

PROFESIONALNE RADIJSKE ZVEZE V ETAŽNIH GARAŽNIH OBJEKTIH

Professional radio communications in multi-level garage facilities

Boštjan Tavčar*, Alenka Švab Tavčar** UDK 621.396.94

Povzetek Abstract

Članek opisuje problematiko radijskih zvez v etažnih garažnih objektih. V prvem delu so opisane osnovne značilnosti in priporočeni modeli za oceno razširjanja radijskega signala v teh objektih. V nadaljevanju je naveden predlog tehnične rešitve sistema radijskih zvez in organizacije radijskega prometa. Na koncu so predstavljene meritve radijskega signala v etažnih garažah City Park in Atlantis.

The article describes the problems of radio communications in multi-storey car parks. Basic features and recommended models for predicting the propagation of radio signals in multi-storey car parks are described first. Technical solutions for radio systems and the organization of radio traffic are proposed. Finally, measurements of radio signals in the multi-storey car parks at City Park and Atlantis are introduced.

Splošno o radijskih zvezah v prostorih

Razširjanje radijskih signalov v prostorih

V praznem in neomejenem prostoru lahko slabljenje radijskega signala zapišemo z modelom za prazen prostor, ki predvideva razširjanje radijskega signala v obliki kroglene vala. Slabljenje vala zapišemo z enačbo [1], iz katere je razvidno, da moč signala upada s kvadratom oddaljenosti od vira oziroma z 20 dB na dekada:

$$a_0(d) = -147,56 + 20 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(f) \quad (dB) \quad [1]$$

pri čemer je:

- d razdalja od oddajnika [m],
- f frekvenca radijskega signala [Hz].

V zaprtih prostorih se radijski signal širi od oddajnika proti sprejemniku in pri tem naleti na različne ovire, ob katerih se lomi, ukloni ali odbije. Do sprejemnika zato poleg neposrednega radijskega signala pripotuje tudi cela vrsta odbitih, lomljenih in uklonjenih signalov. Če izhajamo iz stacionarne faze radijskega valovanja, jih lahko obravnavamo kot žarke. Tak poenostavljeni model razširjanja radijskega signala v prostoru imenujemo žarkovni model. Moč radijskega signala pri sprejemniku je vsota moči vseh žarkov, ki pridejo do sprejemnika.

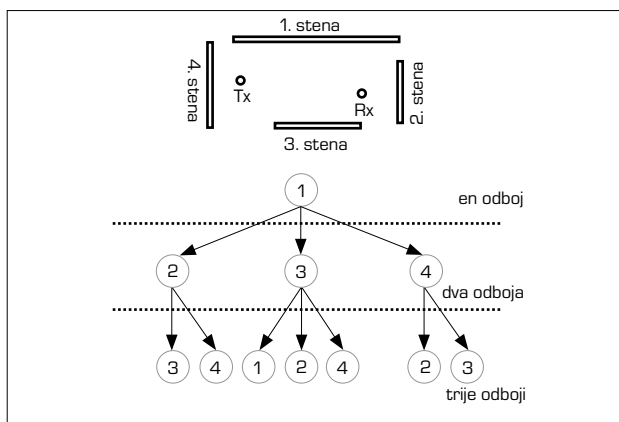
* Ministrstvo za obrambo RS, Uprava RS za zaščito in reševanje, Vojkova 61, Ljubljana, bostjan.tavcar@urszr.si

** Ministrstvo za notranje zadeve RS, Policija, Štefanova 2, Ljubljana, alenka.svab@policija.si



Slika 1. Žarkovni model razširjanja radijskega signala v garaži

Figure 1. Beam model of radio signal diffusion in a garage



Slika 2. Preprost primer možnih poti žarka med oddajnikom in sprejemnikom

Figure 2. Simple example of possible beam pathways between the transponder and the receiver



Slika 3. Fotografiji tipičnih etažnih garažnih objektov
Figure 3. Photos of typical multi-level parking facilities

Na sliki 2 je prikazan preprost primer možnih poti žarka med oddajnikom in sprejemnikom, če upoštevamo največ tri odboje. Število možnih kombinacij s povečevanjem števila možnih odbojev eksponentno narašča.

