

# ANALIZA ŠUMA NA RAZDJELNIM MREŽAMA U FREKVENCIJSKOM PODRUČJU ZA ŠIROKOPOJASNI PLC, OD 10 DO 30 MHz

Dr. sc. Dubravko Sabolić, Zagreb

UDK 621.395.38:621.315.052.7  
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Prezentirani su rezultati istraživanja šuma na unutarnjim električnim distribucijskim mrežama u frekvencijskom opsegu od 10 do 30 MHz. Izmjereni podaci su obrađeni kako bi se dobile osnovne statističke karakteristike šuma. Definiran je kriterij za razgraničenje između uskopojasnih komponenti i pozadinskog šuma. Ustanovljena je korelacija između dijagrama opterećenja mreže i ukupne snage šuma u promatranom opsegu frekvencija.

**Ključne riječi:** šum, pozadinski, uskopojasni, statistika, PLC frekvencijsko područje, unutarnja instalacijska mreža.

## 1. UVOD

U ovome radu dat ćemo kratku sintetičku klasifikaciju šuma PLC medija, u području do 30 MHz, bilo onog prisutnog na vanjskoj ili unutarnjoj mreži, baziranu na literaturi [1 – 7], pa ćemo zatim prezentirati rezultate vlastitih istraživanja. Poznavanje cjelovitog modela šuma u prijenosnom mediju omogućuje teoretsku evaluaciju, simulaciju i eksperimentalno utvrđivanje djelovanja šuma na komunikacijski proces.

Istraživanja koja su provedena i prikazana u ovom radu odnose se na spektar namijenjen širokopojsnim komunikacijama u unutarnjim instalacijskim mrežama – od 10 do 30 MHz. O osobinama šuma u ostalim (nižim) frekvencijskim područjima postoje objavljeni podaci i analize [1 – 7], pa se njima ovdje nećemo baviti. Proveli smo i istraživanja statističkih osobina uskopojsnog šuma u području do 1 MHz, ali ih ovdje ne prikazujemo. Rezultati su objavljeni u domaćoj i stranoj literaturi [8, 9].

Za razliku od mnogih drugih, ali opet ne svih, prijenosnih medija, PLC niti približno ne odgovara predodžbi AWGN kanala (engl. Additive White Gaussian Noise). Termički šum u opsegu do 30–ak MHz, zanemariv je u odnosu na ostale vrste šuma proizvedene ljudskom aktivnošću, ili ponekad prirodnim procesima (npr. udari groma). Sveukupno, šum PLC medija može se klasificirati u šest glavnih vrsta. Detaljniji opis nalazi se u članku [10], a ovdje samo nabrajamo vrste:

- Pozadinski (engl. background) šum, koji nije bijeli, već je naglašeniji na nižim frekvencijama, do 5 MHz, a dolazi iz različitih izvora koje je teško identificirati, i na mreži je prisutan uvijek. Spektralna gustoća je relativno niska u odnosu na ostale vrste šuma, dok su njene promjene u vremenu polagane, i u značajnoj mjeri se događaju unutar intervala dugačkih više minuta ili sati.
- Uskopojsni šum najznačajniji je šum na frekvencijama u području iznad nekoliko MHz, a nastaje npr. prijamom elektromagnetskih polja radijskih predajnika, pa je prema tomu njegov spektralni sastav jednostavan. Drugi važan izvor uskopojsnog šuma su različiti elektronički uređaji široke potrošnje, odnosno njihovi napajajući. Istraživanja uskopojsnog šuma u području frekvencija do 1 MHz prezentirana su u [8, 9].
- Šum koji se proizvodi u sinkronizmu s frekvencijom napona elektroenergetske mreže, ili češće njenom dvostrukom vrijednošću, duguje se različitim napajajkim i prekidačkim sklopovima koji koriste tiristorsku tehnologiju.
- Asinkroni periodički šum potječe od svih uređaja koji imaju tzv. napajanje sa sjeckanjem napona (engl. switch-mode), a to je danas većina elektroničkih uređaja koji se spajaju na niskonaponsku mrežu. Impulsi koje oni proizvode su periodični, ali nisu u korelaciji s frekvencijom mreže.

- Šum s kontinuiranim spektrom, odnosno bez posebno istaknutih stacionarnih spektralnih linija, potječe od vrlo čestih trošila s univerzalnim elektromotorima i s četkicama.
- Pojedinačni impulsi nastaju npr. zbog udara groma, uključivanja i isključivanja kondenzatorskih baterija u trafostanicama, preklapanja termostata, različitih prekidača, itd, i posve su slučajnog karaktera, bilo po trenutku nastajanja, trajanju, valnom obliku i amplitudi. Podrobniji opis ove vrste šuma nalazi se u [7, 11].

Zanimljivo je da su istraživači kroz protekle godine znatno više pažnje posvetili definiranju modela kanala PLC medija, nego li određivanju modela šuma, premda je analiza komunikacijskog sustava nemoguća bez bilo koje od ovih komponenti. Naime, prijamni signal jednak je sumi odaslanog signala izobličene djelovanjem kanala i šuma, pa je svakako potrebno definirati vjerodostojan model šuma. Posebno, vrlo rijetko se susreće analiza impulsnog šuma, bez čijeg modela se ne mogu proučavati komunikacijski sustavi s PLC-om kao prijenosnim medijem. Chan i Donaldson u [4] daju rezultate mjerenja statistike impulsnog šuma samo u frekvencijskom području do 200 kHz. Tek Zimmerman i Dostert u [7], 2000. godine, iznose jedan dobar model impulsnog šuma s Markovljevim lancima koji simuliraju proces stvaranja šuma, baziran na stvarnim mjerenjima impulsnih pojava, primjenjiv u analizi komunikacijskih sustava velike širine pojasa.

U nastavku dajemo pregled provedenih istraživanja svojstava pozadinskog šuma na temelju mjerenja izvršenih na dvije bitno različite lokacije: u poslovnoj zgradi u središtu Zagreba (sedam katova, devet etaža, preko 150 ureda, periodička struktura mreže), odnosno u stambenoj kući u rezidencijalnom dijelu grada (dva kata, 10 prostorija s električnom instalacijom i značajnijim trošilima, nepravilna topologija mreže). Mjerenja su u svakom slučaju obavljena na paru vodiča neutralni – zaštitni, jer je suvremena literatura okrenuta sprezanju komunikacijskih signala upravo na taj par [12], što ima višestruke prednosti u pogledu elektromagnetske kompatibilnosti, razvođenja signala po mreži, korištenja linije na kojoj inherentno nema visokog napona frekvencije 50 Hz, a viši naponi koji se javljaju u kvarnim stanjima ograničeni su zaštitnim napravama, itd... U nastavku slijede prikazi tipičnih veličina dobivenih mjerenjima, odnosno obradom mjernih podataka. Odabrani su uzorci koji su reprezentativni u skupu mjerenja iste veličine u istom frekvencijskom pojasu u takvom smislu da odgovaraju prosječnoj situaciji. Naime, izbjegavano je usrednjavanje više snimki iste pojave, jer ono zapravo ne daje matematički korektne rezultate, s obzirom da se ovdje barata s decibelima, a u stvarnosti se naponi šuma zbrajaju po snazi. Kao kriterij po kojemu je ocjenjivano koja od svih snimki iste pojave u istim uvjetima najbolje odgovara

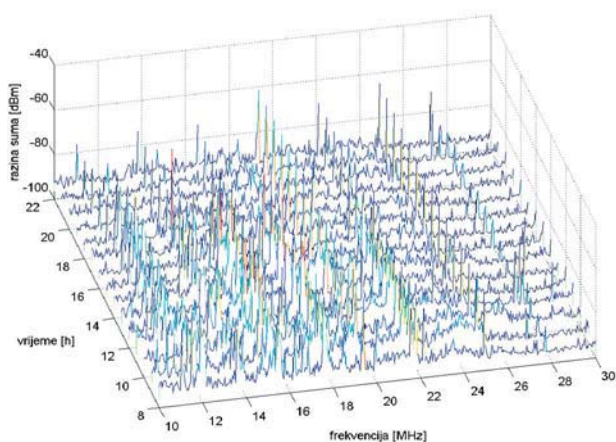
prosječnoj situaciji korišteno je najmanje odstupanje prosječne razine šuma pojedine snimke od srednje vrijednosti prosječnih razina svih snimaka. Pod pojmom "prosječne razine šuma" smatra se zbroj decibelskih vrijednosti svih uzoraka koje daje spektralni analizator podijeljen s ukupnim brojem uzoraka (400 po snimci). Ponegdje se daju i podaci o maksimalnim snimljenim razinama šuma, koji su snimljeni korištenjem "max hold" funkcije spektralnog analizatora. U svim mjerenjima korišten je spektralni analizator ugrađen u instrument Anritsu Site Master 114B, sa sljedećim podešenjima analizirajućeg filtra: RBW = 10 kHz (Resolution Band-Width), OBW = 3 kHz (Optical Band-Width). Uz takvo podešenje, uzimanje uzoraka u rasponu frekvencija od 10 do 30 MHz, kojega ćemo promatrati u ovom poglavlju, traje oko 5 sekundi. Snimanje pomoću funkcije "max hold" u svakom prezentiranom slučaju trajalo je 5 minuta, tako da te slike predstavljaju maksimalne vrijednosti snage šuma u jedinici dBm, koje su detektirane u pet minuta, odnosno u 60 cjelovitih prolazaka analizatora. Time se na dovoljno dobar način procjenjuje maksimalna vrijednost snage šuma u vrijeme izvođenja mjerenja. Cilj mjerenja je utvrditi opće osobine šuma, odnosno varijacije u svezi s opterećenjem elektroenergetskog sustava. Te varijacije mogu se u prvom redu svesti na spore vremenske varijacije srednjih razina šuma, tako da je bitno promatrati pojave u vremenskom nizu tijekom radnog dana u poslovnoj zgradi, te, kada se tako ustanovi najlošiji sat, u nizu dana u tjednu, vršeći mjerenja u doba najlošijeg sata. Za utvrđivanje najlošijeg sata treba najprije provesti mjerenje tijekom cijeloga dana (osim možda manje interesantnog perioda noći), te zatim identificirati potencijalno najproblematičnije satove. Zatim kroz cijeli tjedan treba pratiti sve satove koji bi mogli biti najlošiji, te onda odabrati u prosjeku najlošiji niz. Moguće je pratiti i prostorne varijacije snage šuma, mijenjajući lokacije mjerenja po istom katu zgrade, ili pak po istim mjestima na različitim katovima. Ovakvu vrstu mjerenja treba provoditi isključivo izvan radnog vremena, kada zaposlenici više nisu prisutni u zgradi, zato što bi inače prostorne varijacije snimljenih uzoraka šuma bile značajno uvjetovane činjenicom je li neko trošilo koje možda proizvodi mnogo šuma uključeno u blizini pojedinog mjernog mjesta ili ne. Tako bi se informacija o prostornoj varijaciji pozadinskog šuma izgubila u čitavom nizu proizvoda drugih, nekontroliranih, izvora šuma. Naposljetku, potrebno je izvršiti temeljne statističke obrade dobivenih informacija, što nećemo ovdje previše elaborirati, a s obzirom da se radi o računanju jednostavnih razdioba sohasitičkih varijabli i njihovih numeričkih pokazatelja. Slike izmjerene šuma u ovom i sljedećim poglavljima na ordinatnoj osi će sadržavati podatak o izmjerenoj razini snage u jedinici dBm, pri rezolucijskoj širini pojasa od 10

