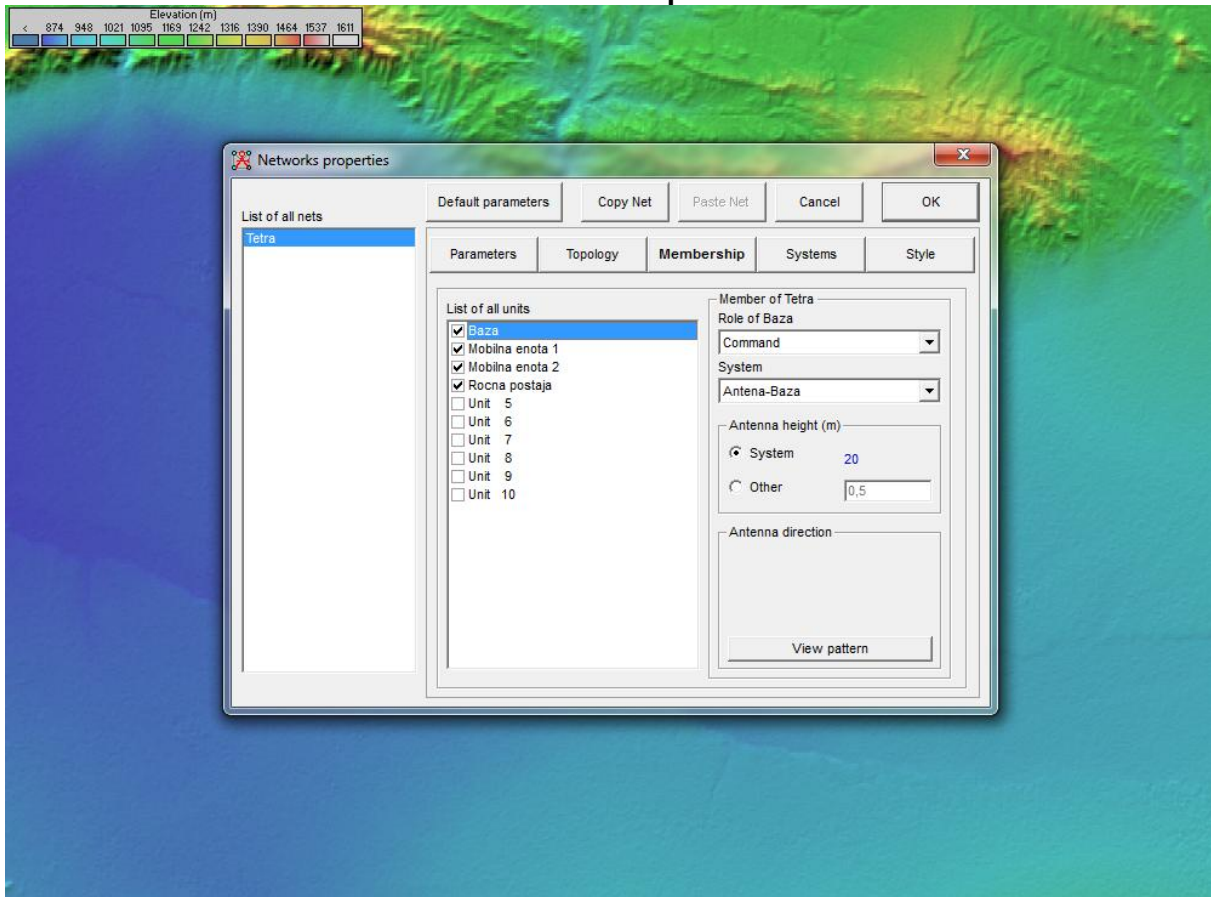
Slika 25: Kreiranje sistema – ročna postaja



VIR: avtor naloge

Podobno kot pri prejšnji sliki, sem za ročno postajo izbral anteno omni, ji dodelil oddajno moč 0,25 W, prag sprejema nastavil na -107dBm, gain na 8dBi, višino antene 1,8m.