Slabljenje radijskega signala v prostoru lahko skladno z žarkovnim modelom opišemo z enačbo [2]:

$$a(d) = 10 \cdot \log \left(\left(\frac{c}{4 \cdot \pi \cdot f} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \left(\left| \frac{(\Gamma_{TE})^m \cdot \sqrt{G_T \cdot G_R}}{d_m} \cdot e^{-j \frac{2\pi \cdot f \cdot d_m}{c}} \right|^2 + \left| \frac{(\Gamma_{TM})^m \cdot \sqrt{G_T \cdot G_R}}{d_m} \cdot e^{-j \frac{2\pi \cdot f \cdot d_m}{c}} \right|^2 \right) \right) \quad (dB) \quad [2]$$

pri čemer velja:

- d_m je dolžina žarka (m),
- f je frekvenca radijskega signala (Hz),
- $G_T \cdot G_R$ je produkt dobitkov oddajne in sprejemne antene,
- Γ_{TE} in Γ_{TM} sta kompleksna koeficienta odboja radijskega signala,
- m je zaporedna številka žarka.

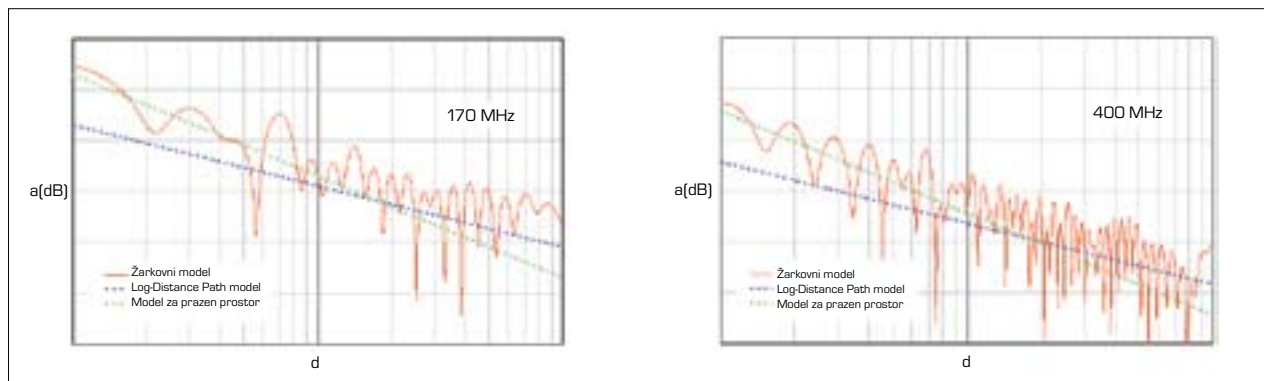
Žarkovni model temelji na fizikalnih zakonitostih razširjanja radijskega signala in ga zato prištevamo med t. i. deterministične modele. Teoretično je uporaben v vseh okoljih. Največja težava determinističnih modelov je, da potrebujemo natančne podatke o geometriji prostorov in elektromagnetnih lastnostih sten v prostorih. To in ker prostori navadno niso prazni oziroma ker se razmere v njih spreminjajo, na splošno močno zmanjšuje njihovo uporabno vrednost.

V praksi se zato pogosto zatekamo k empiričnim modelom, ki temeljijo na izkušnjah in meritvah radijskega signala v konkretnih prostorih. Empirični model za konkretni prostor določimo tako, da se čim bolj prilaga izmerjenim rezultatom. Primer empiričnega modela je model logaritmične razdalje. Zapišemo ga z enačbo [3]:

$$a(d) = a_0(d_0) + N \cdot 10 \cdot \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X\sigma \quad (dB) \quad [3]$$

pri čemer velja:

- $a_0(d_0)$ so izgube na referenčni oddaljenosti, ponavadi v praznem prostoru na razdalji 1-m,
- N je eksponent naraščanja izgub z razdaljo,
- $X\sigma$ je zvezna naključna spremenljivka Gaussove gostote verjetnosti (dB).



Slika 4. Preprost primer možnih poti žarka med oddajnikom in sprejemnikom
Figure 4. Simple example of possible beam pathways between the transponder and the receiver

Razširjanje radijskih signalov v etažnih garažnih objektih

Etažni garažni objekti so razsežni prostori v etažah z malo vmesnih sten. Stene so praviloma ravne in iz materiala, zaradi katerega se radijski signali dobro odbijajo. Stene in številna vozila v garažah poleg neposrednega signala omogočajo veliko odbitih signalov.

