

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko



Projektna naloga pri predmetu prenosni sistemi

## **Spremljanje sistema ZARE in dekodiranje POCSAG sporočil s pomočjo SDR**

**Avtor:**

David Rupnik, dipl. inž. el. (UN)

Ljubljana, januar 2020

# Kazalo vsebine in slik

## Vsebina

Uvod.....	3
1. Zgradba in delovanje sistema ZARE.....	4
1.1. Delitev sistema ZARE .....	5
1.1.1. ZARE+ .....	6
1.1.2. ZARE DMR .....	6
1.2. Zgradba sistema ZARE.....	7
2. Podsystem osebnega klica in dekodiranje sporočil .....	8
2.1. Zgradba in delovanje podsistema osebnega klica .....	8
2.2. Opis POCSAG protokola in FSK modulacije.....	10
2.2.2. Osnoven opis FSK modulacije.....	11
2.3. Dekodiranje POCSAG sporočil .....	12
2.3.1. Nastavitve programske opreme in dekodiranje.....	13
Viri in literatura.....	18

## Slike

Slika 1 - lokacije ReCO po Sloveniji .....	4
Slika 2 - pokritost Slovenije s sistemom ZARE .....	5
Slika 3 - bazne postaje sistema ZARE+.....	6
Slika 4 - groba zgradba sistema ZARE.....	7
Slika 5 - groba zgradba sistema osebnega klica.....	8
Slika 6 - shema spodnje oddajniške mreže .....	9
Slika 7 - posnetek podvojenega sporočila.....	9
Slika 8 - osnovna zgradba POCSAG sporočila.....	10
Slika 9 - prikaz FSK modulacije.....	11
Slika 10 - izbira strojne opreme .....	13
Slika 11 - primer odstopanja frekvence in razlike v ojačenju.....	14
Slika 12 - pošiljanje signala v drug program .....	15
Slika 13 - nastavljanje vzorčevalne frekvence.....	15
Slika 14 - izbira protokola.....	16
Slika 15 - nastavitve vzorčenja signala.....	16
Slika 16 - sprejeto sporočilo v programu SDR# .....	17
Slika 17 - dekodirano sporočilo .....	17

## Uvod

Kamorkoli se dandanes obrnemo, imamo oziroma uporabljamo že neko vrsto radijske komunikacije. Za trenutno največji profesionalni sistem radijskih zvez v Sloveniji pa večina ljudi niti ne ve, da obstaja in kako sploh deluje.

S to projektno nalogo želimo vsem, ki jih zanima delovanje sistema ZARE, na kratko predstaviti kako je sistem zgrajen, kako deluje in kdo vse ga uporablja. Na koncu bomo predstavil tudi enega od načinov kako lahko vsak doma s pomočjo nekaj relativno poceni »hardware-a« in zastonj »software-a« spremlja, kaj počnejo gasilci, reševalci ali civilna zaščita ter kje se kaj dogaja.

Komunikacija preko sistema ZARE ni enkriptirana in s spremljanjem dogajanja nikakor ne vdiramo v sistem. Vseeno pa gre tukaj po vsej verjetnosti za nepooblaščen uporabo sistema, kar je verjetno lahko pod določenimi pogoji tudi kaznivo, glede na to, da dekodirana sporočila lahko vsebujejo tudi občutljive osebne podatke tretjih oseb. Zaradi tega želimo še posebej poudariti, da je ta projektna naloga le informativne narave in da ste za kakršno koli početje, ki je v nasprotju z veljavnimi zakoni, odgovorni sami.

# 1. Zgradba in delovanje sistema ZARE

V Sloveniji uporabljamo enoten in povsem avtonomen sistem radijskih zvez, ki se imenuje ZARE. Za delovanje in vzdrževanje sistema je odgovorna Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, na kratko URSZR. Središča sistema, kjer se z njim upravlja, so v tako imenovanih regijskih centrih za obveščanje (ReCO). Sistem je razdeljen na 13 regijskih centrov po celotni Sloveniji, ki so aktivni 24 ur na dan in 365 dni v letu in sprejemajo klice na številko 112, ki jih je na leto približno okoli 500000. Deluje na frekvencah od 168MHz do 174MHz z razmikom kanalov za 12,5kHz.

## Lokacije ReCO:

- Brežice
- Celje
- Koper
- Ljubljana
- Kranj
- Maribor
- Murska Sobota
- Nova Gorica
- Novo mesto
- Postojna
- Ptuj
- Slovenj Gradec
- Trbovlje



*Slika 1 - lokacije ReCO po Sloveniji*

## 1.1. Delitev sistema ZARE

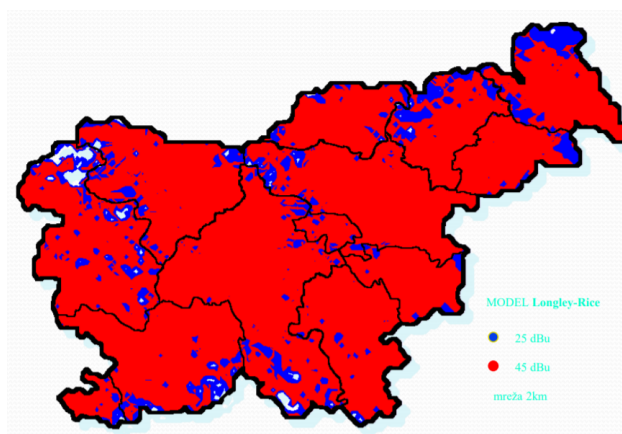
V osnovi se sistem ZARE deli na dva funkcionalna podsistema:

- sistem radijskih zvez
- sistem osebnega klica

Podsistem radijskih zvez nam omogoča neposredne (repetitorske) in posredne (simpleksne) zveze med radijskimi postajami in neposredne (repetitorske) zveze z ReCO-ti. Imamo 32 semiduplexnih kanalov (SD) in 36 simpleksnih kanalov (Si). SD kanali se uporabljajo za komunikacijo z ReCO-ti, Si kanali pa za medsebojno komunikacijo na terenu. Pri semiduplexnih kanalih se frekvenca oddajanja in sprejemanja razlikuje. Pri simpleksnih kanalih pa sprejem in oddaja potekata na isti frekvenci.

Podsistem osebnega klica pa se uporablja za tiho alarmiranje gasilskih enot v primeru intervencij. Deluje na frekvenci 173.25MHz z 12.5kHz pasovne širine (NFM). Za kodiranje sporočil je v uporabi POCSAG (1200bps) protokol, kjer gre za FSK (2-FSK, BFSK) modulacijo. Pri nas se uporablja 12.5kHz širina kanala z  $\pm 1,5$ kHz deviacijo. Ti dve frekvenci pa predstavljata logično 0 ali 1.

Sistem ZARE je po obsegu v Sloveniji največji profesionalni sistem radijskih zvez in pokriva kar 95% celotnega območja države. S pomočjo mobilnih repetitorjev pa lahko dosežemo tudi 100% pokritje.

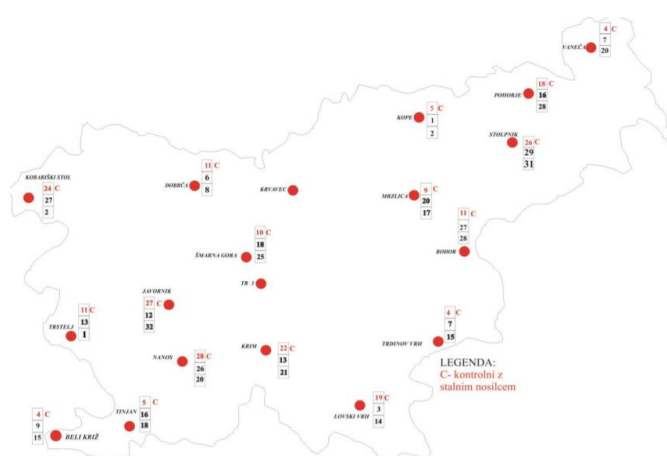


Slika 2 - pokritost Slovenije s sistemom ZARE

Poleg sistema ZARE imamo v Sloveniji tudi še dva sorodna sistema, ki se imenujeta ZARE+ in ZARE DMR, ki sta na kratko opisana spodaj.

### 1.1.1. ZARE+

ZARE PLUS je novejši sistem radijskih zvez, ki je v uporabi v glavnem za potrebe nujne medicinske pomoči oziroma reševalcev. Uporabljajo ga tudi določene gasilske enote (prometne nesreče, nevarne snovi), civilna zaščita in centri za obveščanja. Sistem deluje v UHF področju in sicer v frekvenčnem območju od 457MHz do 468MHz. To vse skupaj omogoča 18 baznih postaj po celotni Sloveniji. V tem sistemu ima vsaka radijska postaja tudi svojo unikatno identifikacijsko številko. Sistem omogoča individualne in skupinske klice, klice vsem (klic po celotni Sloveniji) in tudi klic v javno telefonsko omrežje.



Slika 3 - bazne postaje sistema ZARE+

### 1.1.2. ZARE DMR

Pri sistemu ZARE DMR (digitalni mobilni radio) gre za digitalni radijski sistem. Trenutno se ga v večini uporablja za daljinsko krmiljenje in nadzor sistema javnega alarmiranja. Sistem trenutno pri nas sestavlja 32 baznih postaj, vsaka od teh baznih postaj pa ima dva logična kanala. Prvi kanal se uporablja za nadzor in krmiljenje, drugi kanal pa je prost ali pa se uporablja testno za prenos govora.

Ta sistem predstavlja novo generacijo profesionalnih radijskih zvez in je bil razvit oziroma standardiziran iz strani evropskega telekomunikacijskega inštituta za standardizacijo – ETSI. Sistem bazira na tehnologiji TDMA (časovni sodostop), kar omogočata dva kanala. Tako lahko istočasno prenašamo dva pogovora hkrati, ali pogovor in podatke.

