

Utjecaji konstrukcijskih parametara tkanina na učinkovitost elektromagnetske zaštite

Dr.sc. **Hakan Özdemir**, dipl.ing.¹

Prof.dr.sc. **Ahmet Özkurt**, dipl.ing.²

Dokuz Eylül University

¹Textile Engineering Department

²Electrical and Electronics Engineering Department

İzmir, Turska

e-mail: h.ozdemir@deu.edu.tr; ahmet.ozkurt@deu.edu.tr

Prispjelo 27.4.2012.

UDK677.074:677.017(538.3)

Izvorni znanstveni rad

Pređa s nehrđajućom čeličnom jezgrom odabrana je kao elektrovodljiva pređa za izradu tkanina sa svojstvom elektrovodljivosti. Učinkovitost elektromagnetske zaštite keper i nekih kariranih tkanina s različitim udjelom metalnih pređa mjerena je tehnikom mjerenja slobodnim prostorom kod horizontalne polarizacije antene. Ustanovljeno je da su ispitivani uzorci tkanina imali dobra svojstva zaštite u visokofrekvencijskom pojasu namijenjenom industriji, znanosti i medicini. Učinkovitost elektromagnetske zaštite u visokofrekvencijskom pojasu uzoraka tkanine povećana je kod uzoraka s većim udjelom pređe sa čeličnom jezgrom kad su uzorci tkanine pozicionirani tako da su potkine niti okomite na polarizaciju antene. Nepovoljni rezultati elektromagnetske zaštite, odnosno smanjena učinkovitost elektromagnetske zaštite dobivena je kod uzoraka tkanine s većom efektivnom površinskom elektrovodljivošću, koji su bili postavljeni tako da su potkine niti paralelne s polarizacijom antene.

Ključne riječi: karirane tkanine, keper vez, učinkovitost elektromagnetske zaštite, elektrovodljive pređe s jezgrom

1. Uvod

Bežične komunikacijske veze koriste se već mnogo godina širom svijeta kao rješenja za povezivanje od točke do točke ili od jednog na više mjesta. Posljednjih godina su naročito uobičajeni Wi-Fi, radiotelefoni i baby monitori. Ovi uređaji koriste industrijski, znanstveni i medicinski frekvencijski pojas, skraćeno ISM frekvencijski pojas (engl. Industrial, Scientific and Medical band), koji se nalazi u spektru frekvencija od 2400

MHz. Drugi značajan problem, pri radu s elektromagnetskim (EM) valovima je njihovo moguće štetno djelovanje na zdravlje [1-2]. Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) navodi da veliko područje elektromagnetskih utjecaja iz okoliša ima biološke efekte [3].

Za zaštitu od elektromagnetskih utjecaja, odnosno zračenja počele su se proizvoditi elektrovodljive tekstilne površine, lagane, fleksibilne i povoljnih cijena, umjesto elektrovodljivog metala ili zaštitnih materijala

od žičane mreže za različite zaštitne funkcije u električnoj i elektroničkoj industriji, naročito za materijale za kućišta elektroničkih komponenata. R. Perumalraj i sur. [4] odabrali su bakar kao elektrovodljiv dodatak za izradu pređa s bakrenom jezgrom i pamučnim vlaknom kao omotačem od kojih su proizvedene tkanine u platnenom i keper vezu, te su im mjerili učinkovitost elektromagnetske zaštite tkanina u frekvencijskom pojasu od 20 do 18 000 MHz pomoću koaksijalne transmisijske opreme.

Uočili su povećanje učinkovitosti zaštite kod povećanja broja slojeva od elektrovodljive tkanine, finoće pređe, gustoće osnovne, gustoće potke, faktora pokrivanja i smanjenje učinkovitosti zaštite povezane s promjerom bakrene žice. J. S. Roh i sur. [5] koristili su pređe od metalnih kompozita koje su primijenjene u konstrukciji tkanina u platnenom vezu, proizvodile su se od komercijalno dostupnih metalnih filamenata i poliesterskih filamenata (PET). Mjerena su svojstva zaštite kompozitnih tkanina od elektromagnetskog zračenja u frekventijskom pojasu od 30 do 1500 MHz primjenom postupka koaksijalne prijenosne linije. Uočili su da se ukupna učinkovitost elektromagnetske zaštite povećavala povećanjem udjela metala, a različita frekventijska ovisnost povezana je s ispitivanim udjelom metala u strukturi. J.T. Su i C.I. Chern [6] odabrali su hibridne pređe od nehrđajućeg čelika u tkaninama u platnenom i keper vezu za izradu elektrovodljivih materijala. Učinkovitost elektromagnetske zaštite ovih tkanina mjerena je opremom za koaksijalni prijenos u frekventijskim pojasevima od 9 kHz do 3 GHz. Eksperimentalni rezultati su pokazali da gušće strukture tkanina od nehrđajućeg čelika imaju veću učinkovitost elektromagnetske zaštite. Tkanine izrađene od pređa s jezgrom imale su veću učinkovitost elektromagnetske zaštite nego tkanine izrađene od obavijenih pređa i končanih pređa. Analizom utjecaja vrsta veza tkanine utvrđeno je da platneni vez ima veću učinkovitost elektromagnetske zaštite nego keper. K.B. Cheng i sur. [7] su izradili 3/1 keper tkanine s bakrenim nitima i postigli su dobru učinkovitost elektromagnetske zaštite primjenom koaksijalne prijenosne linije u frekventijskom području od 144 do 3000 MHz. Uočili su da kod povećanja broja slojeva elektrovodljive tkanine, gustoće osnovne i gustoće potke dolazi do povećanja učinkovitosti elektromagnetske zaštite, dok se povećanjem promjera žice smanjuje