Simulacije razširjanja radijskega signala pri nezasenčenih radijskih zvezah v posameznih etažah kažejo, da pri manjših razdaljah slabljenje signala sledi modelu za prazen prostor; pri večjih razdaljah pa je slabljenje manjše in ga lahko opišemo z modelom logaritmične razdalje. Vrednost eksponenta naraščanja izgub N je značilno od 1,5 do 3. Na sliki 3 je prikazana simulacija slabljenja $a(\text{dB})$ radijskega signala pri frekvencah 170 MHz in 400 MHz, izračunana z žarkovnim modelom (rdeča črta). Vrisana sta tudi poteka slabljenja po modelu za prazen prostor (zelena črta) in modelu logaritmične razdalje (modra črta).

Zaradi železobetonskih zunanjih sten in stropov je razširjanje radijskih signalov iz zunanosti v notranjost garažnih prostorov in med posameznimi etažami močno dušeno. Dušenje je izrazitejše v garažnih objektih, v katerih so betonske stene kombinirane s kovinskimi konstrukcijami in oblogami.

Zlasti slednje izrazito močno dušijo radijske signale. Slabljenje in dušenje pri zasenčenih radijskih zvezah zapišemo z empiričnim modelom faktorja slabljenja [4],

ki je v osnovi model logaritmične razdalje, dopolnjen z dušenjem sten in stropov:

$$a(d) = a_0(d_0) + N \cdot 10 \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \sum_{n=1}^N FAF(n) + \sum_{m=1}^M WAF(m) \quad (\text{dB}) \quad [4]$$

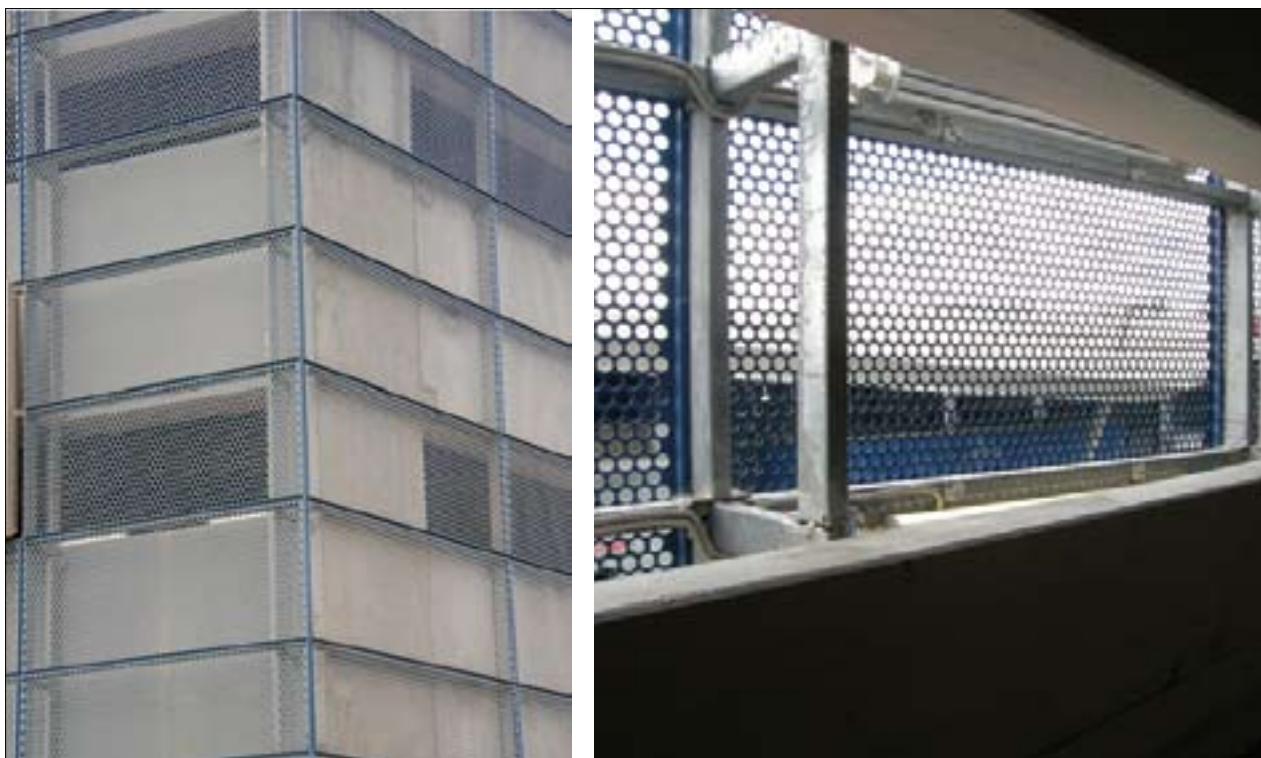
pri čemer velja:

- $a_0(d_0)$ so izgube na referenčni oddaljenosti, ponavadi v praznem prostoru na razdalji 1 m,
- N je eksponent naraščanja izgub z razdaljo,
- $FAF(n)$ je dušenje posameznih stropov (dB),
- $WAF(m)$ je dušenje posameznih sten (dB).

Dušenje notranjih sten se giblje od 10 do 15 dB, pri železobetonskih stenah do 20 dB. Pri kovinskih oblogah dušenje na stenah lahko doseže vrednosti do 40 dB. Dušenje stropov je značilno med 12 in 27 dB. Vrednost eksponenta naraščanja izgub N pri zasenčenih radijskih zvezah v prostoru je od 4 do 6.

Nadstropje	Slabljenje (dB)	Nadstropje	Slabljenje (dB)
Pritličje	-27	Peto	-15
Prvo	-23	Deseto	-3,5
Tretje	-20	Štirinajsto	+2

Preglednica 1. Slabljenje glede na višino, na kateri uporabljamo radijsko postajo
Table 1. Abatement in relation to the height, where the radio station is being used



Slika 5. Kovinske konstrukcije in obloge garažnih objektov (vir: IJS)

Figure 5. Metal constructions and coatings of parking facilities (source: IJS)



Slika 6. Primer pokritosti z radijskim signalom na delu Ljubljane (kartografska podlaga: Google Earth)

Figure 6. Example of radio signal coverage in the part of Ljubljana (cartographic basis: Google Earth)

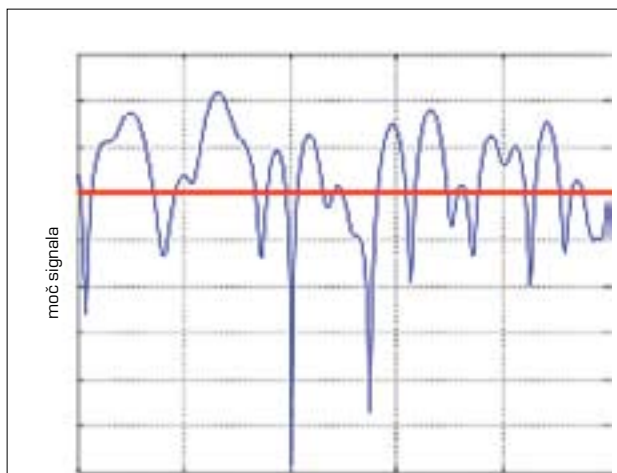
Poleg dušenja sten je treba upoštevati slabljenje glede na višino, na kateri uporabljamo radijsko postajo. Za frekvenčno območje 450 do 470 MHz je slabljenje po posameznih nadstropjih navedeno v preglednici 1.

Na sliki 6 je narisana pokritost dela Ljubljane z radijskim signalom repetitorske postaje sistema zvez ZARE na Šmarni gori. Pokritost je bila izračunana po Longley-Riceovem modelu za mestna območja za ročne radijske postaje. Z ročno radijsko postajo je komunikacija mogoča na celotnem območju, obarvanem modro in rdeče. V etažnih garažnih objektih in drugih podobnih objektih pa je praviloma mogoča le na mestih, ki so obarvana rdeče.

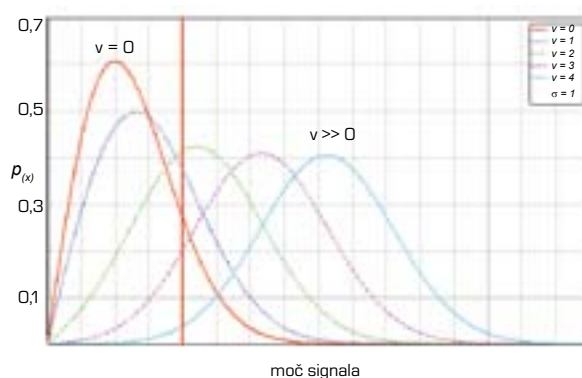
Presih radijskega signala

Presih je posledica različnih poti in odbojev radijskih signalov na poti med oddajnikom in sprejemnikom. Do sprejemnika namesto enega samega radijskega signala pride več različic istega signala, ki so potovale po različnih poteh. Radijski signali se v sprejemniku združijo tako, da se v najboljšem primeru med seboj seštejejo, v najslabšem pa odštejejo. Vse skupaj je ponavadi zelo dinamično dogajanje in povzroči nihanje moči signala, kar imenujemo presih.

