

# Cave-link

**Med razmahom mobilne telefonije v 90. letih prejšnjega stoletja smo bili jamarji za komunikacijo v podzemnih objektih še vedno obsojeni na žične telefone. UKV-postaje v jamskem okolju delujejo le malo več kot na vidni razdalji.**



Foto: Maks Merela

Zunanja enota s priključenim modulom GSM in tiskalnikom

**N**a prelomu tisočletja so se pričeli pojavljati prvi brezžični sistemi s kratkimi valovi (27–185 kHz), ki prodrejo veliko globlje. Elektromagnetni valovi pridejo tudi skozi zemljo, a le nekaj valovnih dolžin daleč. Če je valovna dolžina 3,5 km (pri frekvenci 87 kHz), to zaradi počasnejšega širjenja po zemlji v primerjavi z zrakom nanese nekaj sto metrov.

Na teh temeljih so Angleži pred več kot desetimi leti razvili brezžični govorni telefon HeyPhone, Francozi pa Radio Nicola Mk2. Oba delujeta na frekvenci 87 kHz s pasovno širino 2,6 kHz. Tradicionalno anteno v obliki tuljave (ki bi morala biti zaradi velike valovne dolžine velika, s premerom okoli enega metra) je sčasoma zamenjala t. i. zemeljska antena. Na primerni razdalji se v zemljo zapiči kovinski ploščici ali klina, obe ploščici se priključi na oddajnik, zemlja pa zaradi svoje prevodnosti postane antena. Načrti za oba sistema so objavljeni na medmrežju [1].

Pri nas je prvi brezžični jamski radio izdelal Ivo Sedmak leta 2004, in sicer francosko različico. Na Kaninskih podih je uspešno vzpostavil komunikacijo z bivakom v Renejevem

breznu na globini –740 metrov. Kasneje je radio nadgradil z modulom, ki je omogočal radiolociranje rovov, tj. določanje vertikalnih pozicij rovov na površje [2, 3].

## Podatkovna komunikacija

Cave-link je začel razvijati Švicar Felix Ziegler. Njegova ideja je bila, da bi namesto govorne komunikacije uporabljal podatkovno, pri čemer sta potrebna le desetina pasovne širine govorne komunikacije in manjše zahtevano razmerje signal/šum pri sprejemu. To naj bi teoretično pomenilo tudi stokrat manjšo potrebno



Foto: Rajko Bratčič

Testiranje v Hudi luknji

oddajno moč glede na govorno komunikacijo in s tem manjšo porabo energije, kar v jami pomeni povečano avtonomijo delovanja naprave oz. daljšo komunikacijsko razdaljo.

Prednosti brezžičnega prenosa podatkov pred brezžično govorno komunikacijo so predvsem:

- majhna pasovna širina (cave-link uporablja 300 Hz),
- posledično manjša potrebna oddajna moč,
- samodejno odpravljanje napak – napak v sporočilih ni,
- govorna komunikacija v jami do sedaj ni mogla uporabljati repetitorjev za doseganje daljše razdalje, podatkovna pa jo z repetitorji lahko podaljša. S prihajajočim Radiem Nicola Mk3 to obljublja tudi pri govorni komunikaciji,
- sporočila iz jame se lahko posredujejo na GSM-omrežje,
- sporočila čakajo, dokler nekdo ne pride do naprave in jih prebere,
- sporočila se lahko shranijo in natisnejo,
- sporočila so jasna, možne so oblike obrazcev,
- možnost prenašanja tudi drugih (npr. merilnih) podatkov [4].

Z napravo sem se prvič seznanil letos na taboru v Nemčiji, opisanem v prispevku v tej številki (str. 38). Tam smo jo spoznali, preizkusili in spoznali njene osnovne značilnosti. Ker napravo oz. podoben sistem uporabljajo tudi nekatere jamske reševalne službe, sem jo predstavil naši JRS. Takrat sem izvedel, da jo ima na testiranju hrvaška gorska reševalna služba, in dogovorili smo se, da jo za njimi dobi na test JRS. Dobili smo jo sredi septembra letos, Filip iz hrvaške GRS nam je povedal njihove izkušnje in pokazal nekaj uporabnih podrobnosti, ki jih zelo zgoščena navodila v nemščini ne vsebujejo.

Naprava je v majhnem vodoodpornem kovčku Peli. Vsaka naprava ima dve elektrodi, ki se zapičita v zemljo, in 50 + 10 m kabla, s katerim se povežejo elektrodi in naprava. Pred uporabo v jami je naprave priporočljivo sinhronizirati z atomsko uro v Berlinu (sprejema jo s pomočjo zemeljske antene). To potrebuje zato, ker oddajnik



Foto: Uros Lic

Cave-link za zajemanje merilnih podatkov v Bärenthöhle v Nemčiji

FREKVENCA	VALOVNA DOLŽINA	PRODORNOST (1/10 λ)
10 kHz	30 km	3 km
60 kHz	5 km	500 m
100 kHz	3 km	300 m
10 GHz	30 cm	3 cm

oddaja in sprejema le kratek čas vsakih 1, 2, 5, 10, 15, 30 ali 60 minut, kar močno podaljša trajanje baterije. Zato morajo biti vse enote med sabo natančno sinhronizirane.