učinkovitost te zaštite. H.C. Chen i sur. [8] mjerili su svojstva zaštite 2/2 keper tkanina i laminiranih kompozita u frekventijskom području od 30 do 1500 MHz primjenom postupka koaksijalne prijenosne linije. D. Duran i sur. [9] ispitivali su učinkovitost elektromagnetske zaštite 3/1 keper tkanine pomoću uređaja za ispitivanje elektromagnetskih svojstava kod različitih frekvencija: 200 MHz, 400 MHz, 600 MHz, 800 MHz i 1 GHz. Za osnovu su korištene 100 % pamučne pređe, a za dvije potkine niti korištene su pređe od mješavine pamuka s jezgrom od bakra i 100 % pamučna pređa otkane s dvjema različitim gustoćama potke. Uočeno je da su tkanine otkane od pamučnih pređa s bakrenom jezgrom imale značajno više vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite nego tkanine od 100 % pamučnom potkom. S. Varnaitè i sur. [10] otkali su tkanine u platnenom vezu sa osnovom od PES pređe. Elektrovodljive pređe su utkane u tkaninu u tri različite varijante: prva je bila od 25 potki PES i dodatak 1 potke PES/Inox; druga je bila 49 potki PES uz dodatak 1 potke PES/Inox i treća 71 potka PES uz dodatak 1 potke PES/Inox. Tkanina od PES pređe u potki bez Inoxa koristila se kao kontrolna tkanina. Ustanovljeno je da veća količina elektrovodljivih potkinih niti povećava vrijednosti faktora zaštite od elektromagnetskih valova. L. Sandrolini i V. Reggiani [11] su ispitivali 5 elektrovodljivih tkanina i netkani tekstil pomoću držača koaksijalne prijenosne linije u frekventijskom pojasu od 300 kHz do 3,6 GHz. Rezultati su pokazali da je niska vrijednost specifičnog otpora površine bilo svojstvo potrebno za veći učinak zaštite, naročito kod tkanina. Količina nikla za metalizaciju nije imala tako velik utjecaj na učinkovitost zaštite SE (Shielding Efficiency) jer geometrijska svojstva osnovne i potke tkanine imaju značajan utjecaj na učinkovitost zaštite. S. Palamutçu i sur. [12] razvili su sustav za elektromagnetsko mjerenje učinkovitosti zaštite i ispitivali su njegovu

pouzdanost na elektrovodljivim glatkim pletivima i tkaninama u platnenom vezu. U tim materijalima su pređe od pamuka/bakra i pamuka/bakra/srebra korištene u različitim omjerima. Za uzorke tkanina je u frekventijskom pojasu od 860 MHz do 960 MHz ustanovljeno da najviša razina prosječne vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite imaju uzorci s najmanjim udjelom elektrovodljivih vlakana najveće finoće. Također je uočeno da je najveće prigušenje postignuto kod 1790 MHz kod uzorka tkanine od najfinijeg elektrovodljivog vlakna. K.H. Joyner i sur. [13] su ispitivali zaštitno odijelo koje se sastoji od kombinezona s kapuljačom, rukavica i nadčarapa, a koje je izrađeno od elektrovodljive tkanine za postizanje visoke učinkovitosti zaštite od elektromagnetskih zračenja u području radiofrekvencija, odnosno frekventijskom pojasu od 200 kHz do 4 GHz. Ustanovili su da kod mikrovalnih frekvencija tkanine nisu mogle omogućiti učinkovitu zaštitu veću od 20 dB. T.W. Wiekowski i J.M. Janukiewicz [14] razmatrali su područje primjene postupaka mjerenja učinkovitosti elektromagnetske zaštite, njihova ograničenja i mogućnosti usporedbe rezultata. Karirani vezovi pripadaju skupini vezova koji nastaju tako da se element veza podijeli na četvrtine i mijenja smjer, pa se tako oblikuju suprotne površine i smjerovi u svakoj četvrtini i stvaraju jasne granice između odsječaka. Uzorci veza se ponavljaju na relativno malim površinama, ali moguće su i verzije s većim uzorcima [15]. Ispitivanja prema literaturi koncentrirala su se na učinkovitost elektromagnetske zaštite keper i atlas tkanina u kratkim i srednjim frekventijskim pojasevima. Svrha ispitivanja je ispitati učinkovitost elektromagnetske zaštite kariranih tkanina i usporediti ih s keper tkaninama koje su tkane s potkinim nitima sa čeličnom jezgrom koje su umetane u određenim intervalima. Također je istražen utjecaj gustoće, odnosno broj elektrovodljivih

potkinih niti po jedinici duljine, na učinkovitost elektromagnetske zaštite uzoraka tkanine. Nadalje, željelo se ispitati uporabljivost kariranih tkanina s elektrovodljivim nitima kao elektromagnetskog zaštitnog materijala za Wi-Fi, radiotelefone i baby monitore.