Če poznamo vse geometrijske in druge lastnosti prostora, lahko z uporabo žarkovnega modela določimo vse možne odbite signale in njihovo seštevanje oziroma odštevanje pri sprejemniku. Rdeči črti na sliki 3 kažeta simulacijo slabljenja radijskega signala v prostoru. Nihanja radijskega signala so na posameznih mestih, kjer se več radijskih signalov med seboj izniči, še posebno izrazita. Iz slike 4 je tudi razvidno, da pogostost presiha narašča s povečevanjem frekvence radijskega signala.



lokacija ali čas



Slika 7. Presih in Riceova statistična porazdelitev gostote verjetnosti moči signala

Figure 7. Fading and Rice distribution of density probability of the signal strength

Pri tem je treba poudariti, da presih na posameznih mestih v prostoru ni stalen. Ker je odvisen od veliko med seboj nekako naključnih dogodkov, ga je smiselno obravnavati statistično. Pri tem določimo porazdelitev gostote verjetnosti moči radijskega signala $p(x)$. Kadar imamo poleg neposrednega vala še veliko odbitih valov, moč radijskega signala sledi Riceovi statistični porazdelitvi gostote verjetnosti. Kadar je neposredni val še zlasti izrazit, $v \gg 1$, preide Riceova statistična porazdelitev gostote verjetnosti v Gaussovo. To se zgodi pri bližnjih zvezah. V zakritih predelih, ko sprejemamo samo odbite valove $v=0$, preide v Reyleighovo statistično porazdelitev gostote verjetnosti.

Presih se značilno giblje v mejah od 10 do 20 dB pri frekvencah 170 MHz in od 20 do 30 dB pri frekvencah 400 MHz.

Bilanca radijske zveze

Signal, ki ga oddaja radijska postaja, doživi na svoji poti različno slabljenje in dušenje. V posameznih etažah garažnih objektov pri nezasenčenih radijskih zvezah lahko za izračun slabljenja signala na krajših razdaljah

uporabimo model za prazen prostor [1], kar pomeni, da moč signala pada z 20 dB/dec, na večjih razdaljah pa model logaritmične razdalje [3]. K slabljenju na poti je treba dodati dobitke antene, slabljenje zaradi presiha in dušenje zaradi uporabe radijske postaje. Dobitek antene ročne radijske postaje je okoli -13 dB. Presih pri frekvencah okoli 170 MHz je od -10 do -20 dB, pri frekvencah okoli 400 MHz pa od -20 do -30 dB. Izgube pri uporabi radijskih postaj so med -6 in -17 dB.

Upoštevajoč občutljivost analognih radijskih postaj, ki je značilno -117 dBm, lahko izračunamo zahtevano raven radijskega signala, ki je okoli 41 dBμV/m pri frekvenci 170 MHz in okoli 58 dBμV/m pri frekvenci 400 MHz. Izračun velja za najslabši primer nezasenčene radijske zveze v etaži, če upoštevamo največje možno slabljenje in dušenje radijskega signala. Pri medetažnih radijskih komunikacijah in komunikacijah z zunanostjo je treba uporabiti model faktorja slabljenja [4]. Ta upošteva dušenje sten in stropov, pri čemer se v najslabšem primeru doseže vrednost 30 dB.

Uporaba radijskih zvez v etažnih garažnih objektih

Pri uporabi radijskih zvez v etažnih garažnih objektih moramo upoštevati naslednje:

- uporabniki radijskih postaj so praviloma blizu skupaj,
- pričakovani presih je do 20 dB pri frekvencah okoli 170 MHz in do 30 dB pri frekvencah okoli 400 MHz,
- neposredne radijske zveze iz garaže in med etažami so zaradi velikega dušenja lahko problematične.