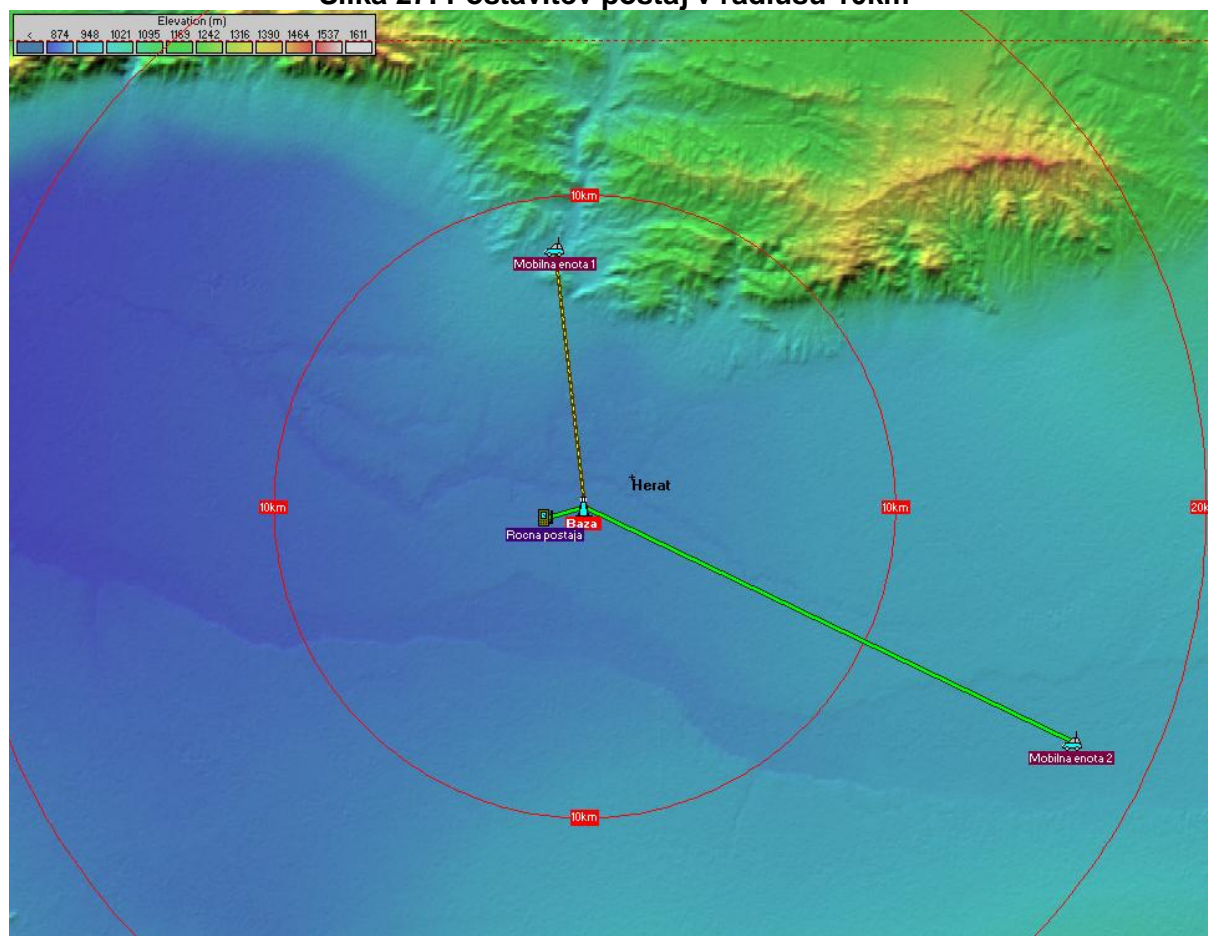
Slika 26: Membership - Članstvo



VIR: avtor naloge

V razpredelku Membership sem nastavljal vlogo enote, ter pod kateri sistem spada. Slika prikazuje označeno Bazo, katera ima vlogo vodilne postaje, ter je vključena v sistem »Antena-Baza«. Podobno sem storil za mobilna enota 1 in 2, ter ročna postaja, s to razliko, da sem nastavljal vlogo slednjih enot na subcommand.

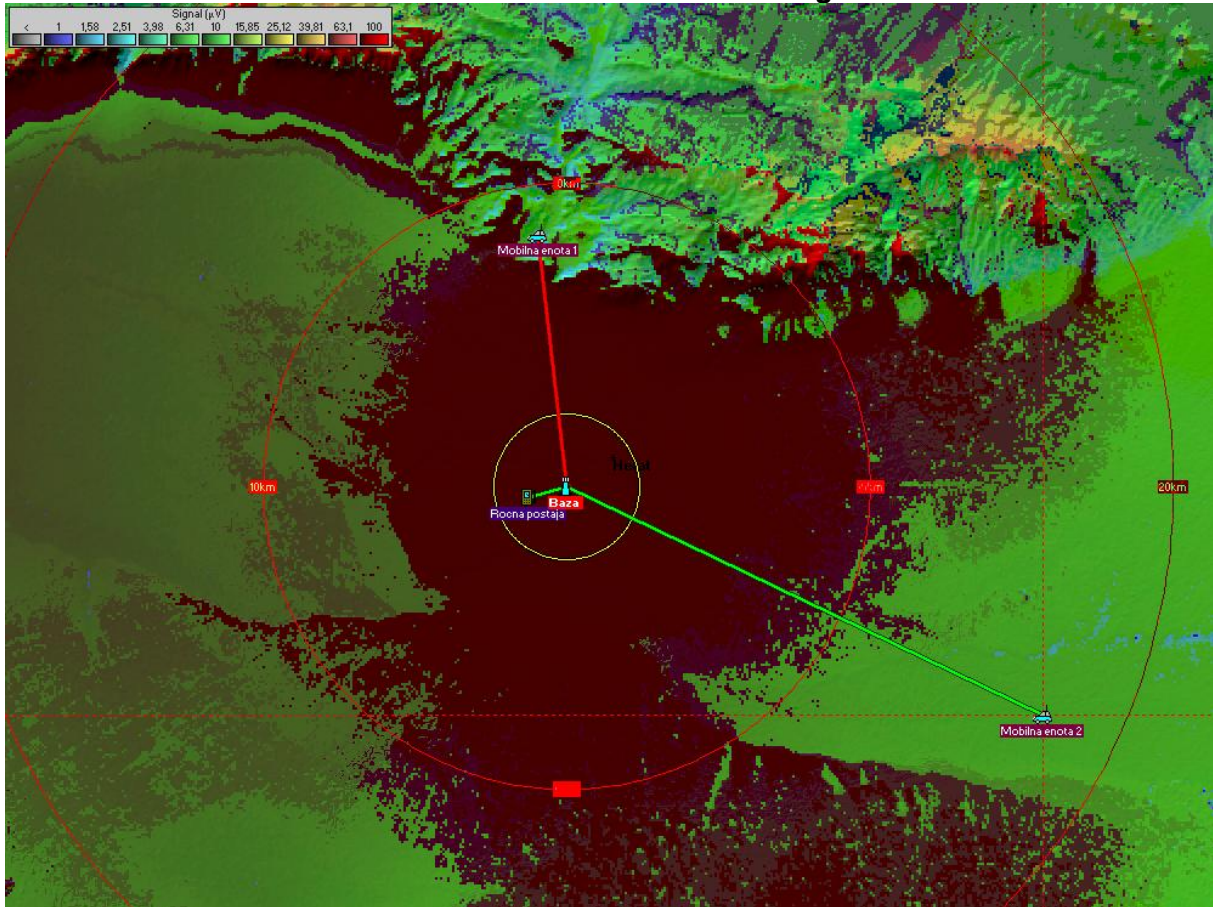
Slika 27: Postavitev postaj v radiusu 10km



VIR: avtor naloge

Rdeči krogi označujejo premer kroga 10km oddaljenosti od baze. V tem primeru sta mobilna enota 1 in ročna postaja oddaljeni od baze manj kot 10km, medtem ko je mobilna enota 2 oddaljena natanko 17,41km od bazne postaje.