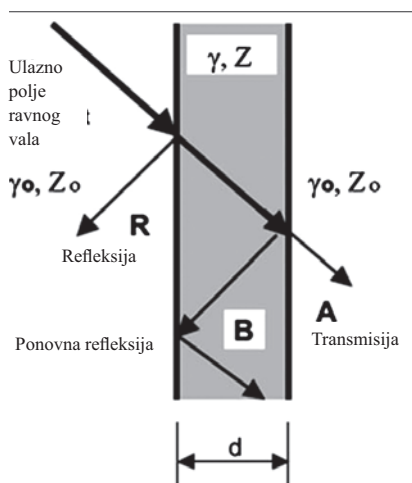
2. Teoretski dio

2.1. Elektromagnetska zaštita

Zaštita je izraz koji objašnjava zaštitu od neželjenih signala primjenom materijala i postupka koji smanjuju prodiranje signala u medije. U metodologiji zaštite, jakost signala u medijima ovisi o nekoliko parametara koji su povezani sa svojstvima materijala kao što su električno i magnetsko ponašanje, elektrovodljivost na površini i u unutrašnjosti materijala, debljina materijala i naravno o sustavu materijal, sl.1. Na sl.1 oznake γ , γ_0 su konstante širenja, Z , Z_0 impedancija karakteristična za medij, d debljina medija [14]. Učinkovitost zaštite (SE) definira se stupnjem sprječavanja prolaska valova i to je vrijednost kojom se opisuje koliki je učinak zaštite, prema jednadžbi (1) [16].

$$SE_p = 10 \cdot \log_{10} \frac{\text{gustoća ulazne struje}}{\text{gustoća transmitirane struje}} = 10 \cdot \log \frac{P_I}{P_T} \quad (1)$$

Ove gustoće struja se mjere prije odn. nakon postavljanja zaštitnog uzorka. Kut upadnog (ulaznog) vala ispitivanog medija (uzorka) poznat je kao polarizacija. Kod uobičajenih ispitivanja širenja valova, za ispitivanja se koriste okomito i vodoravno usmjereni (polarizirani) valovi. Kod promjene smjera vala, ponašanje ispitivanog materijala može se ispitivati kod promjenljivih uvjeta polarizacije ovisno o internoj strukturi materijala. Polarizacija se može mijenjati rotacijom antene fizički ili električki manipulacijom izvora signala.



Sl.1 Transmisija valova kroz tankoslojni medij [14]

3. Eksperimentalni dio

3.1. Izrada uzoraka tkanina

Za ispitivanje je korišteno 20 vrsta uzoraka kariranih tkanina i pet vrsta keper tkanina (35x35 cm). Proizvedeni su na CCI automatskom tkalačkom stroju s hvatalima (Evergreen 8900, Tajvan). Upotrijebljene su 100 % poliesterske pređe i pređe s nehrđajućom čeličnom jezgrom s pamučnim vlaknom kao omotačem. Specifikacije pređa navedene su u tab.1. Uzornice su prikazane na sl.2. Elektrovodljive pređe su umetane u određenim razmacima da se dobiju različite strukture otvorene rešetke elektrovodljivih pređa unutar tkanina što je rezultiralo njihovim različitim gustoćama u

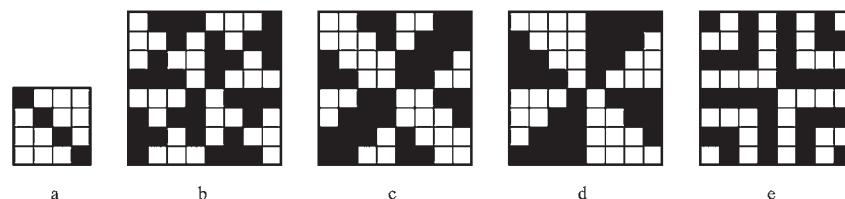
smjeru potke. U osnovi su unašane polieterske i elektrovodljive pređe u redosljedu 1 prema 1. Karakteristike elektrovodljivih tkanina su prikazane u tab.2. Otvorene rešetkaste strukture elektrovodljivih pređa prikazane su sivim kvadratima i slovom C, dok su polieterske pređe prikazane bijelim kvadratima i slovom P na sl.3. Bijeli i sivi kvadrati također predstavljaju sjecišta između osnovinih i potkinih niti. Gustoće osnovinih i potkinih niti na 20 vrsta uzoraka kariranih tkanina na tkalačkom stroju bile su 25 cm^{-1} što je bilo jednako gustoći 1/3 keper veza koji je izračunat za tkalački stroj kako bi se usporedili ovi uzorci tkanina s uzorkom keper tkanine. Uzorci tkanina nisu doručeni.

Uzorci tkanina su kodirani prema vrsti veza, gustoći osnove i potke (tab.2). Slovo i broj u svakom kodu tkanine predstavljaju vrstu veza odn. raspored potkinih niti. Ovi vezovi su kvadratične jedinice veza pa je broj preplitanja osnove i potke međusobno jednak, naime prosječno preplitanje osnovinih pređa jednako je broju preplitanja potkinih pređa. Također je prosječna dužina flotiranja osnovine niti jednaka prosječnoj dužini flotiranja potkine niti. Prosječna dužina flotiranja F izračunata je prema Ashenhurstu [17] primjenom jednadžbe (2):

$$F_{1/2} = \frac{R_{2/1}}{t_{1/2}} \quad (2)$$

Tab.1 Specifikacije pređa

Materijal	Finoća pređe (dtex)	Promjer žice (mm)	Otpor vodiča ($\Omega \text{mm}^2/\text{m}$)
PES pređa	300	-	-
Pamučna pređa sa čeličnom jezgrom	455	0.05	0.62