Pri uporabi neposrednih radijskih zvez lahko pride do medsebojnega istokanalnega motenja. Nevarnost motenja je tem večja, čim bližje so si posamezni uporabniki. Motnje se pri analognih radijskih postajah kažejo kot brnenje v zvočniku radijske postaje zaradi interference signalov oddajanja dveh ali več radijskih postaj. Brnenje je tem močnejše in izrazitejše, čim bližje sta si motilna in motena radijska postaja. Pri digitalnih radijskih postajah

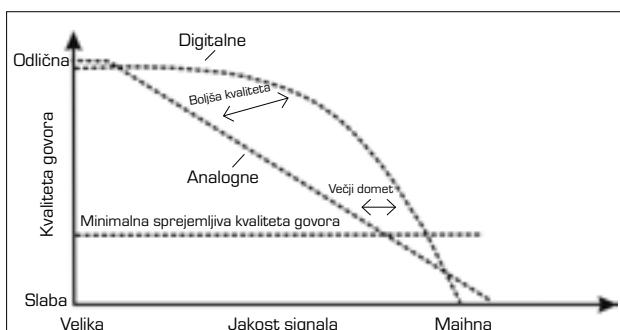
sinhronizacija lahko izpade in radijska zveza se pretrga. Minimalna dovoljena razmerja med koristnim in istokanalnim motilnim radijskim signalom za analogne radijske postaje so 8 dB oziroma 12 dB, za digitalne radijske postaje DMR 15 dB in TETRA 19 dB.

Presih radijskega signala se pri analognih radijskih postajah izraža kot nihanje moči in kakovosti govora. Kakovost govora pada linearno s padanjem moči signala. Pri nizkih močeh signala se moč šuma v govoru tako poveča, da pade kakovost pod minimalno sprejemljivo vrednost.

Kakovost govora pri digitalnih radijskih postajah je veliko manj odvisna od moči signala, saj na začetku pada občutno počasneje kakor pri analognih radijskih postajah. Minimalno sprejemljivo vrednost doseže pri nižjih močeh signala. Pri digitalnih radijskih postajah zato ni izrazitega nihanja moči in kakovosti govora. Kljub praviloma dobri kakovosti govora v digitalnih sistemih ta izgubi svojo dinamiko in barvitost, zato je sogovornika težje prepoznati po glasu. Pri digitalnih radijskih postajah so v praksi nastale nekatere težave pri kodiranju govora v hrupnem okolju. Te težave so izrazitejše pri sistemih TETRA kakor pri sistemih DMR.

Radijsko omrežje v etažnih garažnih objektih

Radijsko omrežje v etažnih garažnih objektih mora biti grajeno v obliki celičnega omrežja, sestavljenega iz ene ali več celic v vsaki etaži. Zaradi zagotavljanja potrebne prometne prepustnosti omrežja, ki naj omogoča več med seboj neodvisnih skupin uporabnikov, mora biti vsaka celica opremljena z več radijskimi kanali. Vse celice morajo biti medsebojno povezane v enoten snopovni sistem, ki je kot celota povezan z zunanjim snopovnim sistemom radijskih zvez. Območja pokrivanja posameznih celic morajo biti načrtovana tako, da raven signala nikjer ne pade pod najmanjšo še sprejemljivo vrednost, ki je okoli 41 dBμV/m pri frekvenci 170 MHz in okoli 58 dBμV/m pri frekvenci 400 MHz. Takšna zasnova omrežja omogoča radijsko komunikacijo v celotnem objektu in zunaj njega.



Slika 8. Primerjava med analognimi in digitalnimi radijskimi postajami
Figure 8. Comparison of analogue and digital radio stations



Slika 9. Ciljni trgi tehnologij TETRA in DMR (vir: Motorola)
Figure 9. Target markets for TETRA and DMR technologies (source: Motorola)

Zaradi boljše kakovosti radijskih zvez in večjega dometa je priporočljiva uporaba profesionalnih radijskih sistemov druge generacije, kakršna sta TETRA in DMR. Sistemi druge generacije poleg prenosa govora omogočajo dokaj učinkovit prenos podatkov. Primerjava dveh tehnologij je lahko nevhvaležna, saj ima ena in druga svoje prednosti in slabosti. Obe tehnologiji, DMR in TETRA, sta bili razviti vsaka s svojim namenom. Kljub temu je posamezne storitve mogoče uresničiti v eni in v drugi, zato sta si v nekaterih segmentih konkurenčni. Ciljne trge posameznih tehnologij prikazuje slika 9.