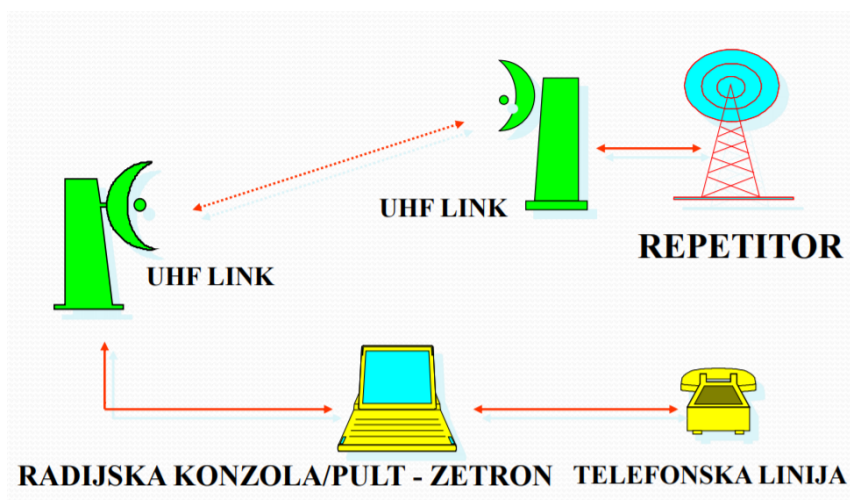
Ta sistem uporabnikom omogoča kar nekaj izboljšav:

- podvojena zmogljivost sistema napram analognemu ZARE sistemu
- zaradi digitalnega sistema sta kakovost zvoka in pokritost terena izboljšana
- znižanje stroškov
- nižja poraba električne energije (delovni čas radijske postaje +40%)
- DMR sistem lahko dela v digitalnem ali analognem načinu
- možnost sledenja

## 1.2. Zgradba sistema ZARE

Sistem ZARE je v grobem zgrajen iz terminalov, ki so v regijskih centrih za obveščanje, repetitorjev (oddajnikov osebnega klica), digipiterjev ter UHF linkov, ki povezujejo centre za obveščanje in repetitorje. V sklopu podsistema radijskih zvez ta infrastruktura omogoča prenos govora preko repetitorja ali verige repetitorjev do drugih uporabnikov, v sklopu podsistema osebnega klica pa omogoča prenos kratkih alfanumeričnih sporočil do uporabnikov znotraj določenih območij, ki so geografsko zaklenjena, da se sporočila ne pošiljajo po celi Sloveniji.

Prednost infrastrukture tega sistema je, da je sistem neodvisen od javnih telekomunikacijskih sistemov, deluje v izrednih razmerah, je enostaven za uporabo in okvara enega dela sistema nima vpliva na delovanje ostalih delov.



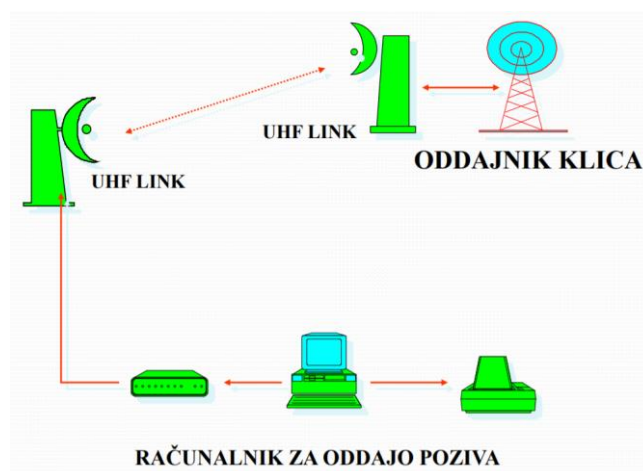
Slika 4 - groba zgradba sistema ZARE

## 2. Podsystem osebnega klica in dekodiranje sporočil

V sistem radijskih zvez ZARE je vključen tudi podsystem osebnega klica, ki ga imenujemo sistem tihega alarmiranja. Ta sistem se uporablja za pošiljanje kratkih alfanumeričnih (tekstovnih) sporočil preko oddajnikov osebnega klica, ki jih na drugi strani sprejmejo pozivniki (angl. pager-ji). Frekvenca na kateri sistem deluje je 173.250MHz in je enotna na območju celotne države. Sporočila se prenašajo po zraku s pomočjo frekvenčne modulacije, ki se imenuje FSK (angl. frequency-shift keying). Podatkovno sporočilo je kodirano s pomočjo protokola POCSAG. Sporočila so demodulirana in dekodirana lokalno na sprejemnikih, ki jih uporabljajo pripadniki gasilskih enot. Ker pa je uporabljena modulacija enostavna ter uporabljen protokol za kodiranje javno opisan, nam to omogoča relativno enostavno dekodiranje sporočil in prikaz le teh.