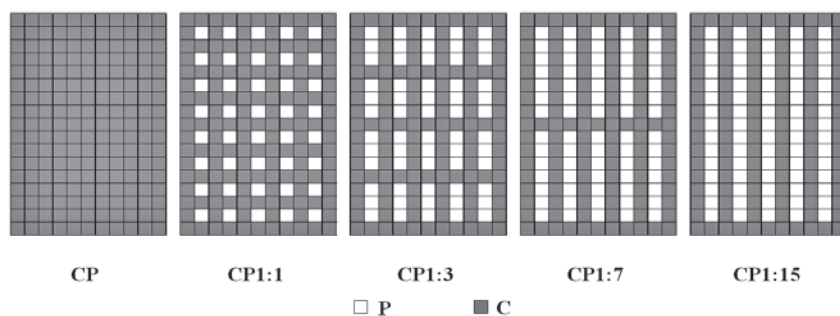


Sl.2 Uzornice veza ispitivanih tkanina: a - 1/3 keper, b - karirani vez 1, c - karirani vez 2, d - karirani vez 3, e - karirani vez 4

Tab.2 Specifikacija elektrovodljivih tkanina

Oznaka tkanine	Vrsta veza	Gustoća osnove u brdu	Gustoća potke na tkalačkom stroju	Vrsta pređe*	Sastav (osnova × potka)	Koeficijent preplitanja na vezu	Prosječna dužina flotiranja
A1	1/3 keper	25	25	CP	1C1P × C	0,5	2
A2				CP 1:1	1C1P × 1C1P		
A3				CP 1:3	1C1P × 1C3P		
A4				CP 1:7	1C1P × 1C7P		
A5				CP 1:15	1C1P × 1C15P		
B1	Karirani vez 1	25	25	CP	1C1P × C	0,625	1,67
B2				CP 1:1	1C1P × 1C1P		
B3				CP 1:3	1C1P × 1C3P		
B4				CP 1:7	1C1P × 1C7P		
B5				CP 1:15	1C1P × 1C15P		
C1	Karirani vez 2	25	25	CP	1C1P × C	0,5	2
C2				CP 1:1	1C1P × 1C1P		
C3				CP 1:3	1C1P × 1C3P		
C4				CP 1:7	1C1P × 1C7P		
C5				CP 1:15	1C1P × 1C15P		
D1	Karirani vez 3	25	25	CP	1C1P × C	0,4375	2,5
D2				CP 1:1	1C1P × 1C1P		
D3				CP 1:3	1C1P × 1C3P		
D4				CP 1:7	1C1P × 1C7P		
D5				CP 1:15	1C1P × 1C15P		
E1	Karirani vez 4	25	25	CP	1C1P × C	0,625	2,08
E2				CP 1:1	1C1P × 1C1P		
E3				CP 1:3	1C1P × 1C3P		
E4				CP 1:7	1C1P × 1C7P		
E5				CP 1:15	1C1P × 1C15P		

*C predstavlja pamučnu pređu sa čeličnom jezgrom, P predstavlja PES pređu



Sl.3 Shema otvorenih rešetkastih struktura na tkaninama (sivi kvadrati: elektrovodljive pređe s jezgrom, bijeli kvadrati: PES pređe)

gdje su: R_{21} je raport po potki (2) ili raport po osnovi (1), $t_{1/2}$ je broj sjecišta osnove ili potke u raportu tkanja. Indeksi 1 i 2 označavaju osnovu odn. potku. Jednadžba (3) korištena je za izračunavanje drugog svojstva tkanine, koeficijenta preplitanja veza, kako je definirao Galcerán [18].

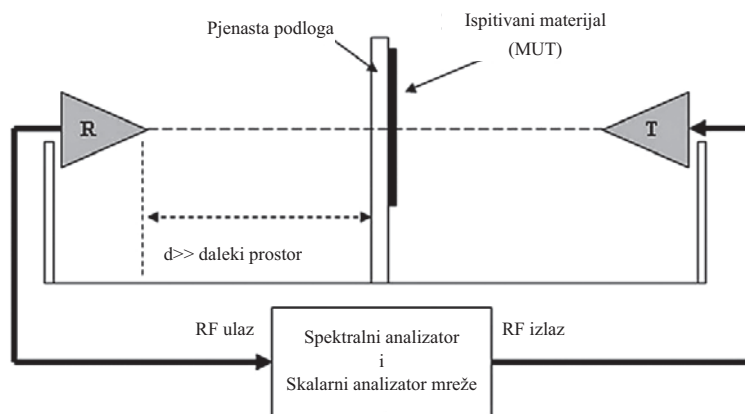
$$KL = \frac{i}{w_1 \times w_2} \quad (3)$$

gdje su: i broj veznih točaka u uzorcima, w_1 broj osnovinih niti u raportu a w_2 broj potkinih niti u raportu.