Meritve radijskih zvez v etažnih garažnih objektih City Park in Atlantis

Na pobudo Uprave Republike Slovenije za zaščito in reševanje so predstavniki Instituta »Jožef Stefan« opravili meritve radijskih zvez v etažnih garažnih objektih City Park in Atlantis.

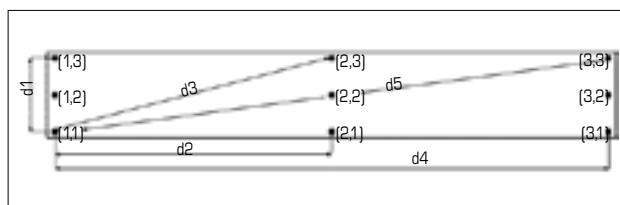
Meritve so opravili na več mestih posameznih etaž v snopovnem načinu delovanja prek bazne postaje na stavbi Ministrstva za obrambo in v neposrednem načinu delovanja med dvema radijskima postajama v garažni hiši. V preglednici 2 so prikazane izmerjene jakosti signala iz bazne postaje TETRA na Krimu na posameznih mestih etažnega garažnega objekta. Vse izmerjene jakosti so v enotah dBm.

Jakost signala je zaradi višine in odprtega prostora najvišja na terasi. S pomikanjem proti prvi etaži jakost pada in je v prvi etaži na posameznih mestih tako nizka, da komunikacija ni več mogoča. V pritličju jakost signala v povprečju spet naraste, kar je predvsem posledica odprtosti pritlične etaže.



Slika 10. Mesta meritev v posameznih etažah garažne hiše City Park (vir: IJS)

Figure 10. Measuring points in individual levels of the City Park parking house (source: IJS)



Slika 11. Položaji oddajnikov in sprejemnikov ter medsebojne razdalje v garažni hiši City Park (vir: IJS)

Figure 11. Positions of transponders and receivers and the distances between in the City Park parking house (source: IJS)

V preglednici 3 so prikazane izmerjene jakosti signala na posameznih mestih etažnega garažnega objekta pri neposrednih radijskih zvezah. Položaj postaje, ki oddaja, je na točki 1,3 na terasi etažnega garažnega objekta. Vse izmerjene jakosti so v enotah dBm.

etaža \ položaj	(1,1)	(1,3)	(2,1)	(2,3)	(3,1)	(3,3)
pritličje	-80	-73	-88	-95	-91	-77
1.	-101	-96	ni signala	-106	ni signala	ni signala
2.	-93	-81	-102	-88	-97	-98
terasa	-67	-71	-68	-71	-73	-72

Preglednica 2. Jakost signala v garažni hiši City Park pri snopovnem načinu delovanja (vir: IJS)

Table 2. Signal strength in the City Park parking house in the Trunked Mode Operation (source: IJS)

etaža \ položaj	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(3,1)	(3,2)	(3,3)
pritličje	-91	-77	-62	ni signala	ni signala	-106 -86 (zunaj)	ni signala	ni signala	ni signala
1.	-73	-58	-54	ni signala	ni signala	-99	ni signala	ni signala	-99
2.	-52	-40	položaj RX	-92	-91	-57	-106	-98	-69

Preglednica 3. Jakost signala v garažni hiši City Park pri neposrednem načinu delovanja (vir: IJS)

Table 3. Signal strength in the City Park parking house in the Direct Mode Operation (source: IJS)

Na odprtih delih garaže na nivoju ene etaže slabljenje in dušenje signala približno sledi modelu logaritmične razdalje, ki ga lahko zapišemo z enačbo [5]:

$$a(d) = 4,48 + 2,4 \cdot 10 \cdot \log\left(\frac{d}{0,1}\right) + 10 \quad (dB) \quad [5]$$