kHz. Da bi se podatak iz dBm-a preračunao u dB(W/Hz), potrebno je dakle od vrijednosti dBm oduzeti 70 dB.

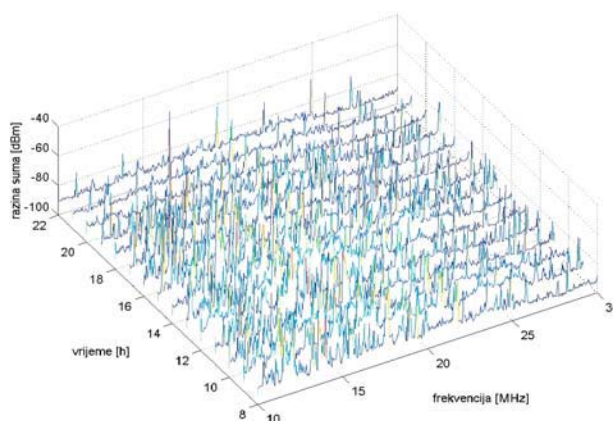
## 2. POZADINSKI ŠUM U UREDSKOJ ZGRADI

U uredskoj zgradi, u širem centru Zagreba, sa sedam katova, odnosno devet etaža, te sa oko 150 ureda, vršena su mjerenja tijekom pet dana (radnih) približno jednoliko raspoređenih kroz dva mjeseca, a za prezentaciju ovdje odabran je dan (22. rujna 2003.) kod kojega prosječna razina snage u pojasu od 10 do 30 MHz, tj. aritmetička sredina svih izmjerenih uzoraka u jednom danu, najmanje odudara od aritmetičke sredine svih izmjerenih uzoraka u svih pet dana. Stoga je ovdje riječ o prezentaciji prosječnih prilika. Istodobno s uzimanjem uzoraka šuma, uzimani su također i uzorci "maksimalnog šuma", tako da je korištena opcija "max hold" na mjernom instrumentu kroz pet minuta kontinuiranog mjerenja. Konačno, demonstracije radi načinjeno je i nekoliko sporadičnih mjerenja maksimalnih razina šuma u periodima od po dva sata. Istodobno sa snimanjem šuma, praćeno je i opterećenje elektroenergetske mreže zgrade na kojoj su obavljani pokusi, tako da je dobiven profil prosječnih satnih opterećenja u odgovarajućem vremenskom periodu. Snimanja šuma obavljana su od 8:00 do 22:00 na svaki puni sat, a satna opterećenja električne mreže računata su tako što su bilježena stanja brojila u koracima od po sat vremena, ali na polovici intervala mjerenja šuma. Jedan od ciljeva je i istraživanje veze opterećenja sustava i osobina pozadinskog šuma. Koriste se metode i alati objašnjeni u prethodnom odjeljku.

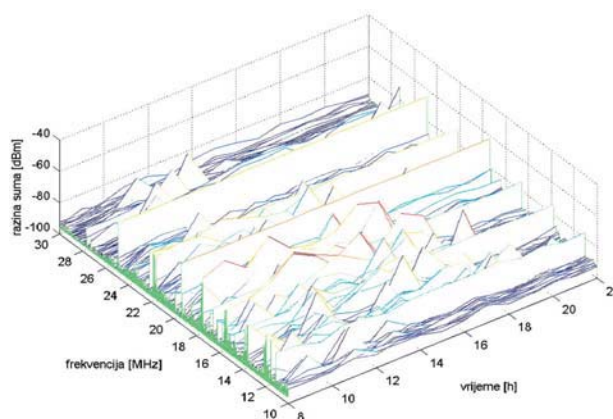
Slike 1 do 14 u najkraćemu prikazuju rezultate ovih mjerenja i njihove obrade.



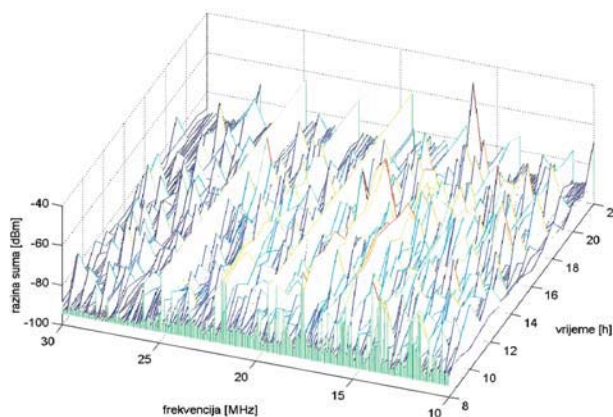
**Slika 1.** Snimljeni uzorci razine šuma u poslovnoj zgradi od 8:00 do 22:00 sati, te u pojasu frekvencija od 10 do 30 MHz. Vrijeme snimanja je parametar, a može se pratiti frekvencijski tijek.



**Slika 2.** Snimljeni uzorci petominutnih maksimalnih vrijednosti razine šuma u poslovnoj zgradi od 8:00 do 22:00 sati, te u pojasu frekvencija od 10 do 30 MHz. Vrijeme snimanja je parametar, a može se pratiti frekvencijski tijek.

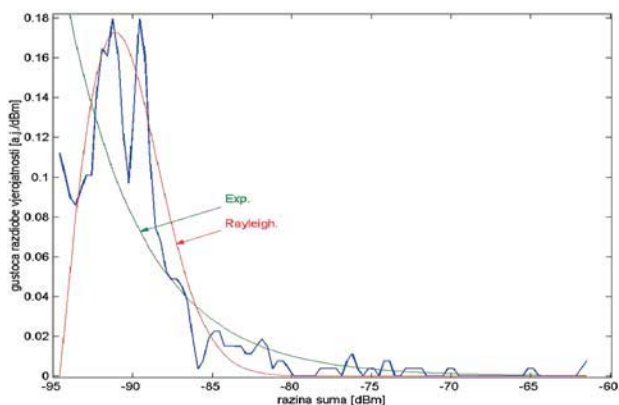


**Slika 3.** Snimljeni uzorci razine šuma u poslovnoj zgradi od 8:00 do 22:00 sati, te u pojasu frekvencija od 10 do 30 MHz. Prikaz omogućuje praćenje varijacija razine šuma na svakoj pojedinoj frekvenciji kroz vrijeme.

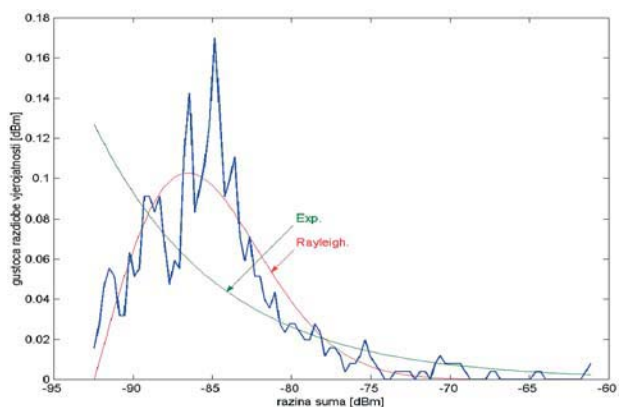


**Slika 4.** Snimljeni uzorci petominutnih maksimuma razine šuma u poslovnoj zgradi od 8:00 do 22:00 sati, te u pojasu frekvencija od 10 do 30 MHz. Prikaz omogućuje praćenje varijacija razine šuma na svakoj pojedinoj frekvenciji kroz vrijeme.

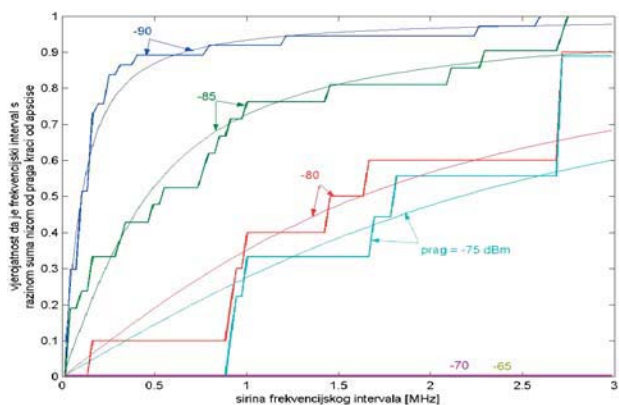




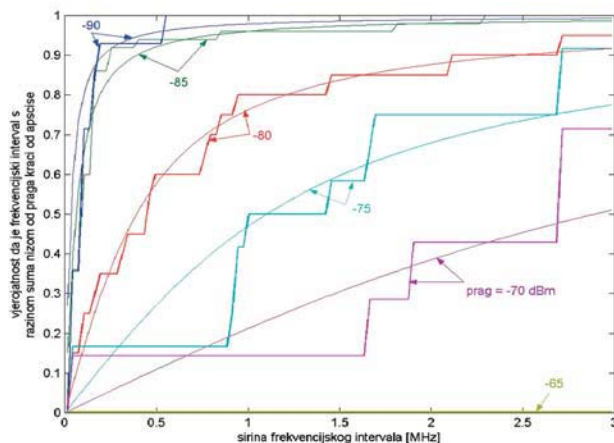
Slika 5. Zbirna gustoća razdiobe vjerojatnosti po decibelskim razinama snage i dvije testirane optimalne aproksimacije: eksponencijalna i Rayleighova. Obradeni su svi uzorci jednoga dana.