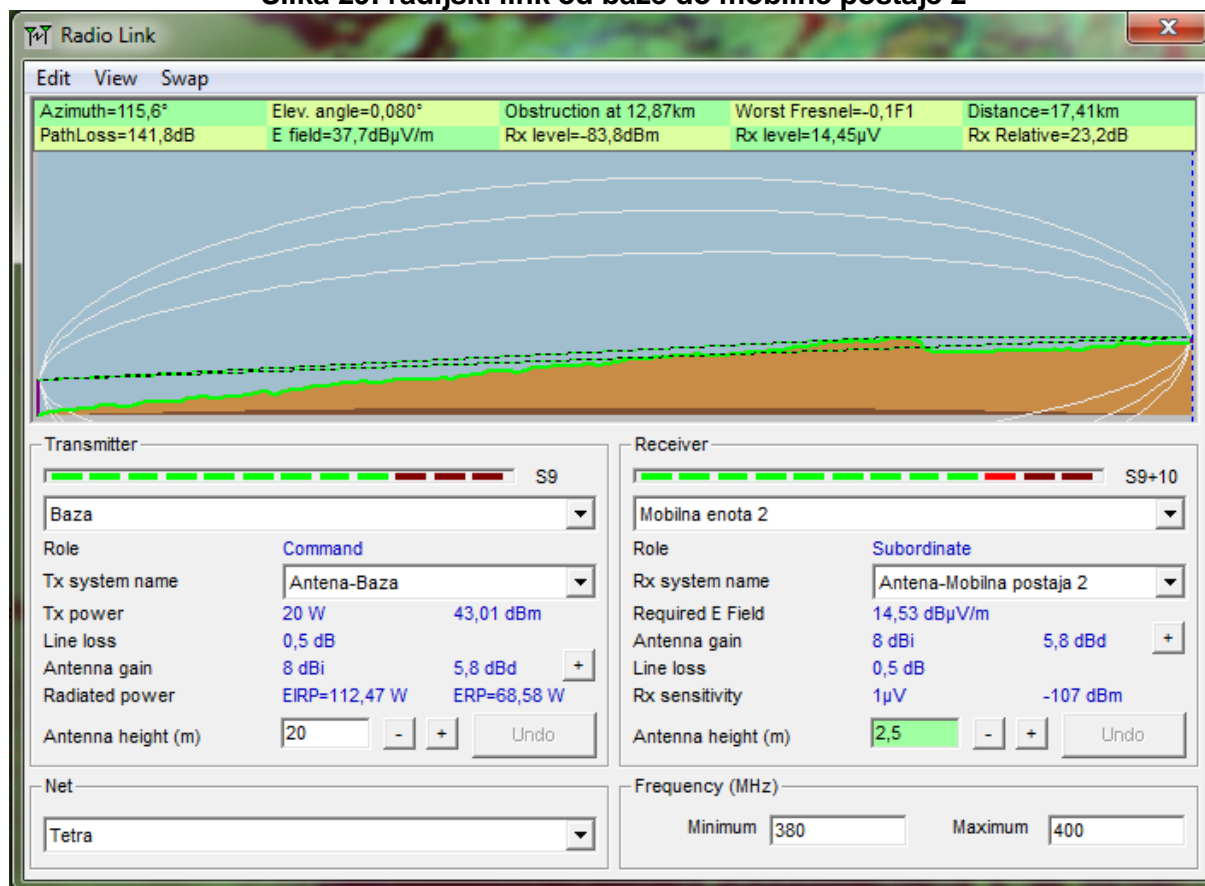
Slika 28: Cartesian radio coverage



VIR: avtor naloge

Cartesian radio coverage uporabimo takrat, kadar želimo videti pokritost terena ob uporabi več radijskih postaj. Temno rdeča barva prikazuje zelo dobro pokritost. Svetlo zelena barva pomeni zadovoljivo zvezo. V levem zgornjem kotu slike je podana jakost signala v μV , kjer pomeni rdeča barva najboljšo pokritost signala, modra in siva pa najslabšo. Čeprav je mobilna enota 2 v dosegu ene celice, ni v območju najboljše pokritosti. Razlog za to je razgiban teren, kar pomeni, da ni optične vidljivosti. Signal še vedno je, le ta je posledica Fresnelovih con. Več o tem si bomo pogledali pri naslednji sliki 9.