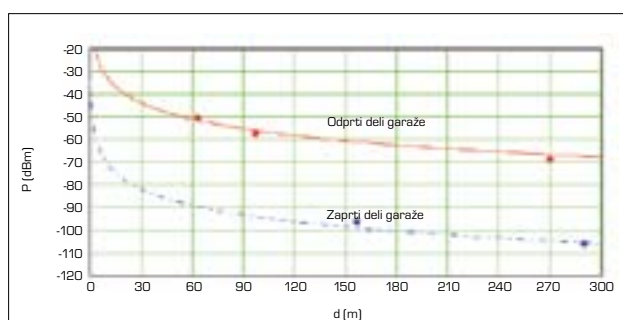
Pri diagonalnih zvezah moramo upoštevati dušenje vmesnih sten in avtomobilov v prostoru. Na diagonalnih delih garaže slabljenje in dušenje signala približno sledi modelu faktorja slabljenja, dopolnjenemu z dušenjem sten, ki ga lahko zapišemo z enačbo [6]:

$$a(d) = 4,48 + 2,4 \cdot 10 \cdot \log\left(\frac{d}{0,1}\right) + 10 + 38 \quad (dB) \quad [6]$$

Jakost signala v garaži v odvisnosti od razdalje, v skladu z enačbama [5] in [6] ter ob upoštevanju oddajne moči postaje 30 dBm, je prikazana na spodnjem grafu. S točkami so označene izmerjene vrednosti.

Pri medetažnih zvezah je treba upoštevati tudi dušenje stropov.

V splošnem se razmere v etažnih garažnih objektih močno razlikujejo od etaže do etaže, saj je debelina sten in konstrukcija v pritličju drugačna kakor v višjih etažah. Pri razširjanju radijskih signalov ni zaznati valovodnega pojava, ki je značilen za predore. Slabljenje radijskih signalov je zato večje kakor v praznem in neomejenem prostoru. Zaradi velikega števila odbitih signalov kljub temu ni tako izrazito kakor pri radijskih komunikacijah v ravninskih predelih. Na slabljenje in predvsem dušenje radijskih signalov močno vpliva tudi število vozil, parkiranih v garaži. Stalno spreminjajoče se razmere v etažnih garažnih objektih močno vplivajo na parametre



Slika 12. Potek jakosti signala v garaži na nivoju ene etaže

Figure 12. Course of signal strength in the garage on a single parking level

modela logaritmične razdalje [3] in še zlasti modela faktorja slabljenja [4].

Sklepne misli

Napovedovanje razširjanja radijskih signalov je na splošno zelo nevhvaležno. Celoten fizikalni mehanizem je matematično dobro opredeljen z Maxwellovimi diferencialnimi enačbami, zato se zdi, da je vedno mogoče natančno napovedati širjenje radijskih signalov. Žal to drži zgolj teoretično, saj v praksi nikoli ne poznamo vseh dejavnikov vpliva na širjenje radijskih signalov, ker so preveč spremenljivi in mnogoštevilni. Pri načrtovanju radijskih zvez moramo zato uporabljati deterministične in empirične modele. Njihovo uspešnost moramo potrditi z meritvami.

Pri organiziranju radijskih zvez je treba izbrati rešitve, ki bodo omogočale zanesljive in nemotene radijske povezave. V etažne garažne objekte je treba namestiti snopovne sisteme radijskih zvez druge generacije (sisteme TETRA ali DMR), ki bodo zagotavljali dobro pokritost objekta z radijskim signalom.

Viri in literatura

1. Tavčar, B., Podberšič, M., Švab Tavčar, A., 2006. Gradniki telekomunikacijskih sistemov 1. COBIS. SHD:512150125, str. 218–238.
2. Tavčar, B., 2007. Načrtovanje radijskih zvez na področju varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Seminar »Radiokomunikacije 2007«.
3. Tavčar, B., 2007. Organizacija radijskih zvez v predorih. V: Ujma 21, 2007.
4. Parsons, J. D., 1992–2000. The Mobile Radio Propagation Channel. ISBN 0-471-98857-X, str. 210–211.
5. Didascalu, D., 2000. Ray-Optical Wave Propagation Modelling in Arbitrarily Shaped Tunnels. ISSN: 0942-2935.
6. Wikipedia, Rice distribution, http://en.wikipedia.org/wiki/Rician_distribution.
7. Seybold, J. S., 2005. Introduction to RF propagations. ISBN-13 978-0-471-65596-1, ISBN-10 0-471-65596-1, str. 208–217.
8. Project MESA, Service Specification Group - Services and Applications, januar 2005.
9. Miller, L. E., 2005. Wireless Technologies and the SAFECOM SoR for Public Safety Communications. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.
10. Javornik, T., Horvat, A., 2008. CRP »Znanje za varnost in mir 2006–2010«, M2-0130 Načrtovanje sodobnega digitalnega sistema TETRA za MORS, Inštitut »Jožef Stefan«, Ljubljana.