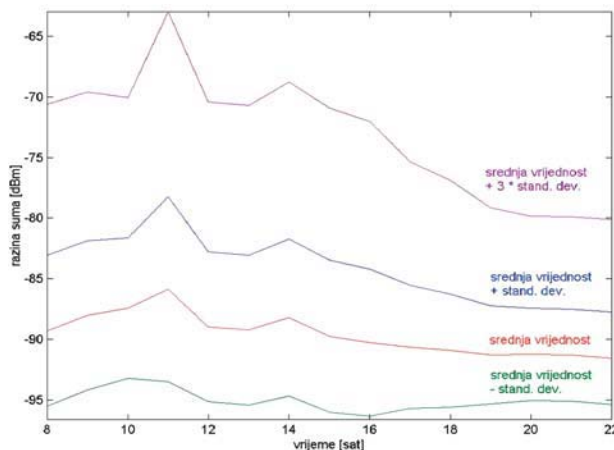
Slika 6. Zbirna gustoća razdiobe vjerojatnosti po najvećim razinama snage zatečenim kroz pet minuta mjerenja, i dvije testirane optimalne aproksimacije: eksponencijalna i Rayleighova. Očekivanje petominutnih maksimalnih razina je u prosjeku za oko 5 dB veće od očekivanja trenutanih razina. Obradeni su svi uzorci jednoga dana.



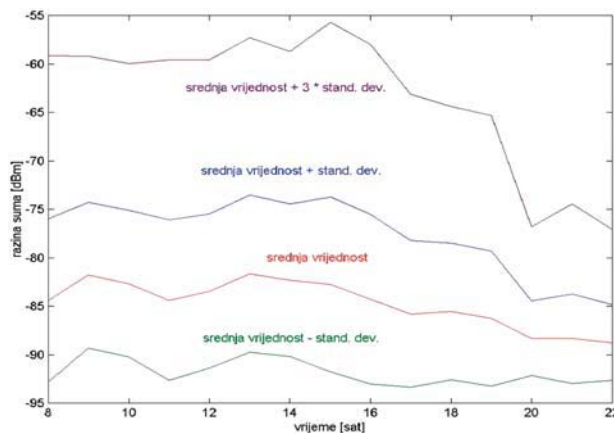
Slika 7. Razdioba vjerojatnosti po duljini frekventijskog intervala u kojemu je razina šuma niža od praga, s optimalnim Cauchyevim aproksimacijama za trenutne snimke razine šuma. Cauchyeva razdioba vjerojatnosti ima oblik:  $v(x) = [(2/\pi)] \times \text{Atan}(x/\lambda)$ , gdje je  $\lambda$  parametar. Gustoća razdiobe zvonolika je krivulja s jednadžbom:  $g(x) = \{2/(\lambda\pi)\} \times \{1 / [1 + (x/\lambda)^2]\}$ .



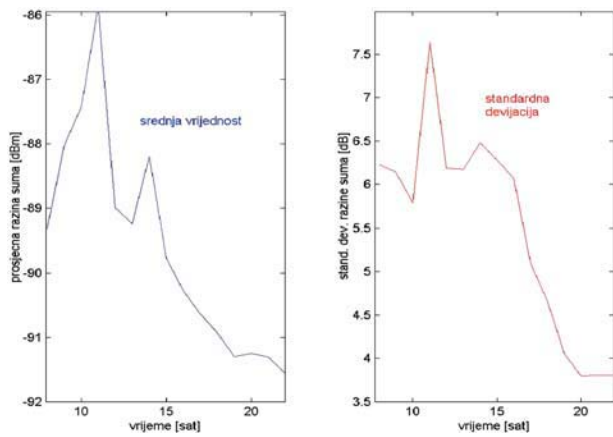
Slika 8. Razdioba vjerojatnosti po duljini frekventijskog intervala u kojemu je razina šuma niža od praga, s optimalnim Cauchyevim aproksimacijama za maksimalne vrijednosti zabilježene kroz pet minuta. Statistika je nepovoljnija, ako promatranje traje dulje.



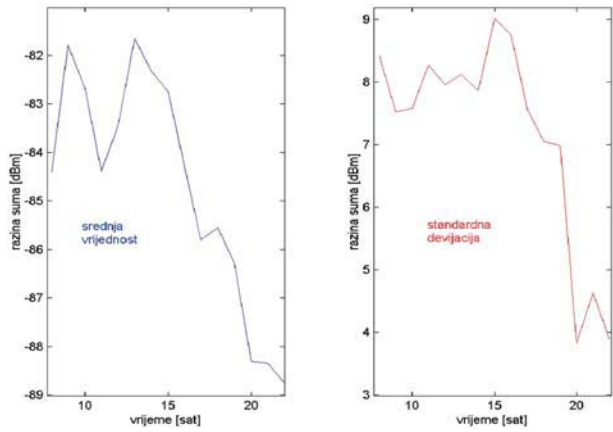
Slika 9. Prikaz srednjih decibelskih razina i devijacija za trenutačne uzorke šuma. Oko pola od svih uzoraka smješteno je između donje dvije krivulje, a ispod najdonje krivulje praktički nema uzoraka.



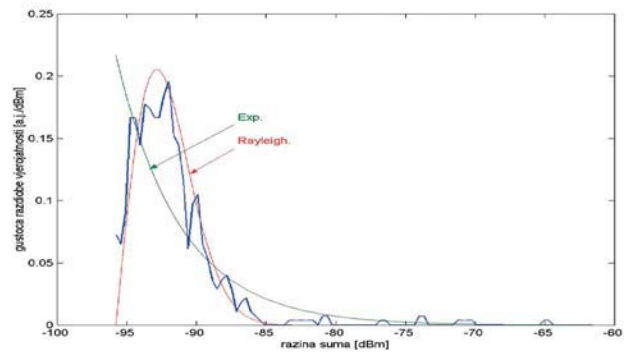
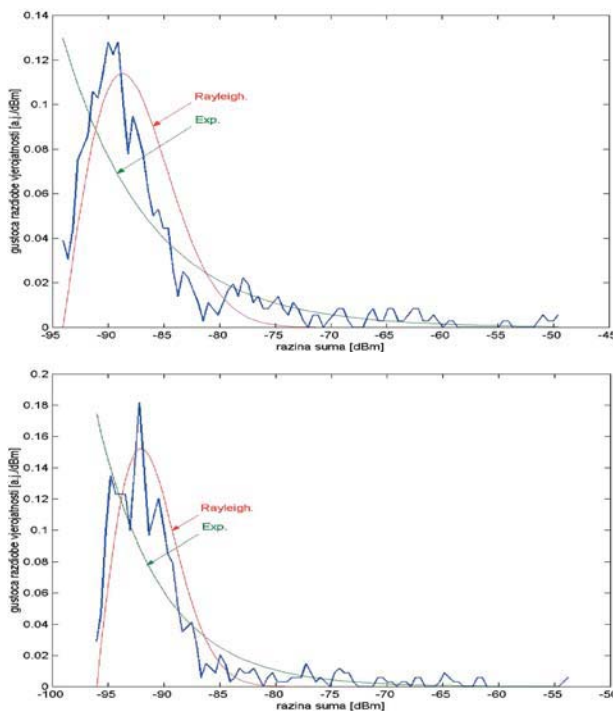
Slika 10. Prikaz srednjih decibelskih razina i devijacija za maksimalne vrijednosti snimljene kroz pet minuta. Očekivana razina petominutnih maksimuma je tipično za 5 dB veća nego kod trenutanih vrijednosti, a devijacija je za oko 2 dB veća.



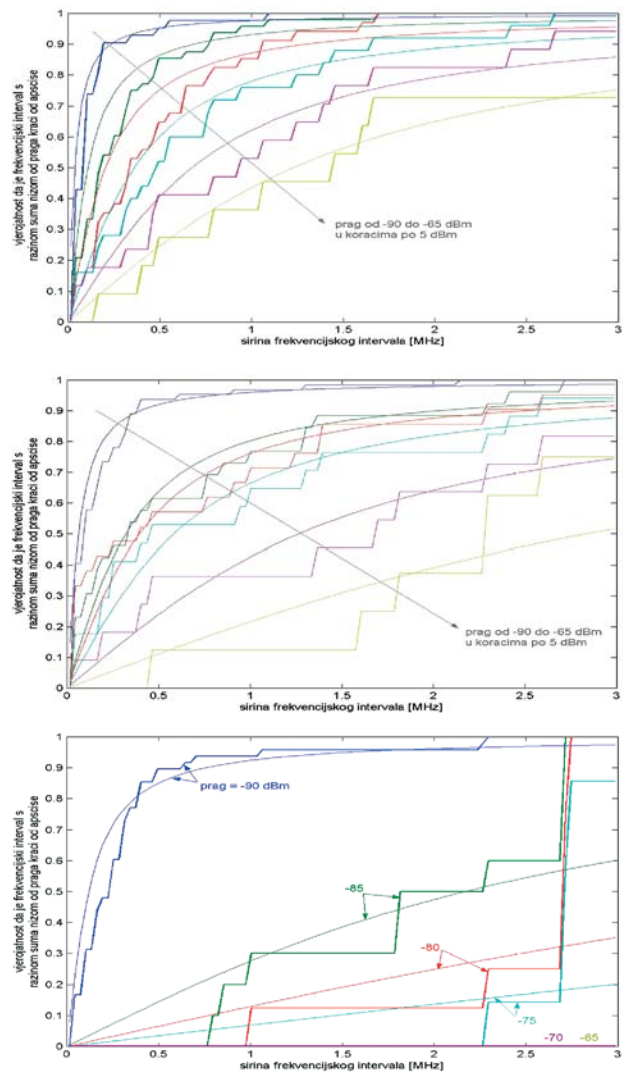
Slika 11. Detaljniji prikaz vremenskog tijeka snage i devijacije snage za trenutne uzorke šuma