Ko elektrodi zapičimo v zemljo, naprava izmeri upornost med elektrodama (manjša kot je, boljše je), kar omogoča, da ju po potrebi prestavimo. To je v osnovi dovolj, da pošljemo tekstovno sporočilo na drugo enoto v jami ali na površju – komprimiranih 128 bajtov) komprimira in razdeli na manjše pakete. Naprava najprej poskuša poslati pakete z najmanjšo močjo in čaka potrditev sprejema naslovne naprave. Če je ne dobi, se oddajna moč povečuje, dokler ni potrditve sprejema. Tako nobeno sporočilo ni izgubljeno – dobimo potrditev sprejema ali pa vidimo, da se naprava sporočilo neuspešno trudi poslati.

Zunanja enota je v osnovi enaka, zapakirana je v večjem kovčku Peli in ima močnejšo baterijo. Nanjo je možno priklopiti majhen tiskalnik, ki stiska vsa prejeta sporočila. Še najbolj zanimiva možnost pa je možnosti priključitve GSM-modula. Če imamo priključenega, v njem SIM-kartico in zunaj jame signal mobilnega operaterja, lahko iz katerikoli enote v jami pošljemo SMS-sporočilo na katerokoli SMS-številko. V Nemčiji so iz jame, katere vhod leži skoraj ob cesti, na neki delavnici pred našim taborom poslal SMS-sporočilo dostavljalcu pic, in ko so prišli iz jame, so jih pred jamo čakale pice. Prav tako pošljemo SMS-sporočilo iz kateregakoli telefona katerikoli enoti v jami.

Največja razdalja med dvema enotama, kjer so uspešno vzpostavili komunikacijo, je 1300 metrov. Mi smo na naših testih brez izkušenj zaenkrat dosegli največ 530 metrov. Praksa je pokazala, da je za najboljšo učinkovitost razdalja med elektrodama za anteno eno desetino zelene dosežene razdalje, naši testi pa so pokazali, da uspešno deluje tudi desetkrat krajša razdalja. Domet je odvisen od prevodnosti zemlje med elektrodama, same kamnine in frekvence, ki se jo da nastavlja (glej tabelo).

Tudi večja frekvenca ima prednosti (na krajših razdaljah je antena lahko slabše postavljena), a proizvajalec kot najbolj optimalno za večino primerov svetuje 42 kHz. Pri manjših frekvencah, ki teoretično pomenijo daljši domet, pa je s površine preveč atmosferskih vplivov.

Če imamo na razpolago več naprav, jih lahko povežemo v verigo, kjer je vsaka naprava repetitor za naslednjo. Če ugotovimo, da je v določeni kamnini domet 500 metrov, postavimo prvo napravo 500 metrov od vhoda, drugo 500 metrov od prve ... Zadnja naprava npr. prek vseh vmesnih pošlje sporočilo na katerokoli napravo v jami, na zunanjo napravo ali na GSM-številko, če imamo priklopljen GSM-modul. Kako nam se naprave obnašajo v vlogi repetitorja, je treba prej navesti.

## Meritve

Naprava je uporabna tudi pri prenosu meritev iz jame. Nanjo se da prek serijskega vmesnika priključiti 255 analognih ali digitalnih senzorjev. Ta pošilja podatke v vnaprej nastavljenih

intervalih zunanji enoti, na katero je navadno priključen GSM-modul, ta pa naprej neposredno v bazo podatkov na internetnem strežniku. Tako na internetu dobimo sveže podatke iz jame – stare največ toliko, kot je interval pošiljanja.

Nemci, pri katerih smo bili na taboru, tako spremljajo podatke iz dveh jam ([www.vetterhoehle.de](http://www.vetterhoehle.de), dve lokaciji, in [www.baerentalhoehle.de](http://www.baerentalhoehle.de)). V prvi imajo nameščen tudi senzor na vhodnih vratih v jamo – ko jih kdo odpre, predsednik kluba dobi SMS. Tako so že dobili vlomilca, ki jim je iz jame hotel odnesti orodje. Ko smo bili na taboru, smo, ko smo šli v jamo, vrata zaprli za sabo, in ko smo šli ven, so jih zopet odprli, tako da so v taboru vedeli, da bomo čez pol ure na večerji.

## Testi

Do sedaj smo naredili nekaj testov. Na demonstraciji v Sežani smo poskušali, kakšno razdaljo lahko doseže sporočilo horizontalno po površini. Na 800 metrih nismo bili uspešni, na 500 metrih pa. S površine naj bi se elektromagnetni valovi bolje širili v globino kot horizontalno. Naslednji test je bil v okolici Hude luknje. Zunanjo enoto smo postavili pred jamarsko kočjo, ostale tri pa v tri jame na Tisniku. Tudi tu nam je uspelo doseči največjo neposredno razdaljo dobrih 500 metrov, je pa delovala povezava v verigi med najbolj oddaljenima točkama prek enega kilometra.