3.2. Mjerenje učinkovitosti elektromagnetske zaštite

U ovom ispitivanju korištena je tehnika mjerenja u slobodnom prostoru da se odredi učinkovitost zaštite. Mjerni postupak temeljen je na

prigušenju signala na dvije strane tkanine postavljene unutar dalekog prostora u polju antena predajnika i prijammnika. Daleki prostor za, u ovom radu zanimljivi, frekvencijski pojas bio je približno od 0,3 do 1 m, ovisno o primijenjenoj frekvenciji. Zbog toga se antene postavljaju daleko od tog razmaka. Antena predajnika imala je horizontalnu polarizaciju. Tkanine su se ponašale kao reflektor, apsorber i prigušivač ulaznog signala. Omjer ukupne jakosti transmitiranog signala prema ukupnoj jakosti ulaznog signala određuje vrijednost učinkovitosti zaštite ispitivanog materijala. Na sl.4 shematski je prikazan uređaj za mjerenje, a na sl.5 fotografski prikaz uređaja u praksi. Spektralni analizator, Anritsu MS2711D (Anritsu, Morgan Hill, CA, SAD) s mogućnošću transmisijskog mjerenja korišten je za ispitivanja. Kod mogućnosti transmisijskog mjerenja referentna razina



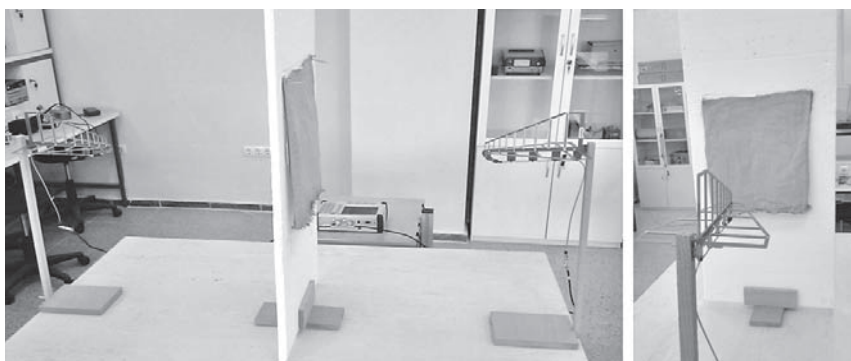
Sl.4 Shematski prikaz mjernog sustava [19]

bez zaštitnog materijala koji se ispituje uzeta je automatski s procesom normalizacije, a razina signala s materijalom uspoređena je u logaritamskom mjerilu s obzirom na snagu radiofrekvencije.

Drugim riječima, početno se referentni signal prikupljao bez zaštitnog materijala na svim frekvencijama. Nakon toga izmjeren je signal kad su tkanine pričvršćene na pjenasti sloj postavljen između prijarnika i predajnika. Dobiveni signali iz oba stanja su nakon toga uspoređeni. Svaki uzorak tkanine mjeren je dva puta; uzorak tkanine postavljen je tako da su osnovine niti bile prvo okomite na polarizaciju antene, što je bilo vertikalno mjerenje, drugo paralelne s polarizacijom antene, što je bilo vodoravno mjerenje. Mjerenja su obavljena unutar područja od 800 do 3000 MHz. U tom spektru, GSM 900, GSM 1800, bilo je na raspolaganju nekoliko industrijskih, znanstvenih i medicinskih frekvencijskih pojava

koja se mogu koristiti za osobne potrebe u ograničenom području kao što su bežične područne mreže npr. IEEE811.1bg. Provodljive tkanine su ispitane s obzirom na razine prigušenja signala i frekvencije u širokom pojasu.

Na primljeni signal mogu utjecati refleksije iz okoline kao što su zidovi, metal itd., u svakom slučaju s materijalom i bez materijala koji se ispituje kada oprema ne može prevladati uvjete interferencije. Spektralni analizator koji je korišten za ova mjerenja ima sposobnost transmisijskog načina rada. U ovom načinu sustav umjerava primljeni signal za svaku frekvencijsku komponentu u radnom spektru, zatim se memorira prigušenje za svaku frekvenciju. Ova opcija sprječava efekte refleksije s materijalom ili bez materijala te se memorira prigušenje dotičnog signala. Ako se primjenjuje isti interferencijski signal u oba slučaja, rezultat je točniji.