Slika 12. Detaljniji prikaz vremenskog tijeka snage i devijacije snage za maksimalne vrijednosti dostignute kroz pet minuta



Slika 13. Usporedba gustoće razdiobe vjerojatnosti po decibelskim razinama snage šuma trenutnih uzoraka, s eksponencijalnom i Rayleighovom optimalnom aproksimacijom, u tri specifična vremena: (a) 11:00 – najveća ukupna snaga šuma; (b) 15:00 – osrednja ukupna snaga šuma; (c) 22:00 – najmanja ukupna snaga šuma



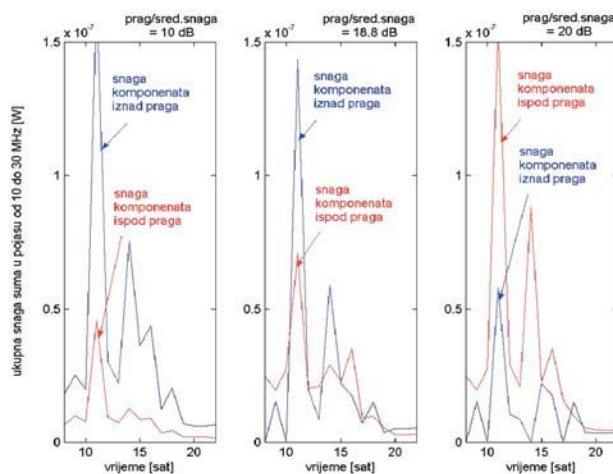
Slika 14. Usporedba razdiobe vjerojatnosti po frekvencijskim intervalima s razinom šuma manjom od praga, za trenutne uzorke, s Cauchyevim optimalnim aproksimacijama, u tri specifična vremena: (a) 11:00; (b) 15:00; (c) 22:00. Situacija je najbolja u 22:00, a najlošija u 11:00.

Kada je riječ o frekvencijskim intervalima slobodnim od smetnji izvjesne razine (praga), potrebno je pojasniti ovu statističku karakteristiku šuma. Govorimo, naime, o razdiobi vjerojatnosti po duljini frekvencijskog intervala izraženog u jedinici MHz, u kojemu je razina šuma u dBm–ima manja od neke vrijednosti, koju nazivamo "pragom", a tu razdiobu definiramo kao vjerojatnost da je frekvencijski interval s razinom šuma nižom od praga kraći od vrijednosti nanešene na apscisu. Na slikama 7 i 8 zamjećujemo da je situacija bolja kada govorimo o trenutačnoj raspodjeli razina snage šuma, nego li o petominutnom maksimumu. Primjerice, kod praga od  $-80$  dBm, očekivanje širine slobodnog frekvencijskog intervala iznosi oko 1,5 MHz prema trenutačno prikupljenim podacima, dok u petominutnom intervalu ono iznosi samo oko 0,5 MHz. Razdiobe se u svakom slučaju dobro aproksimiraju Cauchyevim tipom ovisnosti. Ta je aproksimacija bolja od eksponencijalne u smislu najmanjeg kvadratnog odstupanja. Ova usporedba trenutačne situacije i najgorih prilika u petominutnom intervalu upozorava da će u realnim komunikacijskim sustavima, u kojima se želi postići maksimalna iskoristivost raspoloživog pojasa, morati biti razvijeni sofisticirani postupci adaptiranja primopredajnika prema karakteristikama kanala. Manje složeni postupci borbe protiv smetnji nalažu računanje s dugoročno utemeljenim procjenama šuma. Vidimo također da će zbog karakteristike da se šum mijenja u dosta velikim granicama kroz vrijeme, biti prisutna pojava kolebanja odnosa signal/šum. U većini slučajeva, to će biti posljedica kolebanja šuma, ali moguće je i kolebanje prijamne razine signala zbog djelovanja trošila spojenih u bliske točke prijamnog ili predajnog uređaja.

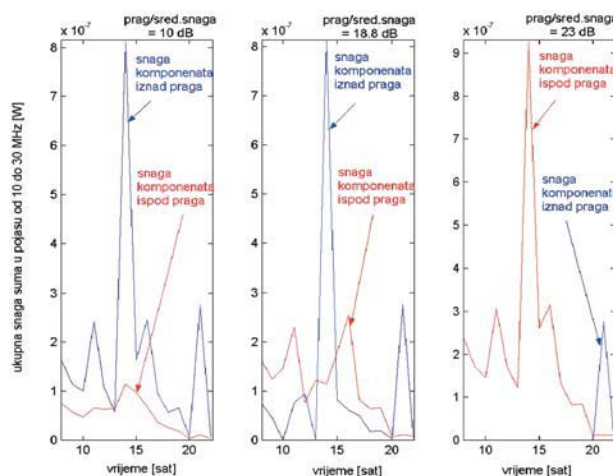
U nastavku uvodimo definiciju parametra  $q$ , koji omogućuje kvantifikaciju odnosa doprinosa uskopojasnih istaknutih komponenti i neistaknutih komponenti šuma ukupnoj snazi šuma. Obrada se provodi nad svim raspoloživim podacima u zadanom frekvencijskom opsegu, mjerenim tijekom cijelog interesantnog razdoblja, u našem slučaju tijekom cijelog dana. Postupak se sastoji od određivanja omjera snage  $P_0$  i prosječne snage šuma ukupnog uzorka,  $P_{avg}$ , za kojega vrijedi da je ukupna snaga svih komponenti koje imaju snagu veću od  $P_0$  jednaka ukupnoj snazi svih komponenti koje imaju snagu manju od  $P_0$ .

Naravno, ovaj račun se provodi nad vrijednostima snage izraženim u W, a ne u dBm, ali se konačan pronađeni omjer  $P_0/P_{avg}$  može izraziti u decibelima, kao  $q = 10 \times \log(P_0/P_{avg})$ . Što je ovaj omjer veći, to je veći težinski udio komponenti koje su uskopojasne, a po snazi su značajno istaknute u odnosu na većinu ostalih komponenti. S obzirom na stvarne razdiobe snaga komponenti šuma, prilikom istraživanja smo utvrdili da je ova definicija mnogo prikladnija od takve, koja bi utvrđivala postotak snage koja dolazi od istaknutih komponenti viših od nekog fiksno određenog praga. Slike 15 i 16 ilustriraju proces traženja gore navedenog omjera. Kada je  $P_0$  za  $q = 18,8$  dB veći od srednje snage,

komponente jače od  $P_0$  nose istu snagu kao i one slabije od  $P_0$ .



Slika 15. Određivanje omjera praga  $P_0$  i srednje snage  $P_{avg}$ , kod kojega je ukupan zbroj snaga tijekom cijelog perioda mjerenja komponenti jačih od  $P_0$  jednak ukupnom zbroju snaga komponenti slabijih od  $P_0$ . Slijeva nadesno povećava se omjer praga i srednje snage, a točan omjer,  $q$ , iznosi u decibelima 18,8 dB. Račun je izvršen s podacima o trenutačnim vrijednostima razina šuma prikupljenim tijekom cijeloga jednog dana.



Slika 16. Određivanje omjera praga  $P_0$  i srednje snage  $P_{avg}$ , kao na prethodnoj slici, za petominutne maksimume prikupljene tijekom cijelog jednog dana. Zanimljivo je da je  $q = 18,8$  dB isti za trenutačne vrijednosti i za petominutne maksimume.

### 3. O POZADINSKOM ŠUMU U STAMBENOJ ZGRADI

Mjerenja u stambenoj kući provedena su na isti način kao što je gore opisano, na paru vodiča neutralni – zaštitni. Umjesto podrobnog prikaza mjernih rezultata i izvedenih statističkih razdioba, dobivenih na isti način kao što je gore opisano za slučaj poslovne zgrade, navodimo samo zaključke istraživanja:



- U većem dijelu obuhvaćenog frekvencijskog područja, ponajprije u opsegu od 5 do 30 MHz, srednje razine šuma kreću se oko –88 do –90 dBm, što je oko 5 do 7 dB iznad razine šuma upotrijebljenog mjernog instrumenta. Općenito, može se reći da pozadinski šum u prosjeku ima relativno niske vrijednosti, s izuzetkom područja od nekih 10 do 16 MHz, u kojemu se zapaža veći broj komponenti izdignutih znatno iznad opće razine šuma, koja je i sama za otprilike 8 dB viša nego u preostalom dijelu frekvencijskog područja. To se može pripisati radijskim emisijama različite vrste, koje podižu opću razinu šuma.
- Promatrajući najniže dijelove spektra, ispod 5 MHz, primjećuje se da srednja razina šuma pada s frekvencijom izuzetno brzo, tj. oko 10 dB/MHz, tako da dosizanjem frekvencije od 5 MHz praktički padaju na opću razinu pozadinskog šuma oko –90 dBm.
- Kada je riječ o uskopojasnim istaknutim komponentama šuma u nama najzanimljivijem području, od 10 do 30 MHz, naj snažnije uskopojasne komponente ističu se 20–ak dB iznad opće razine šuma. Te, kao i manje istaknute uskopojasne komponente, nose značajan dio snage ukupnog šuma u području od 10 do 30 MHz.
- Govoreći o statističkim osobinama pozadinskog šuma, u koje su ubrojene i komponente koje se značajno izdižu iznad opće razine, mogu se istaknuti ove glavne osobine:
  - Razdioba po amplitudama kreće se u pravilu između eksponencijalnog i Rayleighovog tipa funkcija razdiobe, odnosno gustoće razdiobe [13].
  - U frekvencijskim područjima u kojima postoji izvjestan broj komponenti šuma znatno izdignutih iznad okolne posječne razine, te ako te komponente imaju izrazito malu širinu pojasa, razdioba decibelskih razina snage šuma izvrsno se može opisati Rayleighovim modelom. Slaganje s Rayleighovim modelom osobito je dobro ako su istaknute komponente mnogo snažnije od razine šuma u ostalim dijelovima spektra, ako su uskopojasne, ako su relativno rijetke, te ako je opća razina pozadinskog šuma približno konstantna preko čitavog frekvencijskog opsega. Tu se posebno ističu obrađeni opsezi od 5 do 10 MHz i od 30 do 60 MHz.
  - U slučajevima kada izdignute komponente šuma imaju širi pojas, kada ih ima više, i kada su pretežito koincidentne s područjima u kojima je i razina okolnog pozadinskog šuma izdignuta, najbolji opis daje eksponencijalni tip razdiobe. Tipičan primjer je područje od 10 do 30 MHz, u kojemu je karakter razdiobe decibelskih amplituda šuma izrazito eksponencijalan.
  - Ostale situacije mogu se opisati modelom koji je negdje između eksponencijalnog i Rayleighovog, s tim da se manje vrijednosti razine snage raspodjeljuju bliže Rayleighovom, a veće bliže eksponencijalnom

zakonu. Rayleighov model u takvim slučajevima potcjenjuje ulogu jačih komponenti šuma. Ovakve razdiobe karakteristične su za situacije u kojima postoje izdignute komponente zbog kojih bi inače razdioba težila Rayleighovoj, ali u kojima istodobno razina okolnog šuma varira s frekvencijom. Kada bi se mjerenja obavljala u užim frekvencijskim područjima, zaobišavši tako varijacije u osnovnom pozadinskom šumu, gotovo u čitavom području frekvencija od nekih 18 MHz nadalje mogla bi se ustanoviti esencijalno Rayleighova razdioba decibela snage šuma.