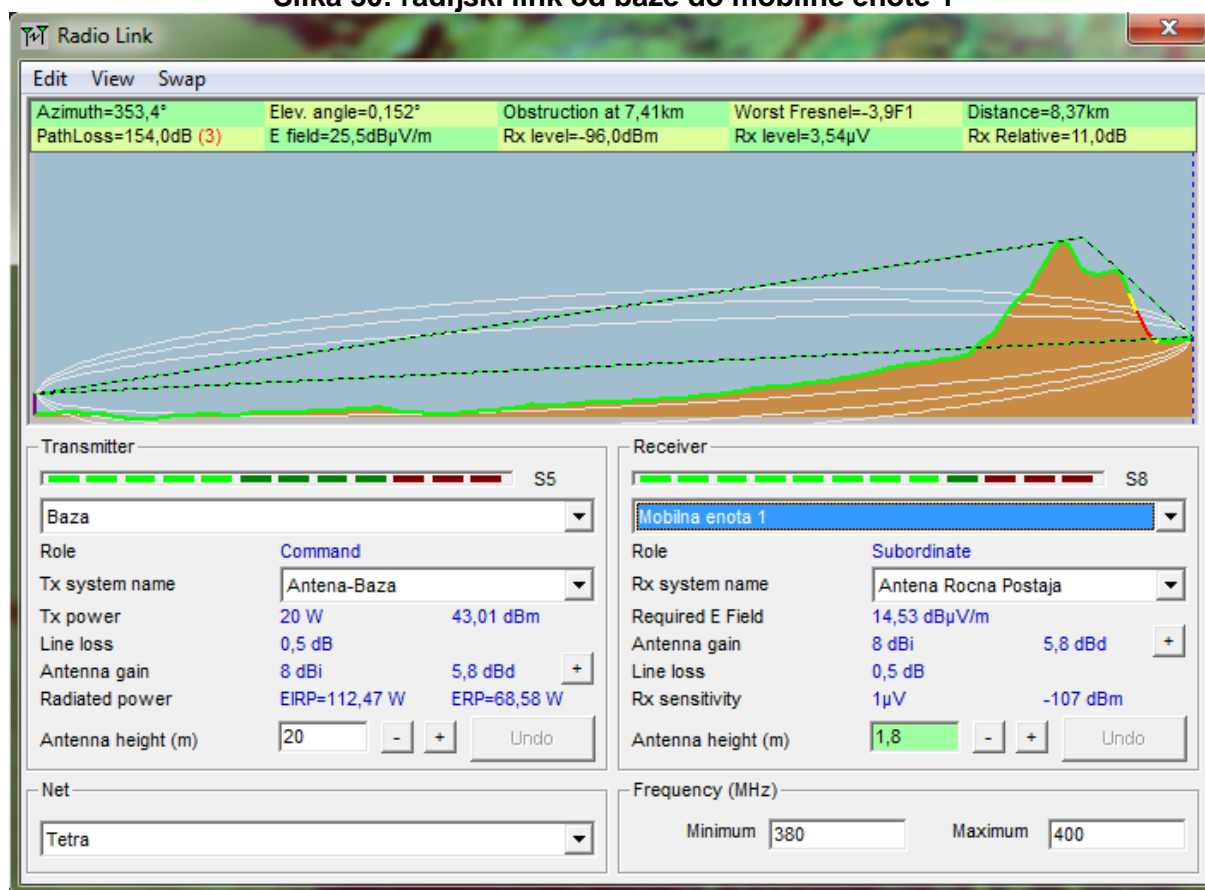
Slika 29: radijski link od baze do mobilne postaje 2



VIR: avtor naloge

Na tej sliki je lepo vidno, da ni optične vidljivosti med bazo ter mobilno enoto 2, saj se teren od baze navzven rahlo dviguje. Ta simulacija nam da veliko koristnih informacij, od azimuta, ki je v tem primeru 115,6°, do elevacije, pokaže nam točno razdaljo med obema postajama, pokaže nam na kakšni razdalji se nahaja ovira, ki preprečuje vizualni stik (na razdalji 12,87km), koliko signala je bilo izgubljenega ipd. Vsi ti izračuni nam lahko pomagajo pri načrtovanju pokritosti terena, kje naše enote še bodo imele signal in kje ne. Vsi ti podatki nam preventivno lahko preprečijo izgubo zveze, kar pa za enote v Afganistanu ne pride nikakor v poštev. Načrtovanje zvez je ena izmed najpomembnejših stvari, ki jih patrolija poleg ostalega načrtovanja mora zagotavljati. Biti brez zvez, pomeni biti odrezan od baze ter posledično biti brez pomoči ob stiku z sovražnikom.