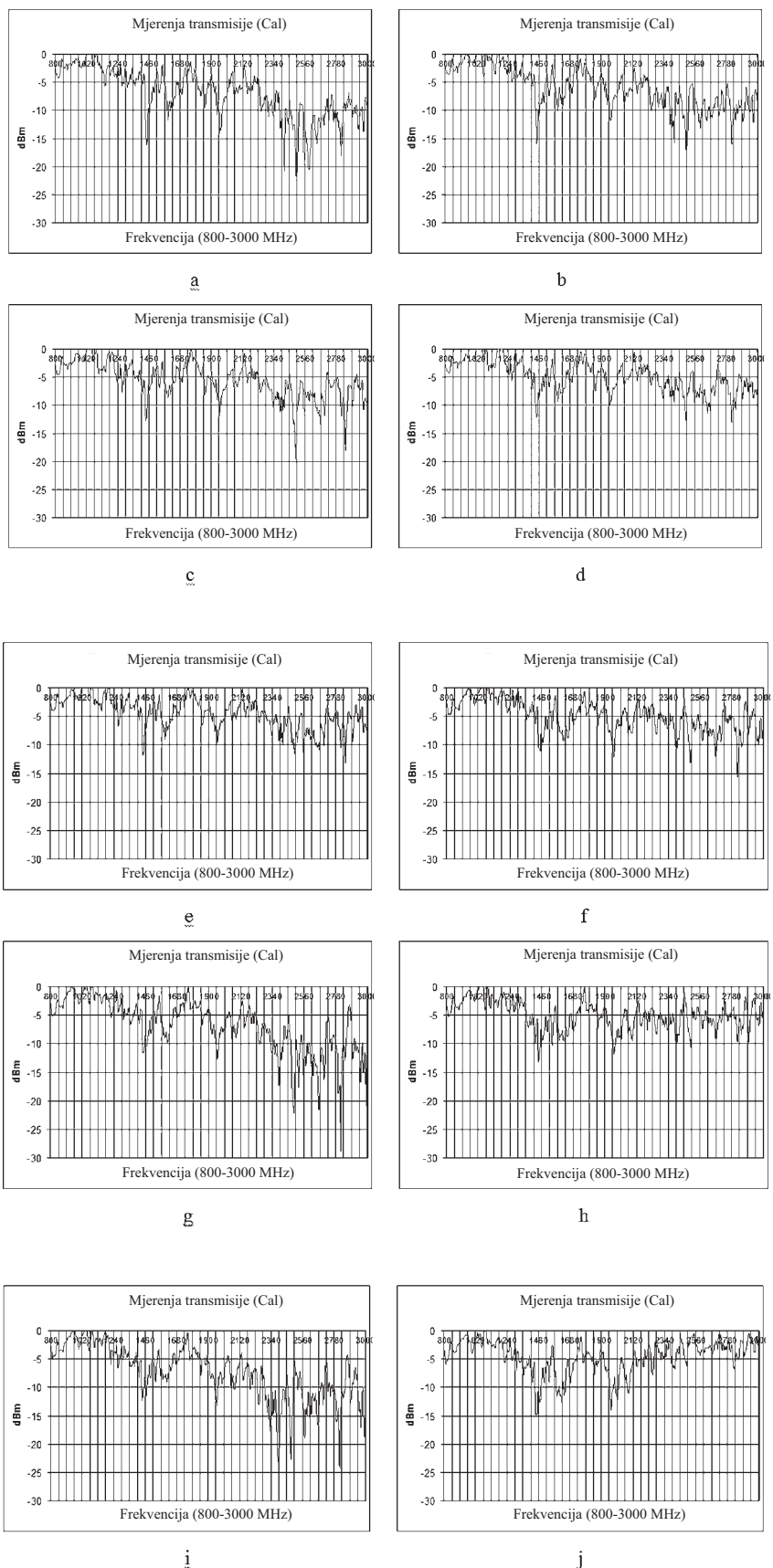


Sl.5 Mjerni sustav u praksi

4. Rezultati i rasprava

Rezultati učinkovitosti elektromagnetske zaštite uzoraka tkanine koji su tkani na tkalačkom stroju prikazani su na sl.6-10. Kada se uspoređuje efekt uzorka tkanja među uzorcima tkanina koji su tkani s pređama s jezgrom od 100 % nehrđajućeg čelika, učinkovitost elektromagnetske zaštite uzorka tkanine tkane u kariranom vezu 1 bila je 5 dB veća nego kod drugih uzoraka u svim frekvencijskim pojasevima za vertikalna mjerenja učinkovitosti elektromagnetske zaštite (sl.6a-10a). Razlog ove razlike mogao bi se objasniti time što karirani vez 1 ima najveći koeficijent preplitanja, naime najveći broj kontakata između okomitih i vodoravnih niti, pa se zato učinkovitost zaštite povećava. C.I. Su i J.T. Chern [6] su u istraživanju postigli slične rezultate. Uočeno je da su vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite uzoraka tkanine bili 10 dB veći nego u visokofrekvencijskom pojasu koji je od 2000 MHz do 3000 MHz. Naime, razmak između elektrovodljivih pređa je najmanji, radi se o najmanjim otvorima pa se manja valna dužina i viša frekvencija mogu bolje štititi. Rezultati vodoravnih mjerenja učinkovitosti elektromagnetske zaštite uzoraka tkanina otkanih s pređama s jezgrom od 100 % čelika bili su slični rezultatima vertikalnih mjerenja učinkovitosti elektromagnetske zaštite uzoraka tkanine i bili su 3 do 5 dB manji nego što je prikazano na sl.6b-10b. Razlog tomu je činjenica da je gustoća elektrovodljivih osnovnih niti manja nego gustoća elektrovodljivih potkinih niti i da su osnovine niti paralelne s polarizacijom antene tijekom vodoravnih mjerenja, pa se smanjuje učinkovitost zaštite uzoraka tkanine.

Uočeno je na sl.6c-10c da je učinkovitost elektromagnetske zaštite uzoraka kodiranih kao B2, C2 i E2 bila bolja nego za uzorke A2 i D2 u visokofrekvencijskom pojasu kod okomitih mjerenja. Razlog tomu je