S obzirom na potrebu optimizacije iskorištavanja raspoloživog frekvencijskog pojasa, od koristi je izračunati razdiobe onih frekvencijskih intervala, u kojima razina šuma nikada ne prelazi jednu određenu vrijednost, koju nazivamo "pragom". U svezi s tim možemo zaključiti da, kada su pragovi dovoljno niski, razdiobu takvih intervala po njihovoj duljini u osnovi možemo modelirati Cauchyevom ovisnošću, kod koje je razdioba vjerojatnosti izražena kao  $(2/\pi) \times \text{Atan}(x/\lambda)$ . To je situacija u kojoj prevladava pozadinski šum. Kako se prag izdiže iznad razine općeg pozadinskog šuma, razdiobe postaju stupnjevite, s tim da se u mnogim slučajevima i dalje može zamijetiti opći trend u skladu s navedenom ovisnošću.

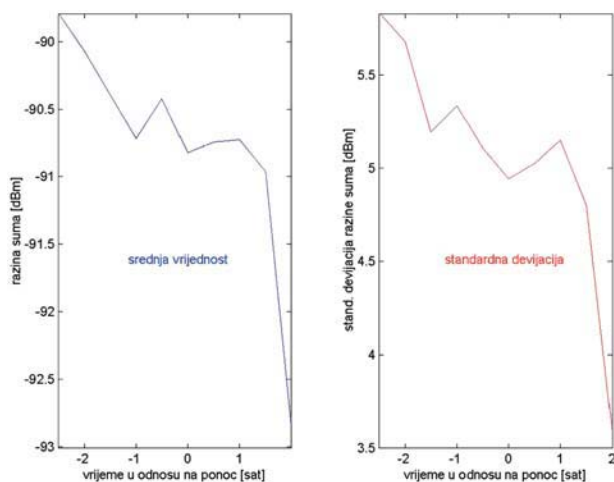
U stambenoj kući obavljana su i mjerenja uz uključivanje nekoliko tipičnih trošila, kako bi se sagledao njihov utjecaj na ukupnu snagu šuma. Bez ulaženja u detaljniju obradu, već na prvi pogled s prethodnih slika se vidi sljedeće:

- Televizor znatno onečišćuje frekvencijski pojas između 12 i 16 MHz, i to za prosječno 10–ak dB.
- Osobito problematična trošila su punjači za mobilni telefon, odnosno za računalo, premda su oba ispitana predmeta proizvele vodeće svjetske kompanije u svojim područjima, što jamči visoku razinu kvalitete. Zanimljivo, punjač za računalo najmanje ometa kada je najviše opterećen (punjenje poluprazne baterije i osiguravanje pogonske energije za aktivno računalo). Punjač za mobilni telefon više ometa dok je opterećen punjenjem baterije, nego dok je u praznom hodu. U prosjeku, ovi uređaji kvare šumnu karakteristiku kanala za približno 15 do 20 dB, u vrlo širokom opsegu od nekih 15 do 25 MHz.
- Ukupno djelovanje televizora i punjača za računalo, ili za mobilni telefon, povećava razinu snage šuma za 15–ak dB praktički u čitavom razmatranom pojasu frekvencija.

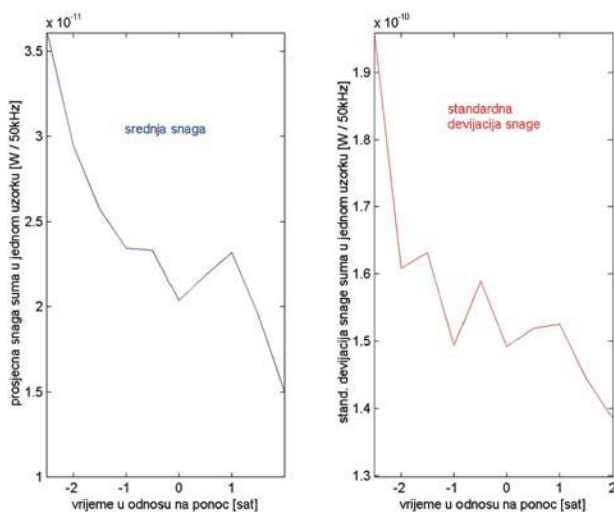
Premda su u ovim ograničenim pokusima izvori šuma spajani na samo mjerno mjesto, tako da je njihov utjecaj na prvi pogled možda precijenjen, treba primijetiti da će u realnosti PLC uređaji vrlo često biti korišteni upravo za podatkovno komuniciranje, što obvezno uključuje korištenje računala. Sasvim vjerojatno će, dakle, korisnikovo najbliže okruženje sadržavati takve uređaje, poput računala, monitora, televizora, razne uredske opreme i sl, a postoji i

velika vjerojatnost da će osobno računalo biti priključeno upravo na istu utičnicu kao i PLC komunikacijski modem. Nadalje, i sam PLC uređaj imat će vlastiti napajač. Stoga ovo može biti ozbiljan limitirajući faktor za postizanje većih prijenosnih kapaciteta.

Nadalje, izvršena su i mjerenja s ciljem praćenja varijacija razine snage šuma i standardne devijacije te razine tijekom noćnog razdoblja. Na slikama 17 i 18 prikazane su krivulje tih ovisnosti za trenutačno uzete uzorke, te za petominutne maksimume. Evidentno je da razine šuma bitno padaju u kasnijim satima, nakon isključivanja elektroničkih uređaja spojenih u blizini mjernog mjesta.



Slika 17. Prosječna decibelska razina šuma i standardna devijacija razine u noćnom razdoblju



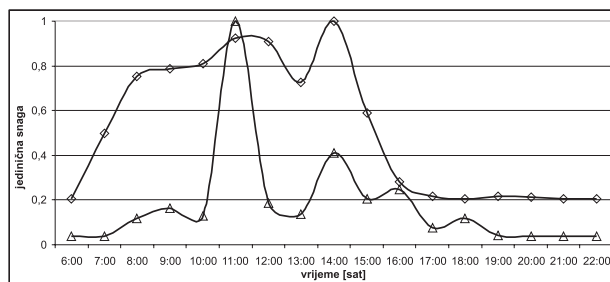
Slika 18. Prosječna snaga šuma u jednom uzorku i standardna devijacija snage u jednom uzorku, tijekom noćnog razdoblja. Ukupna snaga u pojasu od 10 do 30 MHz je 400 puta veća od ordinatnih vrijednosti na lijevoj slici.

#### 4. VEZA IZMEĐU SNAGE ŠUMA I OPTEREĆENJA INSTALACIJSKE MREŽE

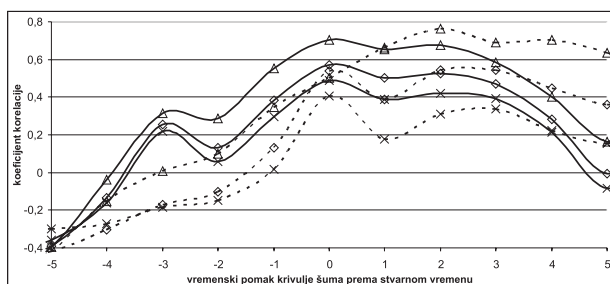
Sada ćemo dovesti u vezu opterećenje elektroenergetskog sustava kao zadanu činjenicu, s ponašanjem detektiranog

šuma u frekventijskom pojasu između 10 i 30 MHz. Već i letimičnom usporedbom dijagrama opterećenja čitavog elektroenergetskog sustava, ili njegovih krupnih dijelova (regije, gradovi), s dijagramima jedinične snage šuma na instalacijama, vidi se da te krivulje u osnovi nisu korelirane. Stoga je potrebno potražiti korelaciju s opterećenjem elektroenergetskog sustava na mikro razini, npr. u srednje velikoj uredskoj zgradi, okruženoj s većim brojem sličnih objekata u najbližoj okolini. S tim ciljem, paralelno s mjerenjima šuma bilo je provođeno mjerenje opterećenja poslovne zgrade.

Na slici 19 dajemo usporedni prikaz vremenskog tijeka jediničnih snaga opterećenja zgrade i ukupne snage šuma. Jedinična snaga šuma dobije se tako, da se ukupna snaga izražena u vatima podijeli s najvećom zabilježenom snagom, naime onom u 11:00 sati. Krivulja jedinične snage, dakle, nosi istu informaciju kao i krivulja na slici 11, samo što su relativne snage prikazane u linearnom, a ne u logaritamskom (decibelskom) obliku. Vršna snaga krivulje jediničnog opterećenja zgrade bila je u radnom danu u 11:00 sati oko 17 kW. Korelaciju te dvije krivulje ispitujemo na taj način, da tražimo korelacijske koeficijente između krivulja, kada krivulju jedinične snage šuma pomičemo na vremenskoj osi.