Slika 30: radijski link od baze do mobilne enote 1

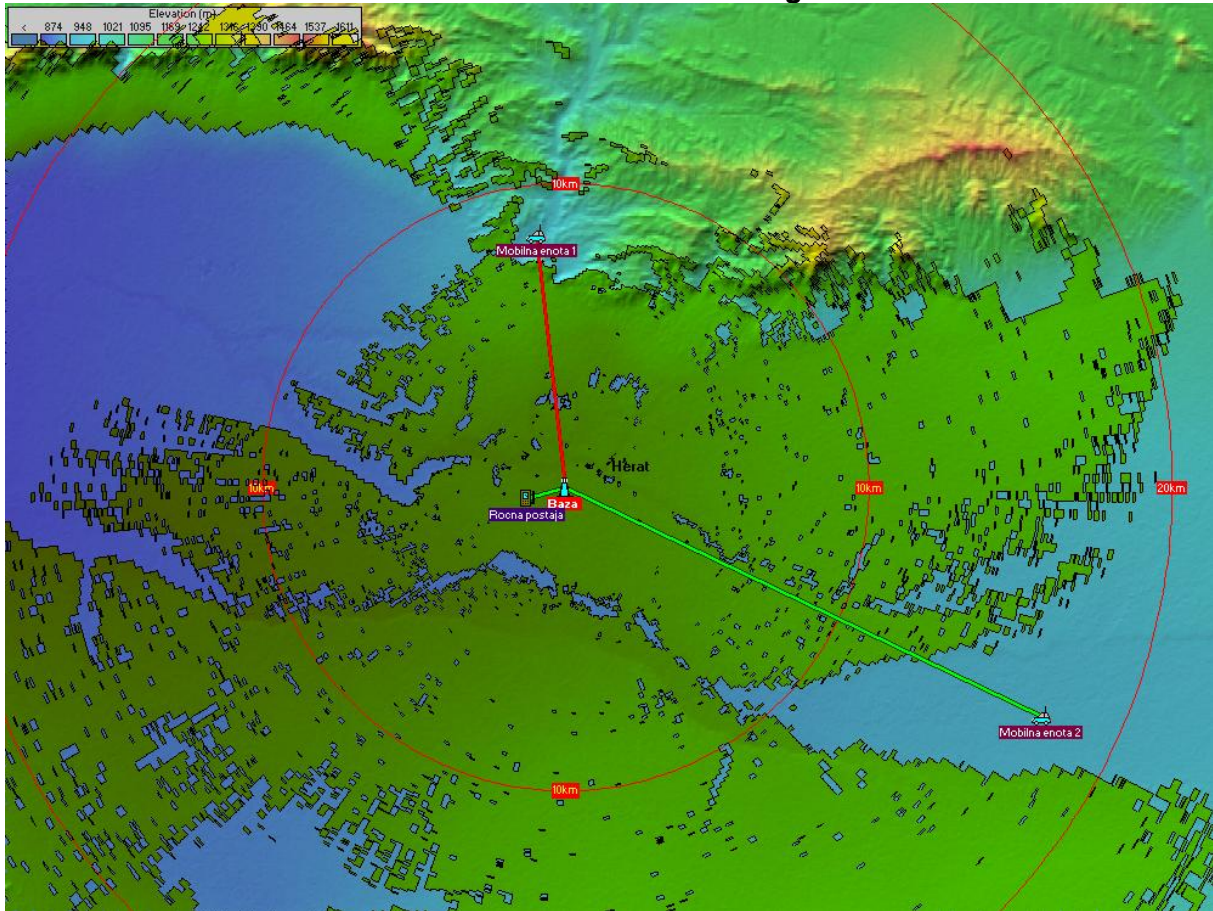


VIR: avtor naloge

V tem primeru sem postavil mobilno enoto za hrib. Vidimo, da je prevelika izguba signala, kar pomeni da zveza ne deluje. V tem primeru nam ostane še samo delovanje TETRE preko satelita, ali pa da se premaknemo na kak drug položaj.

Afganistan je poln takšnih in drugačnih prepek, vpliv vremena na zveze je ogromen, saj so lahko med dnevom in nočjo velike temperaturne razlike, da ne omenjam peska, ki konstantno kroži v ozračju.

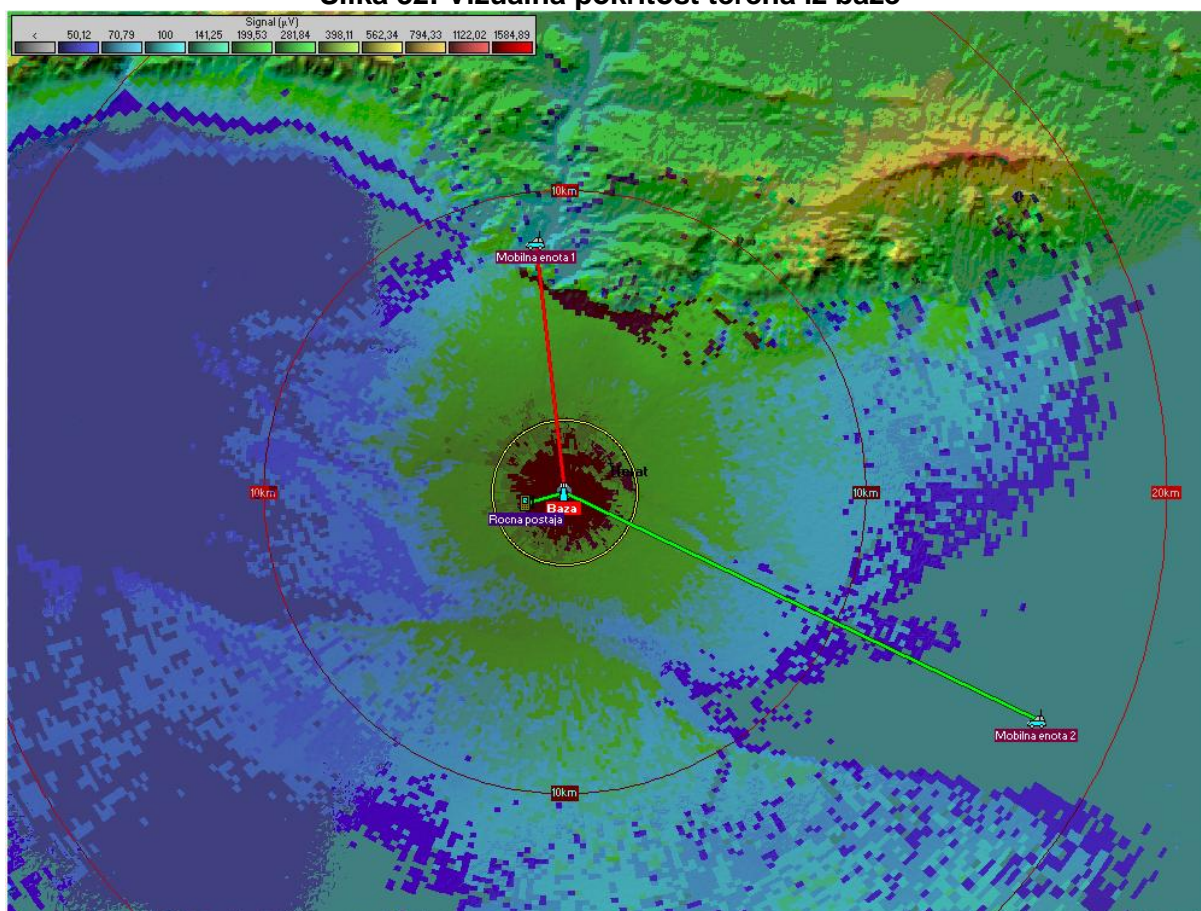
Slika 31: Polar radio coverage



VIR: avtor naloge

Polar radio coverage uporabimo za simulacijo pokritosti terena ene same postaje (npr. broadcast). Na sliki 11 vidimo v kakšnem obsegu oddaja bazna postaja (zelena barva).