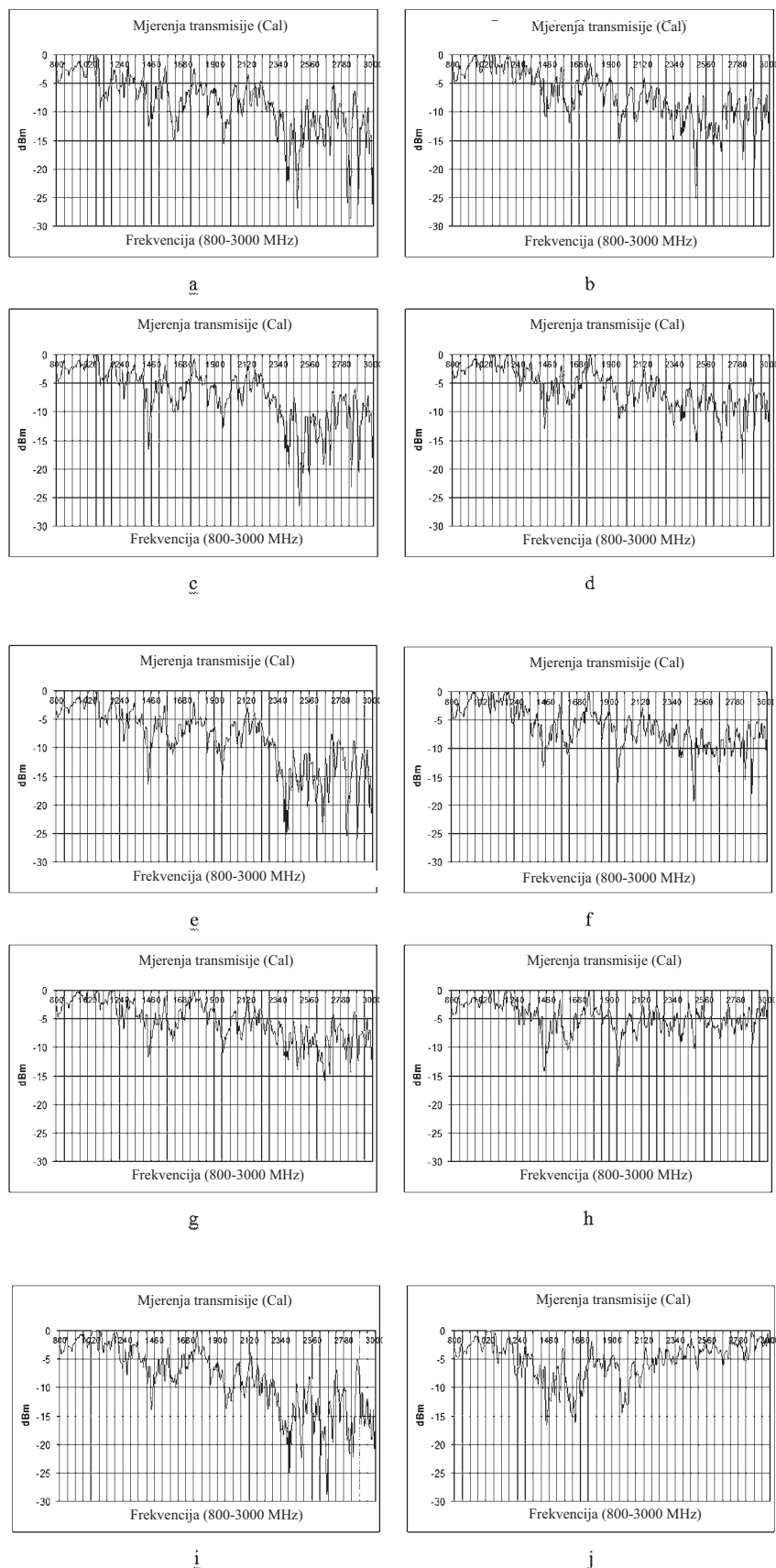


Sl.6 Učinkovitost elektromagnetske zaštite keper veza 1/3 (a, c, e, g, i - okomita mjerenja uzoraka A1, A2, A3, A4 i A5; b, d, f, h, j - vodoravna mjerenja uzoraka A1, A2, A3, A4 i A5)

činjenica da karirani vez 3 ima najmanji koeficijent preplitanja, naime najmanji broj kontakata između okomitih i vodoravnih elektrovodljivih niti, a kod keper veza elektrovodljive osnovine niti su na naličju pa se tako učinkovitost zaštite smanjuje tijekom okomitih mjerenja. Vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite uzorka tkanine E2 bile su 10 dB više nego kod uzoraka tkanine otkanih s rasporedom potke CP 1:1 za vodoravna mjerenja, kako je prikazano na sl. 6d do 10d. Razlog je vjerojatno činjenica da karirani vez 4 ima najviši koeficijent preplitanja i ima također veću prosječnu dužinu flotiranja.

Vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite uzorka tkanine B3 bile su 10 dB više nego za druge uzorke tkanina tkanih s rasporedom potke CP 1:3 u visokofrekvencijskom pojasu kod vertikalnih mjerenja (sl. 6e-10e). Razlog ove razlike mogao bi se objasniti činjenicom da flotiranje prve i pete potke u jedinici veza, koje su elektrovodljive niti, povezuju s dvije elektrovodljive osnovine niti, a ova područja slijede jedno iza drugog u vodoravnom smjeru. Nadalje, uzorak tkanine B3 bio je dobar u uskim frekvencijskim pojasevima kod vodoravnih mjerenja (sl.6f-10f). Drugi uzorci tkanina tkani s rasporedom potke CP 1:3 imali su slična svojstva učinkovitosti elektromagnetske zaštite.