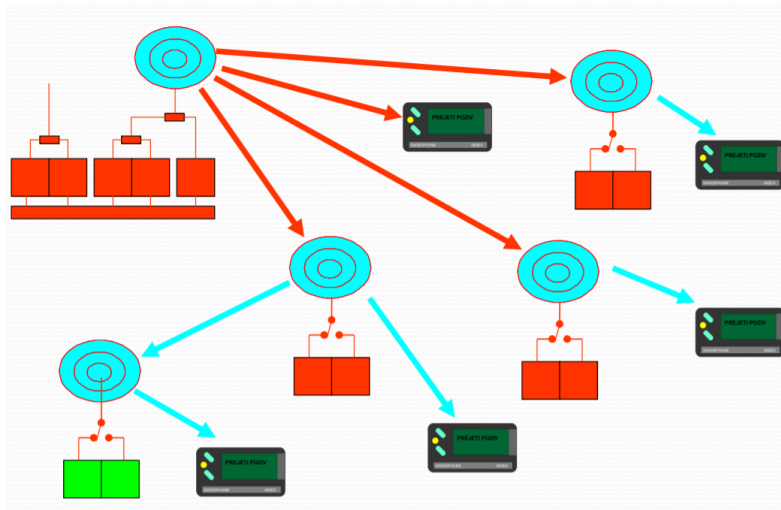
### 2.1. Zgradba in delovanje podsistema osebnega klica

Podsystem osebnega klica je zgrajen zelo podobno kot podsystem radijskih zvez. Operater v regijskem centru za pošiljanje tekstovnih sporočil uporablja namenski računalniški terminal, ki sporočilo kodira po POCSAG protokolu in pošlje naprej v napravo, ki izvede FSK modulacijo na nosilni frekvenci, ta signal pa se potem preko UHF link-a prenese do oddajnikov oziroma digitalnih repetitorjev in na to do uporabnikov. Sistem je sestavljen iz 60 oddajnikov in 69 digitalnih repetitorjev – digipiterjev. Groba shema sistema je prikazana na sliki 5. Pomanjkljivost tega sistema pa je, da operater v centru ne dobi povratne informacije ali so uporabniki sporočilo prejeli.

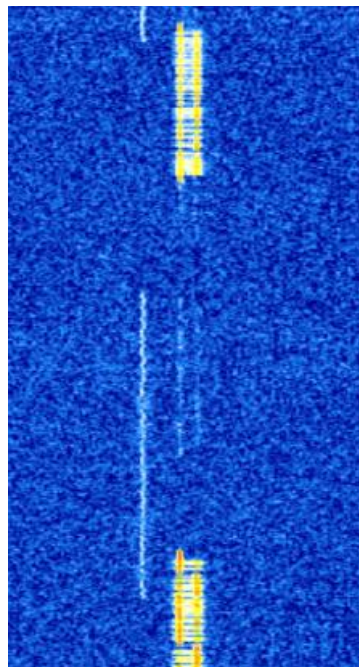


Slika 5 - groba zgradba sistema osebnega klica

Po terenu je nameščenih več digipiterjev, ki poskrbijo, da se sporočilo zagotovo prenese po celotnem območju in da ga prejmejo vsi uporabniki. Na sliki 6 je prikazana okvirna shema tako imenovane spodnje oddajniške mreže. Posledica tega je, da uporabniki lahko prejmejo tudi podvojena sporočila v primeru, da so v bližini dveh digipiterjev, kar je vidno na sliki 7 spodaj.



Slika 6 - shema spodnje oddajniške mreže



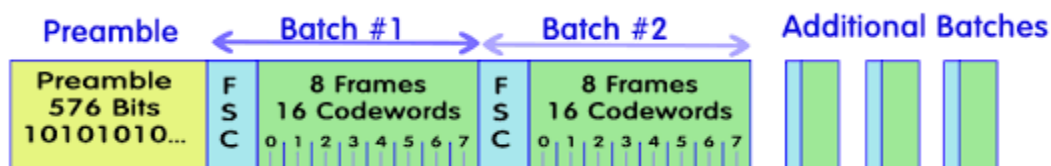
Slika 7 - posnetek podvojenega sporočila

## 2.2. Opis POCSAG protokola in FSK modulacije

### 2.2.1. Osnoven opis POCSAG protokola

POCSAG je asinhron protokol, ki se uporablja za pošiljanje podatkovnih informacij na tako imenovane pozivnike (angl. pager-je). Podatki kodirani s tem protokolom se lahko prenašajo na eni izmed treh hitrosti prenosa: 512bit/s, 1200bit/s ali 2400bit/s. V Sloveniji uporabljamo Super-POCSAG protokol, ki omogoča hitrost prenosa 1200bit/s.

Sporočilo je formatirano po standardnem postopku, ki je enak za vse tri hitrosti prenosa. Na začetku sporočila se izmenično pojavi 576 enic in ničel, ki jih pozivnik zazna, se prižge ter sinhronizira na hitrost prenosa. Temu sledijo tako imenovani »batch-i«, ki vsebujejo 32 bitno »frame synchronization code« kodo. Ta koda pozivniku naznanja prihajajoče podatke. Za tem sledi 16 32-bitnih »codeword-ov« oziroma podatkovnih kod, ki vsebujejo podatke o naslovih pozivnikov in alfa-numerično sporočilo, ki je kodirano z 7-bitno ASCII kodo. Če pozivnik zazna, da je v sporočilu prisoten naslov, ki je shranjen v spominu pozivnika, le ta zapiska in prikaže sporočilo. Osnovni format sporočila je prikazan na sliki 8.