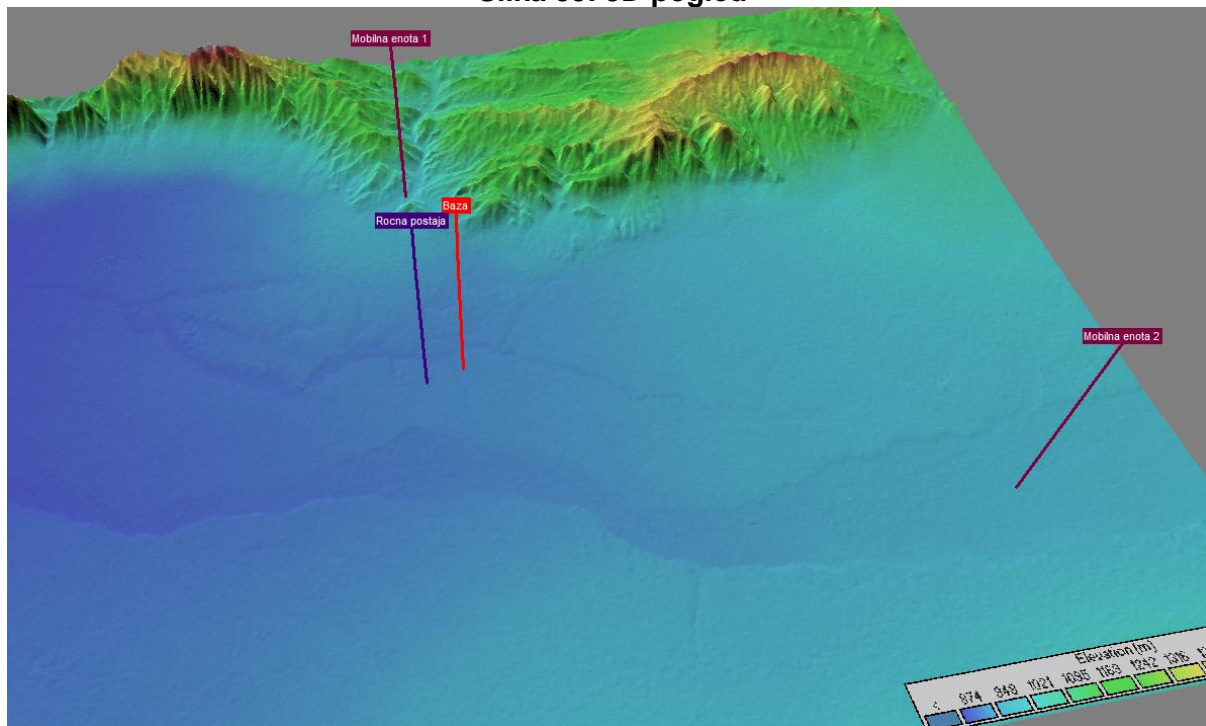
Slika 32: Vizualna pokritost terena iz baze



VIR: avtor naloge

Zaradi terena in vremena vidimo, da je vidljivost dokaj slaba. Najboljša je v obsegu 1km (temno rdeča barva), za tem pa prične znatno padati. Če pogledamo postajo mobilna enota 2, opazimo da ni v vidnem območju, le to preprečujejo manjši vzponi in padci terena, ki so nekje na oddaljenosti med 10-13km od bazne postaje proti mobilni postaji 2 (glej sliko 9). Pri tej sliki lahko sklepam, oziroma potrdim svojo hipotezo na začetku te simulacije, kjer sem omenil, da faktorjev, kot je vreme, sestava tal in razgibanost terena, nikakor ne moremo zanemariti.

Slika 33: 3D pogled



VIR: avtor naloge

Kot zanimiv dodatek je 3D pogled terena, ki nam olajša razumevanje le tega. Iz slike vidimo, da je Herat na nadmorski višini okoli 800m (Maribor leži na nadmorski višini 273m). V okolici se gore dvignejo tudi do 5000m. Za še bolj zanimiv pogled, si pa lahko izberemo flight simulator, v katerem načrtujemo pot premika, nato pa s simulacijo flight pregledamo teren iz ptičje perspektive. Tehnologija danes nam omogoča ogromno, odvisno je samo od nas, koliko jo znamo uporabiti in izkoristiti v našo prid.

8.1 ZAKLJUČEK

Zelo so me presenetili podatki o vizualni pokritosti (slika 12), saj sem na podlagi slik sklepal, da je le ta izvrstna. Videz lahko vara. Na podlagi te manjše simulacije sem ugotovil, da ni vseeno, kam postaviti našo enoto, da bo še imela zadovoljiv signal in posledično zadovoljivo zvezo.

Zveza v bližini baze ne predstavlja problema, le to bi si lahko zagotavljali sami. Za večje razdalje je pa potreben drugačen pristop, ki morda ni več v domeni Slovenske vojske, temveč nadrejene enote, kot sem že omenil v seminarski nalogi.

Z dobro taktično postavitvijo mobilnih postaj, ki bi lahko služile kot postaje za ojačanje signala ali kot postaja za tranzitiranje sporočila, bi morda rešili problem slabše pokritosti terena s signalom, in s tem posledično podaljšali doseg. Vemo pa, da iz taktičnega vidika, enote ne morejo biti »preveč statične«.

Slovenska vojska za potrebe OMLT potrebuje zanesljive zveze, kjer jih jaz osebno vidim v povezavi preko satelita, saj s tem povečamo mobilnost enote in bolj verjetno zvezo. Zveza je nekaj, na kar enote v boju ne smejo in tudi ne morejo preveč razmišljati, le te morajo biti in tudi delovati. V domeni načrtovalca zvez pa je, da vse to omogoči, kar pa kot poznavalec telekomunikacijskih sistemov vem, da je včasih težje zagotoviti, kot sprva kaže.

Kot zanimivost bi želel dodati, da sem enkrat slišal primerjavo (ki mi je bila zelo všeč), da vezisti opravljamo »nevidno delo«, kot korenine pri drevesu. Noben jih ne vidi, kot rezultat vidimo samo uspešno rastoče drevo. Seveda k temu pripomorejo tudi listi, deblu, veje, skozi

katere deluje svetloba. Kohezivnost vseh teh posameznih delčkov pa posledično doprinese k mogočnemu drevesu.

Upam in želim si, da bi vsak vezist (s)poznal pomembnost svojega dela, saj je prav tako pomembno kot bilo kateri drugi rod v vosjki. Skupaj smo močni!