Slika 19. Jedinične snage opterećenja zgrade (romb) i ukupne snage trenutnih uzoraka šuma (trokut). Ostale jedinične snage šuma nisu prikazane zbog bolje preglednosti. Njihove korelacijske funkcije dane su na sljedećoj slici.



Slika 20. Koeficijent korelacije između krivulja šuma i opterećenja električne mreže zgrade. Romb: korelacija ukupne snage šuma. Trokut: korelacija snage istaknutih komponenti, uz  $q = 18,8$  dB. Križić: korelacija snage osnovnog šuma (neistaknutih komponenti), također uz  $q = 18,8$  dB. Pune linije: korelacijske funkcije za trenutačne uzorke šuma. Crtkane linije: korelacijske funkcije za maksimalne vrijednosti šuma dostignute kroz pet minuta mjerenja.



Slika 20 prikazuje korelacijsku funkciju za pomake krivulje šuma od  $-5$  sati do  $+5$  sati u odnosu na stvarno vrijeme. Time pokrivamo čitav vremenski period u kojemu postoji aktivnost ljudi u zgradi, pa prema tomu i veće opterećenje mreže. Iz ovoga primjera vidimo da je korelacija između krivulja opterećenja mreže i snage šuma najveća upravo kada je pomak u odnosu na stvarno vrijeme jednak nuli, što je prvi znak da međusobna veza postoji.

Korelacijski koeficijent ukupne snage trenutačnih uzoraka u maksimumu poprima relativno velik iznos, oko 0,6, što znači da je veza razmjerno čvrsta. U preostala četiri dana u kojima je obavljano cjelodnevno mjerenje kao i ovdje prezentirano, najveći iznosi toga faktora bili su između 0,53 i 0,62, i u svim slučajevima su se pojavljivali u 11 sati. Svi se oni odnose na ukupnu snagu šuma u području od 10 do 30 MHz. Kada bi se promatrala manja frekvencijska podpodručja, korelacija bi se mogla pokazati čvršćom u nižem frekvencijskom opsegu, npr. od 10 do 15 MHz, dok bi npr. u području od 25 do 30 MHz poprimala manje vrijednosti, jer se u njemu više ne pojavljuju znatne komponente šuma uzrokovane trošilima spojenim na mrežu. Kako se povećava pomak u odnosu na stvarno vrijeme, korelacija postaje negativna, i također poprima veće iznose, do oko  $-0,5$ .

To također potvrđuje relativno jaku vezu promatranih pojava. Istaknute uskopojasne komponente šuma pokazuju značajno manju korelaciju s opterećenjem mreže nego li ukupna snaga i osnovni šum, jer važan dio njihove ukupne snage dolazi u mrežu prijamom elektromagnetskih polja radijskih predajnika. Korelacijska funkcija za maksimalne vrijednosti uskopojasnih komponenti zabilježene kroz pet minuta pokazuje tendenciju prema vremenskom zaostajanju maksimuma korelacije za oko 2 sata. Do toga dolazi zbog povećanja udjela iz vana primljenih smetnji nakon završetka radnog vremena, zbog čega snaga istaknutih uskopojasnih komponenti pada sporije od opterećenja mreže. Efekt toga se blago reflektira i u krivulji za ukupnu snagu petominutnih maksimuma.

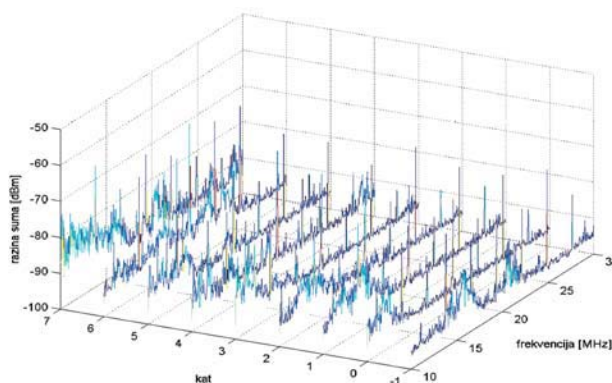
Iz gornjih razmatranja općenito zaključujemo sljedeće:

- ❑ Pozadinski šum u području od 10 do 30 MHz nije u čvrstoj korelaciji s opterećenjem velikih dijelova elektroenergetskog sustava, nego je relativno čvrsto koreliran (koeficijent korelacije oko 0,5 – 0,6) s opterećenjem sustava koji napaja mikrolokaciju (zgradu) u kojoj se provode mjerenja.
- ❑ Relativne promjene snage šuma su, općenito gledano, zamjetno veće od promjena opterećenja mreže, zbog toga što veliki dio potrošnje električne energije čine trošila koja ne uzrokuju praktički nikakav šum na ovako visokim frekvencijama, poput pumpi centralnog grijanja, liftova, različitih grijača, itd. Šumu doprinose elektronički uređaji koje koriste službenici na poslu. Iz snimljenih ovisnosti šuma kroz svih pet promatranih dana, naime, vidljivo je da je doba najveće aktivnosti

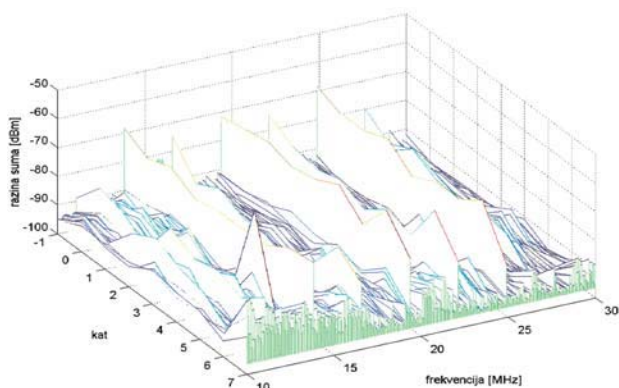
zaposlenika oko 11 sati, te oko 14 sati (neposredno pred kraj radnog vremena).

- ❑ Istaknute uskopojasne komponente čvršće su korelirane s opterećenjem na električnoj mreži nego li neistaknute komponente, odnosno ukupan šum, što znači da pretežito dolaze iz mreže u relativno bliskoj okolini mjernog mjesta, a ne, kako bi se moglo očekivati, prijamom elektromagnetskih valova iz okolnog prostora.
- ❑ Šum prisutan preko noći treba pripisati elektroničkim trošilima koja su trajno priključena na mrežu i koja injektiraju šum o kojemu je bilo govora u razmatranju u prethodnom odjeljku. Najbolji primjer su obnavljači na katovima i njihovi trajno uključeni ventilatori (serijski elektromotori). Tijekom noći veću relativnu važnost dobivaju uskopojasne komponente šuma koje instalacijska mreža prima od vanjskih elektromagnetskih polja s udaljenih izvora.
- ❑ Najveći dio snage šuma PLC medija na promatranim frekvencijama dolazi upravo iz sredine u kojoj se obavlja promatranje. Tek jedan manji dio unose vođene emisije iz vanjske električne mreže, i elektromagnetski valovi koje prima mrežna žičana struktura iz okoline.

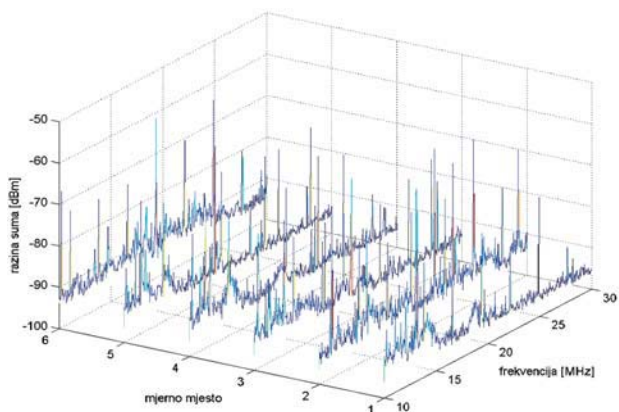
U nastavku dajemo najkraći pregled rezultata u svezi s prostornim varijacijama šuma detektiranih u poslovnoj zgradi na dan 22. rujna 2003. S obzirom da obrada ovih rezultata nema prevelikog smisla, samo ih navodimo kao podsjetnik da šumne prilike u istoj zgradi mogu biti u bitnome različite. Prostorne varijacije snimane su u neaktivno doba dana, oko 18 sati, kada zaposlenika u zgradi uglavnom više nema, i kada spremačice više nisu koristile usisivače, koji su potencijalno veliki izvori smetnji. Na sljedećim slikama kao ilustracija daju se dvije grupe mjernih rezultata. Slike 21 i 22 prikazuju snimke šuma detektiranog na svim etažama poslovne zgrade u kojoj je obavljano mjerenje, počev od podruma, do zaključno 7. kata. Mjerenja su obavljena uvijek na utičnici koja se nalazi na sredini hodnika dugačkog oko 35 metara. Slike 23 i 24 prikazuju pak nekoliko uzoraka šuma uzetih na različitim mjernim mjestima na istom katu.



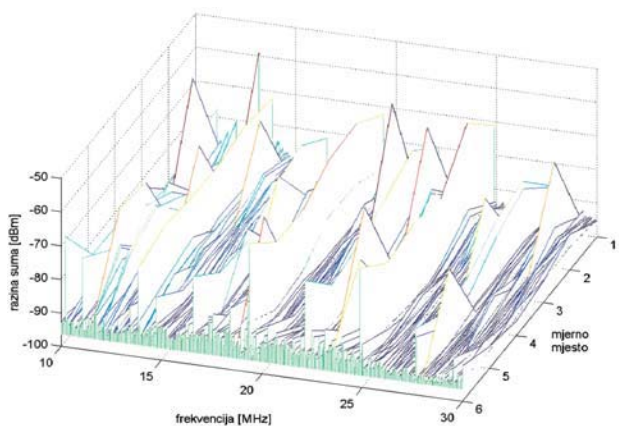
Slika 21. Uzorci šuma na različitim katovima poslovne zgrade. Mjerenja su obavljena na utičnici na sredini hodnika svakog kata, dugačkog 35 m. Mogu se pratiti varijacije razine snage šuma po frekvenciji.