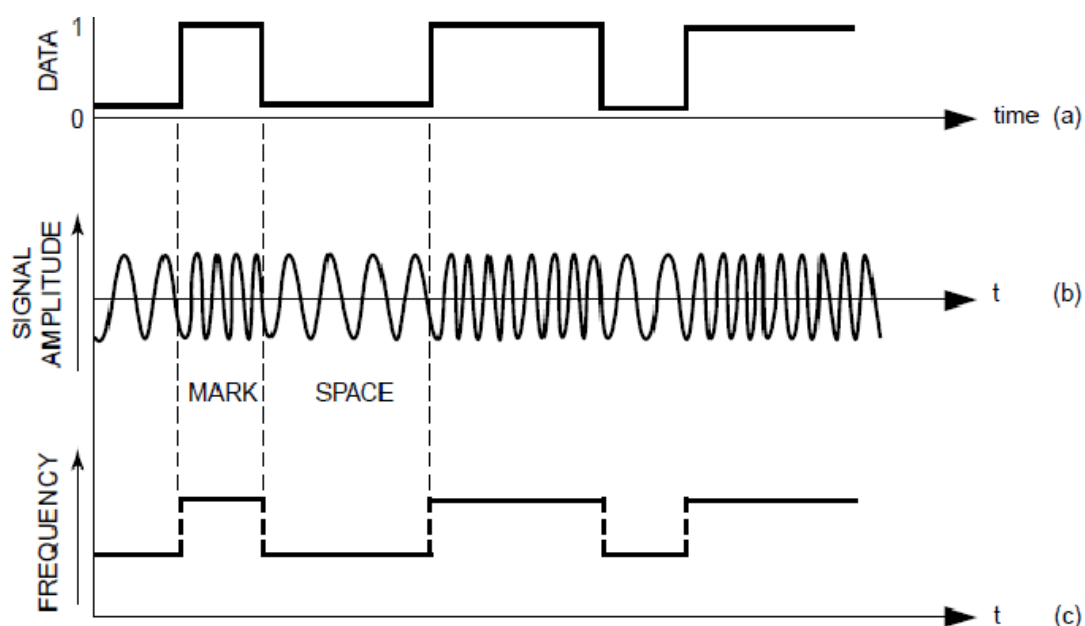


Slika 8 - osnovna zgradba POCSAG sporočila

### 2.2.2. Osnoven opis FSK modulacije

Modulacija, ki se uporablja pri POCSAG protokolu je imenovana FSK oziroma »frequency-shift keying«. Nosilna frekvenca je določena na 173.250MHz (kanal ZARE-40) s pasovno širino kanala 12.5kHz (NFM – »Narrowband FM«) in deviacijo nosilne frekvence za  $\pm 1,5$ kHz.

Na sliki 9 je nazorno prikazano kako FSK modulacija deluje. Signal se prenaša na predpisani nosilni frekvenci, ki se spreminja od spodnje pa do zgornje meje predpisane deviacije. Spodnja meja deviacije predstavlja logično 1, zgornja meja pa logično 0. Tako lahko iz moduliranega signala relativno enostavno obnovimo zaporedje ničel in enic kodiranega sporočila, ki ga lahko enostavno dekodiramo s poznavanjem POCSAG protokola.



Slika 9 - prikaz FSK modulacije

## 2.3. Dekodiranje POCSAG sporočil

S pomočjo ustrezne strojne in programske opreme lahko spremljamo sistem ZARE na kanalu 40, preko katerega se prenašajo tekstovna sporočila ob proženju gasilskih enot.

### Potrebna strojna oprema:

- HackRF One (SDR – »software defined radio«)
- ali RTL-SDR »dongle«

Za namen te projektne naloge sem izbral HackRF One, lahko pa se uporabi kateri koli RTL-SDR »dongle«, ki omogoča sprejem signalov v VHF območju. Seveda so rezultati zelo odvisni od kvalitete in specifikacij strojne opreme.

HackRF One nam omogoča, da lahko vse nastavitve sprejemanja signalov nastavljamo s programsko opremo. Omogoča nam tudi različne nastavitve ojačevalnikov, ki jih programsko nastavlja radio vsebuje. S tem lahko dinamično spreminjamo nastavitve ojačanja, da sprejemamo želen signal najboljše glede na okolje v katerem se nahajamo.

### Potrebna programska oprema:

- SDR# (SDRSharp) - <https://airspy.com/download/>
- VB-CABLE (Virtual Audio Cable) - <https://www.vb-audio.com/Cable/>
- PDW - <https://www.discriminator.nl/pdw/index-en.html>

Program SDR# nam omogoča, da upravljamo z nastavitvami strojne opreme kot je frekvenca signala, ki ga želimo poslušati, stopnja ojačanja vgrajenih ojačevalnikov, demodulacija signala in še ogromno ostalih, ki so izven obsega te projektne naloge.