9. IZRAČUN IDEALNE CELIČNE STRUKTURE OMREŽJA

Predlagana idealna celična struktura omrežja temelji na predpostavljenih celicah polmera 5 km, višina vseh oddajnikov je 50 m, moč oddajnikov je 20 W. Izračunane so moči elektromagnetnega polja v prostoru na višini 1.5 m, po modelu, ki temelji na enačbi:

$$P_s = P_o * \left[\frac{h_o h_s}{d^2} \right]^2 \quad [W]$$

pri kateri je:

P_o - moč oddajnika (W)

P_s - moč signala pri sprejemniku (W)

h_o - višina oddajnika (m)

h_s - višina sprejemnika (m)

d - razdalja med oddajnikom in sprejemnikom (m)

Pri izračunu je upoštevano minimalno dovoljeno razmerje ($10\log(P_c/P_i)$) med koristnim signalom in šestimi motilnimi signali istokanalnih celic, ki pri TETRA znaša 19 dB oziroma P_c/P_i ki znaša 79,433. Minimalna razdalja med središčema dveh istokanalnih celic je izračunana po enačbi:

$$K = R + \sqrt[4]{6 \frac{P_c}{P_i}} * R * kf = 24,38 \text{ km}$$

K - razdalja med središčema istokanalnih celic (km)

R - polmer celice (km)

P_c - moč koristnega signala (W)

P_i - moč motilnega signala (W)

kf - korekcijski faktor = 0,8296645 (/)

Izračun je narejen na predpostavki, da so parametri vseh celic enaki. Izračunana minimalna razdalja med istokanalnima celicama je 24,38 km.

$$a = 1 + \sqrt[4]{6 \frac{P_c}{P_i}} * 0,8296645 = 4,88$$

Število potrebnih frekvenc je:

$$N = \frac{a^2}{3} = 7,9 \Rightarrow N = 9$$

Na tej podlagi je možno določiti minimalno potrebno število dupleksnih parov v omrežju, ki ob predpostavki, da je v vsaki celici uporabljen samo en dupleksni par, znaša 9.

Omrežje s celicami polmera 5 km je predvidoma primerno za ročne radijske postaje. Jakost polja na robu celice je 58 dBuV/m, kar ustreza jakosti signala na sprejemniku radijske postaje -67,44 dBm. Minimalna potrebna jakost signala na sprejemniku radijske postaje je -112 dBm statično in -103 dBm dinamično.

Jakost polja pri bazni postaji je ob predpostavki, da je moč ročne postaje 2W, 48 dBuV/m, kar ustreza jakosti signala na sprejemniku bazne postaje -77,44 dBm. Minimalna potrebna jakost signala na sprejemniku bazne postaje je -115 dBm statično in -106 dBm dinamično.

10. ZAKLJUČEK

Sistem TETRA je odličen komunikacijski pripomoček za komuniciranje v mednarodnih operacijah in misijah, kot so operacije kriznega odzivanja. Predvsem je zelo uporaben v operacijah ohranjanja miru. Težko je trditi, da bo sistem zadovoljeval potrebe Slovenske vojske na vseh mednarodnih operacijah. Predvsem to velja za operacije vsiljevanja miru (Peace making).

Sistem TETRA poleg govornih komunikacij ponuja tudi celo paleto za mednarodne operacije zelo uporabnih podatkovnih storitev. Med osnovne podatkovne storitve uvrščamo statusna in tekstualna sporočila (SMS). Ko govorimo o naprednih podatkovnih storitvah, imamo v mislih, dostopanje do interneta ter možnost brskanja po podatkovnih bazah. Trg pa ponuja čedalje več specifičnih podatkovnih aplikacij, ki vojskam v mirovni operacijah zelo olajšajo delo. Te aplikacije omogočajo prenos slike, ter s tem preverjanje identitete iskane osebe ali ukradenega vozila, omogočajo avtomatsko sledenje vozilom, konvojem ali osebam.

Uporaba TETRA omrežja preko satelita na MOM-u, predvsem Afganistan, kjer je trenutno težišče dogajanja, bi lahko bila ključnega pomena. Če bi ta sistem deloval z večjo gotovostjo, bi olajšali komunikacijske poti med vojskami. Afganistan, zaradi svojega značilnega terena in podnebja, predstavlja za uspešnost zvez večni izziv. Prav tako se pojavijo težave pri satelitih. Le ti so v pomanjkanju, zaradi česa smo primorani zakupiti določeno pasovno širino na eni komunikacijski poti Zemlja – Satelit – Zemlja, ki pa žal ne zadostuje pošiljanju večjih količin podatkov. Digitalizacija bojišča pa narekuje predvsem to, realno sliko bojišča v vsakem trenutku.

Z razvojem tehnologije se na eni strani povečujejo zmožnosti telekomunikacijskih sistemov, po drugi strani pa se povečuje njihova kompleksnost, kar neizbežno slabo vpliva na varnost. Do sedaj so se varnostni problemi v zasebnih sistemih radijskih zvez reševali večinoma naknadno, z dodajanjem posameznih varnostnih elementov v telekomunikacijske sisteme. V prihodnje bodo morali biti rešeni v okviru tehnologij telekomunikacijskih sistemov, kot njihov integralni del.

Dejstva, kot so hitra postavitve omrežja, možnost sodelovanja z ostalimi oboroženimi silami na mirovni operaciji ter opcija komunikacije preko satelita, so le še dodatne prednosti, ki bi jih imela uporaba sistema TETRA v mednarodnih operacijah.

Slovenska vojska za potrebe OMLT potrebuje zanesljive zveze, kjer jih jaz osebno vidim v povezavi preko satelita, saj s tem povečamo mobilnost enote in bolj verjetno zvezo.