**Slika 22.** Uzorci šuma na različitim katovima poslovne zgrade. Mjerenja su obavljena na utičnici na sredini hodnika svakog kata, dugačkog 35 m. Mogu se pratiti varijacije razine snage šuma po katovima poslovne zgrade.



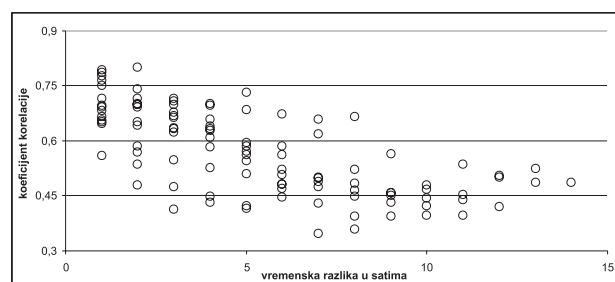
**Slika 23.** Uzorci šuma na različitim mjernim mjestima 5. kata poslovne zgrade. Mjerna mjesta bila su jednoliko raspoređena po čitavom katu. Mogu se pratiti varijacije razine snage šuma po frekvenciji.



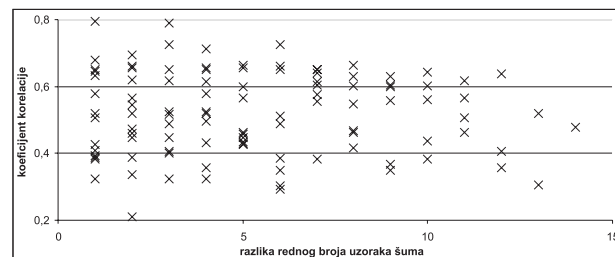
**Slika 24.** Uzorci šuma na različitim mjernim mjestima 5. kata poslovne zgrade. Mjerna mjesta bila su jednoliko raspoređena po čitavom katu. Mogu se pratiti varijacije razine snage šuma po mjernim mjestima na katu.

Na kraju analize šuma osvrnut ćemo se na korelacijska obilježja uzoraka šuma uzetih u različito vrijeme, odnosno na različito mjestu. Koristit ćemo po petnaest vremenskih, odnosno prostornih uzoraka, snimljenih 22. rujna 2003. u poslovnoj uredskoj zgradi u centru Zagreba. Kada je riječ o uzorcima uzetim u različito vrijeme, razmak među susjednim uzorcima jednak je sat vremena. Prostorni uzorci snimani su na različitim katovima, odnosno na različitim priključnicama na istome katu. U oba slučaja riječ je, dakle, upravo o snimkama šuma koje su korištene u analizi provedenoj ranije u ovome odjeljku.

Najprije ćemo promotriti koeficijente križne korelacije između svih parova uzoraka šuma snimljenih u različitim vremenima, tako da se parovi ne ponavljaju, i tako da ne sadrže iste uzorke. Prema tomu, računamo 105 kroskorelacijskih koeficijenata. Isti postupak provodimo i za petnaest prostornih uzoraka šuma. Rezultati su dani na slikama 25 i 26. Ilustracija (25) odnosi se na vremenske, a (26) na prostorne uzorke.



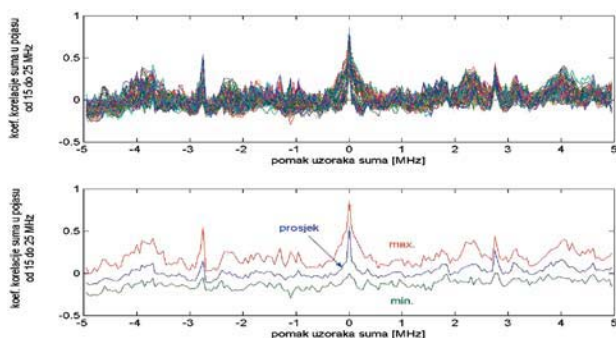
**Slika 25.** Svi koeficijenti križne korelacije za parove između 15 različitih uzoraka šuma uzetih u različito vrijeme, u razmaku od po sat vremena



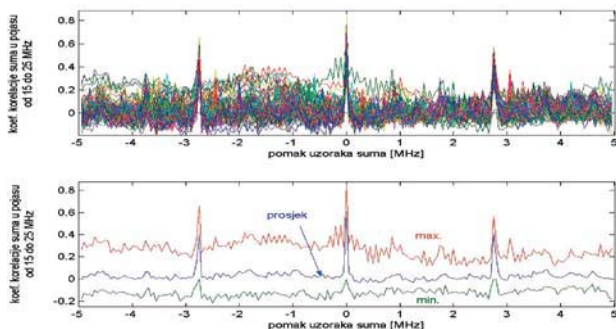
**Slika 26.** Svi koeficijenti križne korelacije za parove između 15 različitih uzoraka šuma uzetih na različitim mjestima

Slike 27 i 28 daju funkcije križne korelacije za sve moguće parove različitih uzoraka. Zbog određivanja funkcija u rasponu pomaka frekvencije od  $-5$  do  $+5$  MHz u odnosu na poravnanje uzoraka po stvarnim frekvencijama, domena uzoraka je skraćena na pojas od 15 do 25 MHz. Prema tomu, vrijednosti kroskorelacijskih funkcija na ovoj slici odnose se na šum između 15 i 25 MHz. Slika (27) prikazuje funkcije za vremenske uzorke, a slika (28) za prostorne. Kod izračunavanja vrijednosti funkcija, uzorci su međusobno posmicani u kvantima od 50 kHz po frekvencijskoj osi.

Na svakoj slici nalazi se u gornjem dijelu prikaz svih 200 tako dobivenih funkcija, dok se u donjem dijelu, samo zbog lakše čitljivosti, prikazuju krivulje najvećih, najmanjih i prosječnih vrijednosti tih 200 kroskorelacijskih funkcija.



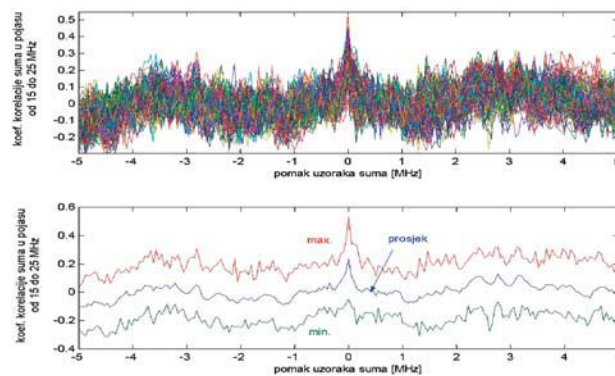
**Slika 27.** Gore: 200 kroskorelacijskih funkcija svih mogućih različitih parova među 15 uzoraka šuma uzetih na istom mjestu u različito vrijeme. Dolje: Zbog bolje preglednosti dane su krivulje najvećih, najmanjih i prosječnih vrijednosti između gornjih 200 krivulja.



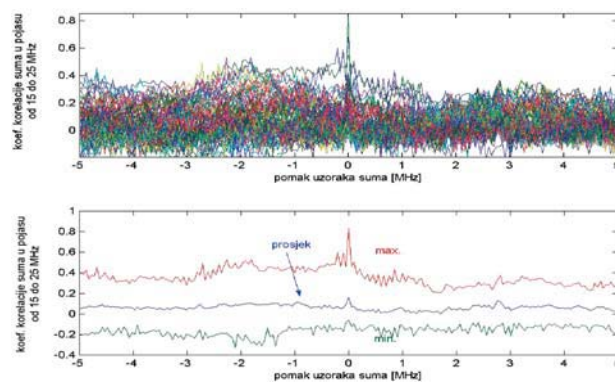
**Slika 28.** Gore: 200 kroskorelacijskih funkcija svih mogućih različitih parova među 15 uzoraka šuma uzetih na različitim mjestima iste zgrade, u kratkom vremenskom rasponu. Dolje: Zbog bolje preglednosti dane su krivulje najvećih, najmanjih i prosječnih vrijednosti između gornjih 200 krivulja.

Slučajan šum trebao bi u osnovi biti slabo koreliran, bilo kada se promatraju uzorci uzeti u različito vrijeme, ili na različitom mjestu. Međutim, na slikama 27 i 28 vidimo da u oba slučaja postoje parovi uzoraka šuma koji su snažno korelirani, pri čemu je prosječna vrijednost svih 105 koeficijenata jednaka 0,57 za vremenske, odnosno 0,53 za prostorne uzorke. Standardna devijacija je 0,11 za vremenske, odnosno 0,13 za prostorne uzorke. Veliki broj koeficijenata u oba slučaja ima iznose između 0,6 i 0,8. Promatrajući kroskorelacijske funkcije, vidimo da one za frekvencijski pomak 0 imaju zamjetno visoke korelacijske koeficijente. S izuzetkom pomaka za oko  $\pm 2,8$  MHz, gdje se također zamjećuju malo jače veze, koje se dužuju jakim uskopojasnim komponentama s tim frekvencijskim razmakom, pri ostalim relativnim pomacima uzoraka veza između uzoraka šuma je slaba. Iz svih ovih podataka

zaključujemo da uzorci šuma pokazuju u prosjeku visok stupanj međusobne korelacije, što znači da pozadinski šum PLC medija u velikoj mjeri *nije posve slučajna pojava*. Ovo istraživanje je i poduzeto zato što se kod snimanja petominutnih maksimuma ispostavilo da praktički u cijelom spektru, a ne samo na frekvencijama uskopojasnih smetnji, postoje brojne i guste istaknute linije. Iste istaknute linije vide se i međusobnom usporedbom trenutačnih uzoraka. Ovdje izložena analiza potvrdila je, dakle, da se najveći dio snage šuma dužuje mnogobrojnim komponentama uskoga pojasa, koje dolaze od mnogih trošila u samoj zgradi u kojoj se mjeri, ili pak prijamom izvana, samo je najveći broj njih toliko prigušen, da na prvi pogled izgleda kao da pripada "pravom" bijelom (barem u ograničenom smislu) pozadinskom šumu.



**Slika 29.** Gore: Kroskorelacijske funkcije za sve moguće parove različitih jediničnih uzoraka šuma načinjenih od stvarnih uzoraka snimljenih u različito vrijeme. Dolje: Zbog bolje preglednosti dane su krivulje najvećih, najmanjih i prosječnih vrijednosti između gornjih krivulja.