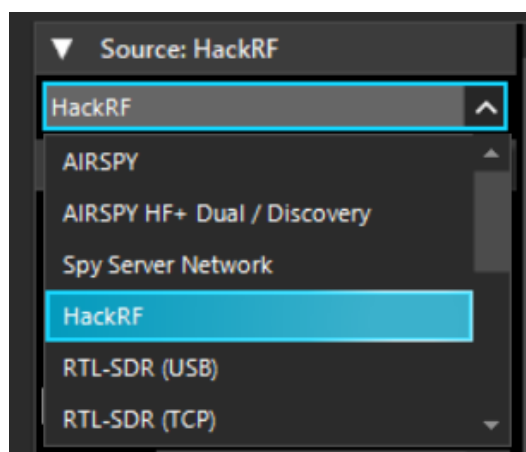
Programska oprema VB-CABLE nam omogoča, da iz programa SDR#, ki je namenjen sprejemu in demodulaciji signala, ta signal pripeljemo v drugo programsko opremo, ki zna signal demodulirati in dekodirati sporočilo.

Program PDW nam omogoča, da signal, ki ga pripeljemo iz programa SDR# s pomočjo programa VB-CABLE, demoduliramo, dekodiramo in prikažemo sporočilo.

### 2.3.1. Nastavitve programske opreme in dekodiranje

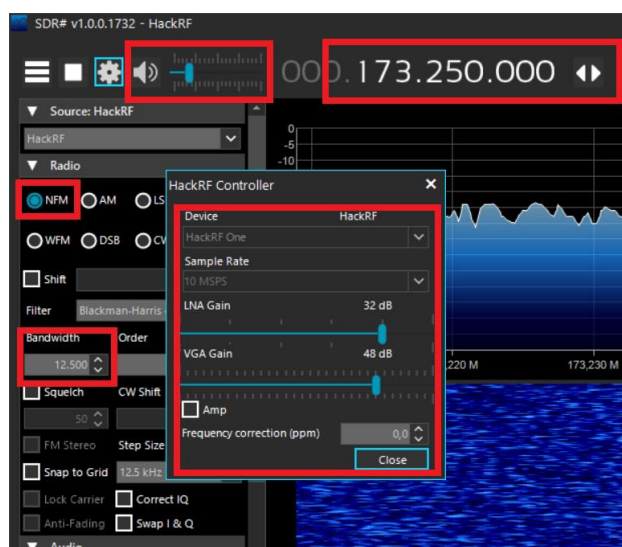
Prvo kar je potrebno storiti je, da v računalnik priključimo ustrezno strojno opremo in pustimo, da se naložijo potrebni gonilniki za delovanje. Če uporabljamo Windows 10 se to stori avtomatsko ob prvi priključitvi naprave. Ko se gonilniki naložijo, odpremo program SDR#.

Prvo je potrebno izbrati katera strojna oprema bo v uporabi, kot je prikazano na sliki 10 spodaj.



Slika 10 - izbira strojne opreme

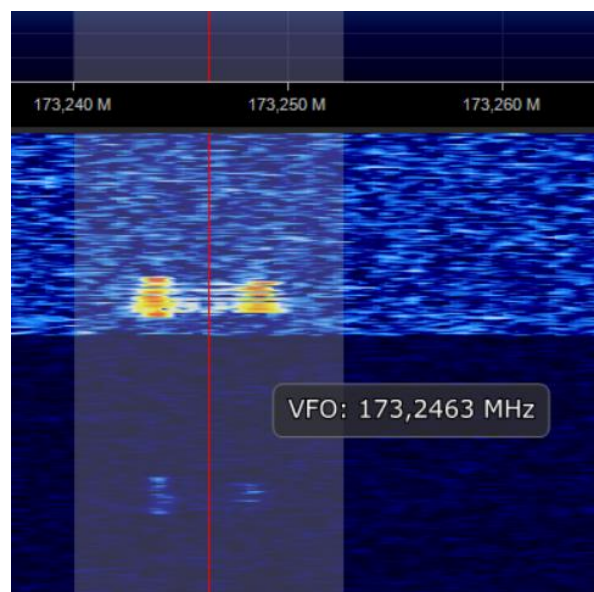
Po tem je potrebno nastaviti frekvenco, katero želimo spremljati. To naredimo tako, da s pomočjo miške in gumbov v programu nastavimo frekvenco 173.250.000Hz. Nastaviti je potrebno tudi glasnost, demodulacijo ki jo želimo izvajati ter nastavitve ojačanja signala. Potrebne nastavitve so prikazane spodaj na sliki 11.



Nastavitve ojačenja so odvisne od lokacije, kjer signal spremljamo in je zaradi tega potrebno malo eksperimentiranja, dokler ne dobimo zadovoljivega signala.