LITERATURA

- [1] P. Böhm, Profesionalni sistem brezžičnih komunikacij TETRA, Diplomsko delo, 2005
- [2] S.Cvar, Digitalni sistemi radijskih zvez TETRA, Diplomsko delo, 2006
- [3] dr. G. Kandus, M. Švajger, T. Javornik, I. Ozimek, Digitalni profesionalni radio TETRA in podatkovne komunikacije v sistemu distribucije električne energije, 2007
- [4] dr. G. Kandus, Komunikacijski sistemi, stran 80
- [5] dr. G. Kandus, M.Mohorič, A. Hrovat, M. Smolnikar, I. Ozimek, Uporaba TETRA za daljinsko merjenje in krmiljenje pri varovanju pred naravnimi in drugimi nesrečami, 2009
- [6] R. Novak, Satellite Interconnection of TETRA Networks via Inter-System Interface, Inštitut Jožefa Štefana, Ljubljana, 2008
- [7] J.Prezelj, Uporaba sistema TETRA v mednarodnih operacijah, Diplomsko delo, 2007
- [8] B. Tavčar, Modeli za izračun oddaljenosti istokanalnih celic v celičnih radijskih omrežjih, Ljubljana, 2000
- [9] B. Tavčar, Varnost v zasebnih sistemih radijskih zvez
- [10] dr.B. Vlaovič, A. Romih, Elektromagnetno valovanje, stran 98 – 131, 2010
- [11] <http://www.army-technology.com/features/feature1247/>
- [12] http://defense-update.com/products/m/milicor_eads_tetrapol_12062010.html
- [13] http://ids.nic.in/tnl_jces_mar_2010/TBA.htm
- [14] MIBO Komunikacije, Študija uvajanja sistemov radijskih zvez TETRA, Ljubljana 2001

SEZNAM SLIK IN TABEL

Slika 1: Daljinske in Nosilne storitve sistema Tetra	5
Slika 2: prikazuje dosegljive hitrosti prenosa podatkov	6
Slika 3: Razdelitev modela OSI na krmilno in uporabniško ravnino	7
Slika 4: Nosilci (f) in fizični kanali (t).....	8
Slika 5: Protokolni sklad radijskega vmesnika v načinu delovanja V+D	8
Slika 6: Protokolni sklad DMO	11
Slika 7: Primerjava TETRA V+D in PDO.....	13
Slika 8: je matrika, ki prikazuje različne pasovne širine RF kanalov in hitrosti prenosa podatkov, podprte v TEDS	14
Slika 9: Povezava omrežja TETRA z drugimi omrežji	15
Slika 10: Pregled spektralne učinkovitosti.....	17
Slika 11: TETRA omrežna arhitektura preko satelita	20
Slika 12: Elementi kakovosti storitev.....	21
Slika 13: Povezavo med različnimi elementi varnosti.....	23
Slika 14: Postopek overovitve v sistemu TETRA	24
Slika 15: Postopek kriptografske zaščite radijskega vmesnika.....	24
Slika 16: Tactical Battle Area (TBA).....	27
Slika 17: Fregate Maestrale 123m.....	29
Slika 18: TETRA pogodbe v letu 2007.....	30
Slika 19: Camp Arena v Heratu (Afganistan)	31
Slika 20: Definira se lahko več omrežij, sprejemnik ali oddajnik je enota, lastnosti skupine enot pa opisuje sistem.....	34
Slika 21: Kreiranje enot	35
Slika 22: Kreiranje omrežja.....	36
Slika 23: Kreiranje sistema- bazna postaja	37
Slika 24: Kreiranje sistema – mobilna postaja	38
Slika 25: Kreiranje sistema – ročna postaja	39
Slika 26: Membership - Članstvo	40
Slika 27: Postavitev postaj v radiusu 10km.....	41
Slika 28: Cartesian radio coverage.....	42
Slika 29: radijski link od baze do mobilne postaje 2	43
Slika 30: radijski link od baze do mobilne enote 1	44
Slika 31: Polar radio coverage.....	45
Slika 32: Vizualna pokritost terena iz baze	46
Slika 33: 3D pogled	47
Tabela 1: Parametri sistema TETRA	2
Tabela 2: Hitrost prenosa podatkov pri storitvi vodovne zvrsti	10
Tabela 3: Tehnični podatki TETRA in GSM	18
Tabela 4: Primerjava hitrosti.....	18
Tabela 5: Priporočene vrednosti valovitosti terena - Δh	32
Tabela 6: Priporočene vrednosti električnih konstant tal	33
Tabela 7: Priporočene vrednosti površinske lomljivosti – N_s (vpliv podnebja).....	33

SEZNAM IN RAZLAGA UPORABLJENIH KRATIC

A/D	A/D converter	Analogno Digitalni pretvornik
D/A	D/A converter	Digitalno Analogni pretvornik
DM/T	Direct Mode / Trunked	Neposredno delovanje / snopovno
DMO	Direct Mode Operation	Neposredno delovanje
ETSI	European Telecommunications Standarts Institute	Evropski standardizacijski institut za telekomunikacije
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Frekvenčno porazdeljeni sodostop
GPS	Global Positioning System	Globalni sistem za pozicioniranje
GSM	Global System for Mobile Communications	Globalni sistem za mobilno komunikacijo
MUX	MultipleXer	Multiplekser
OSI	Open System Interconnection	Povezovanje odprtih sistemov
PAMR	Public Access Mobile Radio	Javni mobilni radio
PDO	Packet Data Optimized	Optimiran paketni prenos podatkov
PMR	Private Mobile Radio	Privatni mobilni radio
PSTN	Public Switched Telephone Network	Javno komutirano telefonsko omrežje
TDMA	Time Division Multiple Access	Časovno porazdeljeni sodostop
TEI	Terminal Equipment Identifier	Identifikator terminalskega priključka
TETRA	TERrestrial TRunked RAdio	Prizemeljski snopovni radio
TMO	Trunking Mode Operation	Snopovni način delovanja
V+D	Voice plus Data	Govor + Podatki

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani kandidat za častnika desetnik Tomaž Zelenik izjavljam, da sem v celoti avtor zaključne naloge z naslovom »Uporaba digitalnega radijskega sistema TETRA na MOM«.

**desetnik
Tomaž Zelenik**