Naslednji test je bil v Breznu pri Leški planini, kjer smo tudi postavili verigo treh enot, a se je izkazalo, da neposredno deluje cela vsaka z vsako. Iz zgornjega krajnega konca prve dvorane nam je kljub le sedem metrov dolgi anteni (med elektrodama) uspelo poslati sporočilo na površino, oddaljeno približno 360 metrov. Zadnji test pred oddajo prispevka je bil v Paradani, kjer ni veliko zemlje, ki prispeva k dobri prevodnosti, a se je tudi zalaganje antene z mokrimi kamni izkazalo za uspešno in kljub zelo slabi upornosti je sporočilo doseglo površino na 390 metrih zračne razdalje.

Do sedaj nam je uspelo doseči 530 metrov razdalje med dvema enotama, kar do teoretičnih 1300 še nekaj manjka, manjka pa nam tudi izkušnja s postavitvijo antene, spremembo frekvence ...

## Zaključek

Pri razdalji doseženega sporočila moramo upoštevati, da gre za »zračno« razdaljo med enotama. Ta je v Breznu pri Leški planini znašala 360 metrov, kar je skoraj pol manj kot 600 metrov razvite žice za vox. Razlika je seveda lahko še večja. Hrvati so pokazali zanimanje za cave-link po letošnji nesreči v jami Kita Gačešina, kjer bi z uporabo cave-linka informacija iz jame prišla bistveno hitreje. Pa ne samo pri reševanju, tudi pri raziskovanju. Ne le da se pri večjih raziskovalnih projektih s sporočilom iz jame »prišlo je do nesreče, poškodba je« lahko reši tudi življenje, vsekakor je stvar uporabna tudi v primerih, če bi npr. s tisoč metrov globine poslali sporočilo: »Jama šiba, prva ekipa naj prinese vsaj 200 m štrika, naslednja pa opremo za bivač in hrano.«

## Najpomembnejše tehnične značilnosti cave-linka

- Prenos podatkov do 13 bajtov/s.
- ARQ (Automatic Repeat reQuest – pošiljanje sporočila, dokler ne pride potrdilo sprejemnika o sprejemu)
- Kodiranje sporočila – noben znak se ne more izgubiti.
- Tipkovnica z 42 tipkami.
- Dimenzije naprave: 120 × 98 × 56 mm.
- Teža z notranjo baterijo približno 650 g + 250 g kovček Peli in antena.
- Frekvenca: nastavljiva 20–140 kHz (v korakih po 1 Hz).
- Pasovna širina: 300 Hz.
- Največja oddajna moč: 20/30 W (odvisno od vrste baterije).
- Izhodna moč se avtomatsko zniža glede na uspešnost pošiljanja.
- Meritev impedance antene.
- Opcijsko notranji litij-polimer akumulator 11,4 V / 3,3 Ah
- Čas delovanja do 50 % porabe baterije:
  - pri oddajanju vsako minuto: 2 dni
  - pri oddajanju vsakih 5 minut: 15 dni
  - pri oddajanju vsakih 30 minut: 80 dni [4]

## Literatura in viri

- [1] D. Gibson: Communications in Caves, [caves.org.uk/radio/comms\\_in\\_caves.html](http://caves.org.uk/radio/comms_in_caves.html)
- [2] I. Sedmak: Brezžična komunikacija v podzemnih objektih. Naše jame 46, str. 119–121, Ljubljana 2006.
- [3] I. Sedmak: Brezžična komunikacija s podzemljem in radiolociranje. Glas podzemlja, Glasilo Društva za raziskovanje jam Ljubljana, str. 57–60, junij 2006.
- [4] F. Ziegler: Cave-Link, [www.cavelink.com/pdf/vortraege/Cave-Link.pdf](http://www.cavelink.com/pdf/vortraege/Cave-Link.pdf)
- [5] G. Naylor: Nicola Mk3 Digital Cave Radio – a Users' Perspective. BCRA Cave Radio & Electronics Group, Journal 74, str. 4, avgust 2010.
- [6] M. Bedford, J. Whiteley: Cave Radio: fifty years of development. [www.mountainrescue.org.uk/assets/files/The%20Oracle/Underground%20Rescue/CaveRadio.pdf](http://www.mountainrescue.org.uk/assets/files/The%20Oracle/Underground%20Rescue/CaveRadio.pdf)

Francozi skupaj z Angleži razvijajo tretjo generacijo brezžične govorne telefonije Nicola Mk3, ki bo digitalna, z možnostjo slušalke bluetooth, s predvidenim dometom prek 1000 metrov in ceno okoli 350 evrov na enoto, kar je bistveno ceneje kot 700 evrov za cave-link (seveda ob upoštevanju vseh prednosti, ki jih ponuja podatkovna komunikacija). Večja pasovna širina in potrebno razmerje signal/šum naj ne bi bila logična glede velikosti in trajanja akumulatorja oz. dometa, a pustimo se presenetiti. Strojna programska oprema bo nadgradljiva, v prihodnosti načrtujejo tudi pošiljanje podatkov, kar bo vsekakor konkurenca cave-linku [5, 6]. Elektronika nas bo v jamah očitno vedno bolj spremljala.

Uroš Ilič, JK Železničar