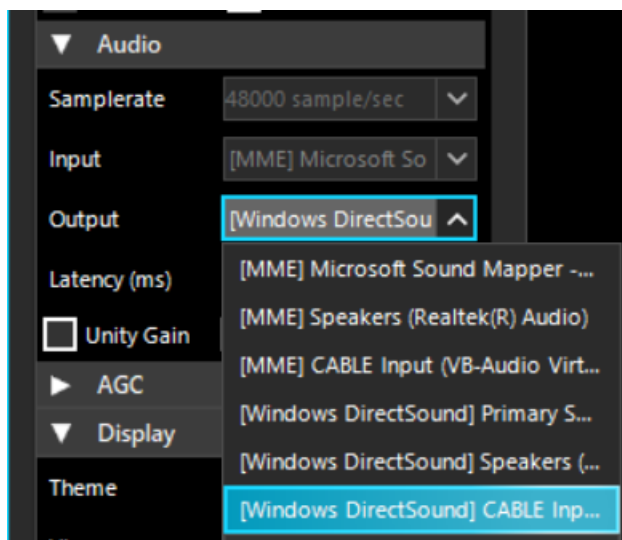
Ko so nastavitve nastavljene, program poženemo s klikom na gumb trikotnika. Pri tem se bodo nastavitve prenesle na programabilni radio, ki se bo uglasil na željeno frekvenco.

Zaradi odstopanja oscilatorja v radiu lahko pride do tega, da se signal ne bo nahajal točno na sredini frekvence ki smo jo nastavili. V tem primeru je potrebno ročno popraviti frekvenco na sredino spektra, ki ga vidimo v »waterfall« grafu. Primer je prikazan na sliki 12 spodaj.



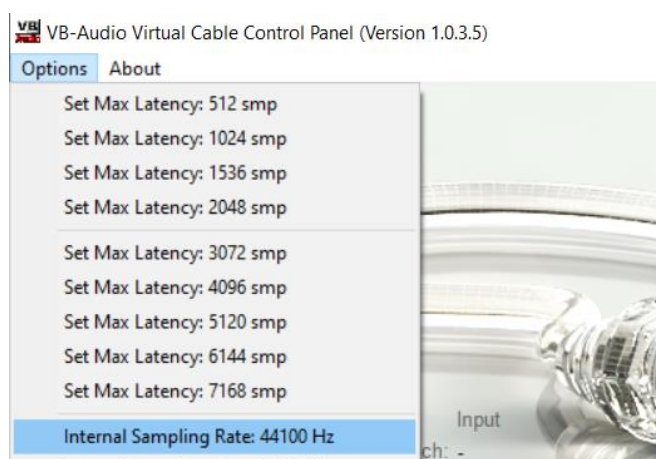
*Slika 11 - primer odstopanja frekvence in razlike v ojačenju*

Ko je frekvenca pravilno nastavljena pa lahko signal začnemo prenašati preko programa VB-CABLE v program PDW. To naredimo tako, da za avdio izhod namesto zvočnikov izberemo virtualen kabel, kot je prikazano na sliki 12 spodaj.



Slika 12 - pošiljanje signala v drug program

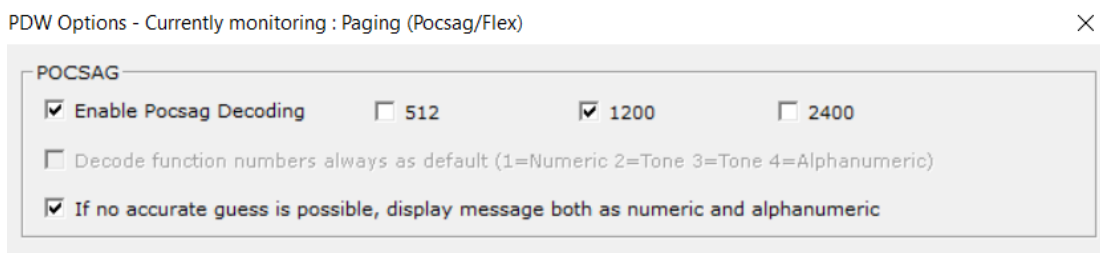
Preden bo zadeva pravilno delovala je potrebno še nastaviti vzorčevalne frekvence v programu VB-CABLE. To naredimo s pomočjo nadzorne plošče tega programa, ki se nahaja v mapi, kjer je program inštaliran. Postopek prikazuje slika 13 spodaj.



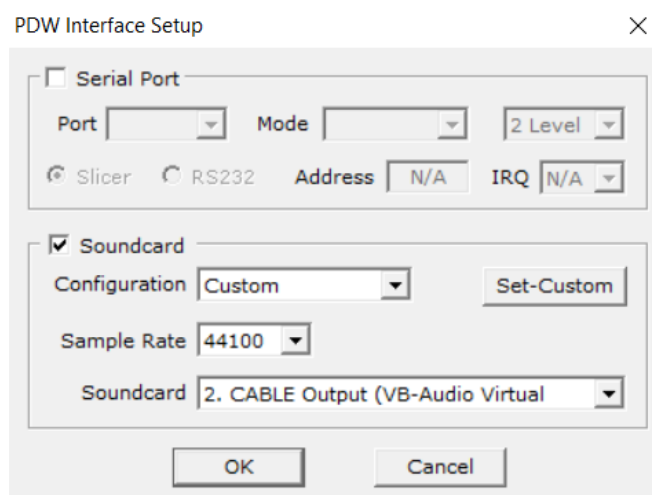
Slika 13 - nastavljanje vzorčevalne frekvence

Za dekodiranje sporočil moramo odpreti program PDW in tudi tukaj urediti nekaj nastavitev.