**Slika 30.** Gore: Kroskorelacijske funkcije za sve moguće parove različitih jediničnih uzoraka šuma načinjenih od stvarnih uzoraka snimljenih na različitim mjestima. Dolje: Zbog bolje preglednosti dane su krivulje najvećih, najmanjih i prosječnih vrijednosti između gornjih krivulja.

Upravo izrečene tvrdnje mogle bi se dovesti u sumnju zbog postojanja nekoliko doista jakih komponenti šuma sa stabilnom frekvencijom, koje su periodički razmještene



na frekvencijskoj osi. Da bismo dokazali da uzorci šuma i bez njih imaju slična kroskorelacijska svojstva, od svih razmatranih uzoraka šuma načinit ćemo uzorke koje ćemo nazvati "jediničnima". Jedinični uzorak nastaje tako da se na razliku između stvarnog uzorka i srednje vrijednosti razine toga uzorka primijeni funkcija signum. Na taj način se potpuno gubi informacija o iznosima svake pojedine komponente šuma u uzorku, i izolira se samo informacija o smještaju komponenti na frekvencijskoj osi i činjenici ulazi li svaka pojedina komponenta u proračun kovarijance s pozitivnim ili negativnim predznakom. Ako kroskorelacijske funkcije takvih "bezličnih" uzoraka pokazuju jaku vezu kada je pomak uzoraka na frekvencijskoj osi jednak nuli, a slabu kada je drugačiji, dokazali smo da maločas navedene osobine kroskorelacije nisu jedino ili dominantno posljedica postojanja jakih uskopojasnih komponenata. Doista, na slikama 29 i 30 vidimo da je tomu tako. Ovo je svojstvo jače izraženo kod uzoraka koji su uzimani u različito vrijeme, a na istom mjestu, nego kod onih koji su snimani na različitim mjestima. To govori u prilog tezi da većinu pozadinskog šuma čini zapravo uskopojasni šum mnogih izvora spojenih na mrežu, prigušenih propagacijom, ili, manjim dijelom, prigušenih širenjem valova kroz okolni prostor, ako se radi o prijemu elektromagnetske energije iz okoliša. Da veći dio energije uskopojasnih komponenti stiže iz same mreže, a ne iz okoliša, zaključujemo po korelacijskim osobinama između uskopojasnog šuma i opterećenja električne mreže (slika 20). Promjenom lokacije više ističemo jedne komponente na račun drugih.

## 5. ZAKLJUČCI O SVOJSTVIMA ŠUMA U PLC MEDIJU

Na temelju provedenih istraživanja i analiza, prikazanih u ovom poglavlju, o osnovnim obilježjima pozadinskog šuma u PLC mediju u području frekvencija od 10 do 30 MHz možemo zaključiti sljedeće:

- ❑ Razdioba vjerojatnosti po decibelskoj razini snage odgovara eksponencijalnoj, kada se promatra unutar čitavog opsega, odnosno Rayleighovoj, kada se promatra unutar podopsega u kojima je opća razina šuma (engl. floor noise) konstantna, te u kojima postoje jako istaknute komponente.
- ❑ Razdioba vjerojatnosti po širini frekvencijskog intervala u kojemu je decibelska razina snage komponenti šuma manja ili jednaka od izvjesnog definirano praga odgovara u prvoj aproksimaciji Cauchyevom tipu razdiobe. Stvarne razdiobe su stupnjevite, a stepenice najbolje slijede Cauchyevu teoretsku razdiobu vjerojatnosti.
- ❑ Pozadinski šum instalacije sadrži velik broj uskopojasnih komponenti, od kojih su neke jako istaknute, ali najveći broj nije. To se može dokazati metodom opisanom na kraju ovoga poglavlja, tj. promatranjem korelacijskih

osobina različitih izmjerenih uzoraka šuma. Zaključili smo da pretežiti dio snage šuma dolazi iz uskopojasnih izvora spojenih na samu mrežu, a ne, kako bi se *a priori* moglo smatrati, prijamom uskopojasnih radijskih emisija iz okolnog prostora.

- ❑ Pomoću veličine  $q$ , koju smo definirali u ovom poglavlju, može kvantificirati udio uskopojasnih komponenti u ukupnoj snazi šuma, čak i kada su te komponente maskirane unutar pozadinskog šuma.
- ❑ Šum instalacijske mreže nije koreliran s opterećenjem krupnijih dijelova elektroenergetskog sustava, nego je koreliran s opterećenjem lokalne mreže u zgradi u kojoj se obavlja mjerenje. To znači da najveći dio snage šuma dolazi iz električnih uređaja spojenih na mrežu u relativno bliskoj okolini.
- ❑ Uskopojasne komponente, izlučene pomoću  $q$  kriterija, u čvršćoj su korelaciji s opterećenjem električne mreže, nego li ukupan šum, ili pak preostali pozadinski šum.
- ❑ Dakle, najzastupljenija vrsta šuma PLC medija u području od 10 do 30 MHz je uskopojasni šum, čije se mnogobrojne komponente, oslabljene propagacijom u mreži, stapaju s pozadinskim šumom, ali ih je u snimljenim uzorcima šuma moguće prepoznati, te je njihov udio moguće kvantificirati.

Pretpostavljamo da ove, u znatnoj mjeri stacionarne, komponente (vidjeti slike 27 do 30), generiraju mnoga elektronička trošila spojena na mrežu. Količina takvih trošila u prometu, od onih najviše kvalitete, pa do masovno zastupljene niskokvalitetne robe široke potrošnje, vrlo je velika i, vjerojatno, raste značajnim tempom. Nažalost, korištena literatura ne pruža uvid u pozadinski šum instalacija, barem ne na frekvencijama između 10 i 30 MHz, prije dvadesetak ili više godina, kada su najčešći tipovi priključenih elektroničkih trošila bili po načinu rada napajanih sklopova bitno različiti od današnjih, tako da ne možemo donijeti zaključak o promjenama u strukturi šuma instalacija nastalima zbog tehnološkog napretka i povećanja uporabe različitih kućnih i uredskih aparata, tj. o osobinama u zadnje vrijeme nastalog dodatnog elektromagnetskog zagađenja.

## LITERATURA

- [1] P. K. van der GRACHT, R. W. DONALDSON, "Communication Using Pseudonoise Modulation on Electric Power Distribution Circuits", IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-33, No. 9, Sept. 1985.
- [2] K. DOSTERT, "High Speed Data Transmission over Power Lines Using Multi-Carrier (OFDM) Techniques", Frequenz, Vol. 54 (2000), No. 11-12.
- [3] R. M. VINES et al, "Noise on Residential Power Circuits", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-26, No. 4, Nov. 1984.
- [4] M. H. L. CHAN, R. W. DONALDSON, "Amplitude, Width, and Interarrival Distribution for Noise Impulses on

- Intrabuilding Power Line Communication Networks", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 31, No. 3, Aug. 1989.
- [5] O. G. HOIJEN, "A Channel Model for the Residential Power Circuit Used as a Digital Communications Medium", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 40, No. 4, Nov. 1998.
- [6] D. LIU et al, "Wide Band AC Power Line Characterization", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 45, No. 4, Nov. 1999.
- [7] M. ZIMMERMAN, K. DOSTERT, "An Analysis of the Broadband Noise Scenario in Powerline Networks", Proceedings of the 4th International Symposium on Powerline Communications and its Applications, Limerick, Ireland, April 5th–7th, 2000, dostupno na Internetu (2. lipnja 2004.): <http://www-iiit.etec.uni-karlsruhe.de/~plc/>
- [8] D. SABOLIĆ, "O statističkim svojstvima impulsnog šuma na distribucijskoj mreži", Energija, Vol. 52, Br. 1, Zagreb, veljača 2003.
- [9] D. SABOLIĆ, "On the Distribution Network Narrowband Noise Statistics", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 18, No. 1, January 2003.
- [10] D. SABOLIĆ: "Pregled karakteristika šuma na PLC mediju", Energija, Vol. 52, Br. 2, Zagreb, travanj 2003.
- [11] M. ZIMMERMANN, K. DOSTERT, "Analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broad – Band Powerline Communications", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 44, No. 1, Feb. 2002.
- [12] K. DOSTERT, "Powerline Communications", Prentice Hall PTR, 2001.
- [13] C. R. WYLIE, L. C. BARRETT, "Advanced Engineering Mathematics", 6th Ed, McGraw Hill, 1995.
- [14] D. SABOLIĆ, "Analiza razdjelne elektroenergetske mreže kao širokopojasnog pristupnog medija", doktorska disertacija, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, rujan 2004.

## ANALYSIS OF NOISE ON DISTRIBUTION NETWORKS IN THE FREQUENCY BAND FROM 10 TO 30 MHz

Results of experimental investigations of noise phenomena on indoor distribution networks in the frequency band from 10 to 30 MHz are presented. Measured data are processed to obtain basic statistical properties of noise. The criterion for separation between narrow-band interferences and background noise is defined. The correlation between total noise power profile in the observed frequency band and the network electric load power profile is established.

## UNTERSUCHUNG DES VERTEILUNGSNETZ-GERÄUSCHES IM FREQUENZBEREICH DER BREITBAND-REGELSCHLEIFE VON 10 BIS 30 MHz

Dargestellt sind die Ergebnisse der Untersuchungen von Geräuschen in lokalen Verteilungsanlagen und Leitungen (bedingt genannt: Verteilungsnetz) im Frequenzbereich von 10 bis 30 MHz. Man hat die Ergebnisse der Messungen bearbeitet um statistische Grundwerte der Geräusche zu gewinnen, Bestimmt wurde das Trennungsmerkmal zwischen den Schmalband-Geräuschkomponenten und dem Hintergrundgeräusch sowie die wechselseitige Beziehung des Diagrammes der zugehörigen Belastung und der gesamten Geräuschleistung im betrachteten Frequenzbereich.

Naslov pisca:

**Dr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.**  
**HEP – Operator prijenosnog sustava d.o.o.**  
**Kupska bb, 10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:  
2004 – 11 – 02.