Nastaviti je potrebno izvor signala, vzorčevalno frekvenco, ki se mora ujemati s frekvenco vzorčenja v programu VB-CABLE in kateri protokol želimo dekodirati. To storimo tako kot prikazujejo sliki 14 in 15 spodaj.



Slika 14 - izbira protokola

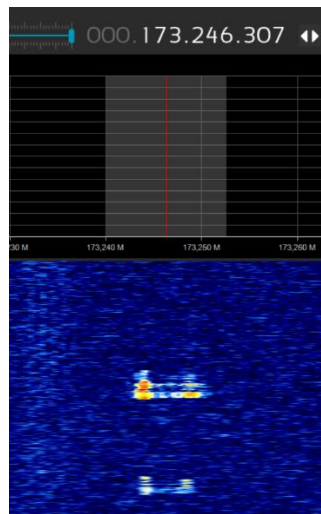


Slika 15 - nastavitve vzorčenja signala

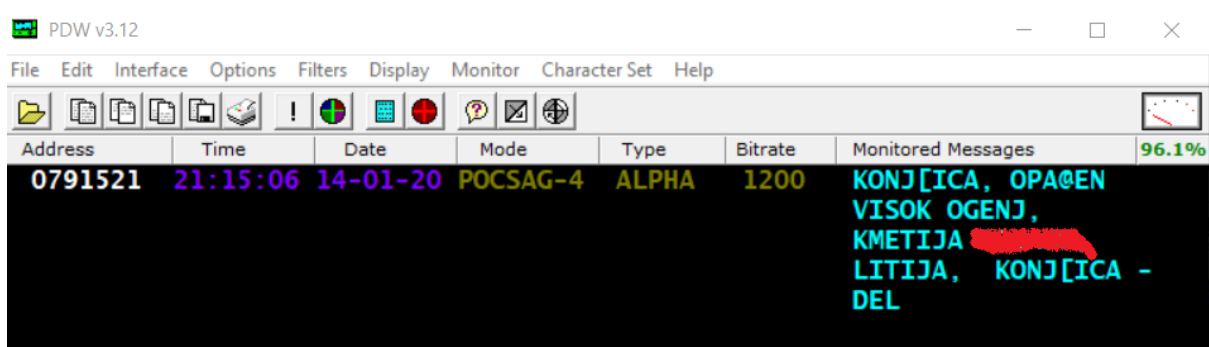
V kolikor je programska oprema nastavljena pravilno, se mora v programu PDW spreminjati pozicija RX-Q metra v zgornjem desnem kotu.

Sedaj preostane še samo čakanje, da se v sistemu ZARE pojavi sporočilo in program PDW nam izpiše sporočilo. V kolikor se sporočilo ne dekodira pravilno se je potrebno poigrati z nastavitvami glasnosti in ojačenja v programu SDR#.

Sliki 16 in 17 predstavljata primer sprejetega sporočila, ki se je preneslo na sistemu ZARE.



Slika 16 - sprejeto sporočilo v programu SDR#



Slika 17 - dekodirano sporočilo

## Viri in literatura

Cestnik, T. (2015). *Navodilo inštruktorjem za usposabljanje uporabnikov radijskih postaj v sistemu zvez ZARE*. Ljubljana: Gasilska zveza Slovenije.

Hickerson, A. (b. d.). *The pocsag paging protocol*. Pridobljeno 16. 1 2020 iz Raveon Technologies Corp:  
[https://www.raveon.com/pdfiles/AN142\(POCSAG\).pdf?fbclid=IwAR3xNOE16dTkJPWS89VpFT7keg8Mu2Q9U\\_BNt5uay0BIzaTHFd\\_POsoicoQ](https://www.raveon.com/pdfiles/AN142(POCSAG).pdf?fbclid=IwAR3xNOE16dTkJPWS89VpFT7keg8Mu2Q9U_BNt5uay0BIzaTHFd_POsoicoQ)

*Regijski centri za obveščanje*. (2019). Pridobljeno 16. 1 2020 iz Uprava republike Slovenije za zaščito in reševanje:  
[http://www.sos112.si/slo/page.php?src=ks12.htm&fbclid=IwAR3IFJz7Nqo\\_GW06B44gfolqd7SDp37bMMQALIXspqjghiksJKHhGgt6fPw](http://www.sos112.si/slo/page.php?src=ks12.htm&fbclid=IwAR3IFJz7Nqo_GW06B44gfolqd7SDp37bMMQALIXspqjghiksJKHhGgt6fPw)

*Telekomunikacijski sistem*. (b. d.). Pridobljeno 16. 1. 2020 iz Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje:  
<http://www.sos112.si/slo/page.php?src=pe32.htm>

*Telekomunikacijski sistem ZARE*. (b. d.). Pridobljeno 16. 1 2020 iz Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje:  
<http://www.sos112.si/slo/tdocs/telsis.pdf>