Dok su prosječne vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite uzoraka tkanina A4, B4 i D4 bile 5 dB u niskofrekvencijskim i srednjefrekvencijskim pojasevima, one su bile 10 dB u visokofrekvencijskom pojasu kod okomitih mjerenja, a njihove vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite bile su veće od onih za C4 i E4 (sl.6g-10g). Razlog toj razlici mogao bi se objasniti činjenicom da prve potke u A4, B4 i D4, koje su elektrovodljive niti, prelaze preko velikog broja osnovinih niti pa se tako povećava površinska elektrovodljivost ovih tkanina. Učinkovitost elektromagnetske zaštite



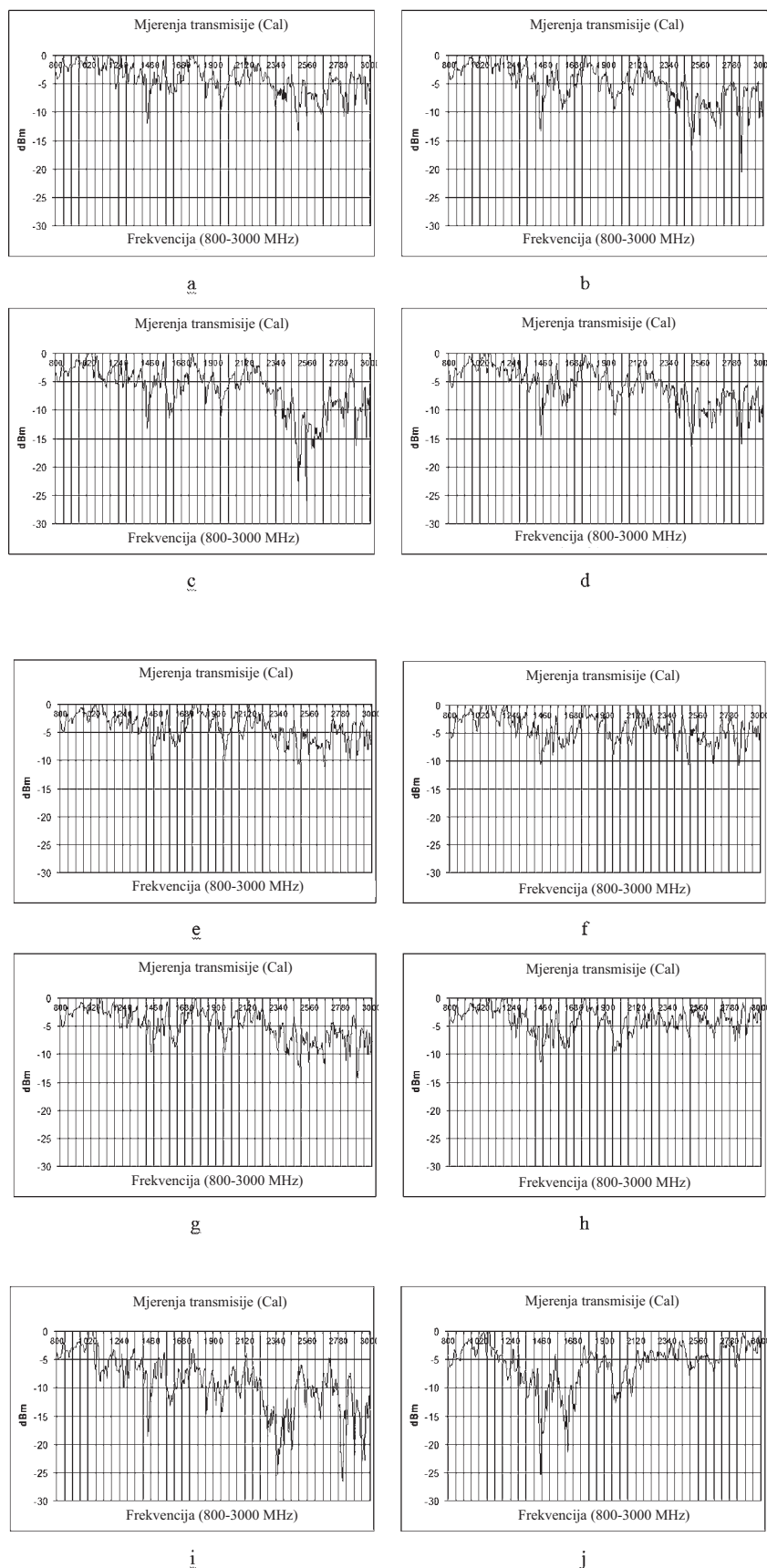
S1.7 Učinkovitost elektromagnetske zaštite kod kariranog veza 1 (a, c, e, g, i - okomita mjerenja uzoraka B1, B2, B3, B4 i B5; b, d, f, h, j - vodoravna mjerenja uzoraka B1, B2, B3, B4 i B5)

ovih uzoraka tkanine, koja je prikazana na sl.6h-10h, bila je srednja unutar svih frekvencijskih pojaseva kod horizontalnih mjerenja jer: elektromagnetski valovi prolaze kroz velik prostor između elektrovodljivih niti tijekom vodoravnih mjerenja.

Na sl.6i-10i je vidljivo da je uzorak tkanine D5 najbolje štitio, dok je uzorak E5 imao najslabiju zaštitu u visokofrekvencijskom pojasu za okomita mjerenja. Razlog toj razlici mogao bi se objasniti time, da dok prve potkine niti, naime elektrovodljiva pređa, u kariranom vezu 3 prelaze preko 4 osnovine niti, one u kariranom vezu 4 prelaze preko samo jedne osnovine niti pa tako D5 ima najveću površinsku elektrovodljivost, tj. najveću učinkovitost elektromagnetske zaštite. Prosječne vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite uzoraka tkanine tkanih s rasporedom potke CP 1:15 bile su 15 dB u visokofrekvencijskom pojasu. Učinkovitost elektromagnetske zaštite ovih uzoraka, koja je prikazana na sl.6j-10j, bila je 5 dB kao srednja vrijednost u visokofrekvencijskom pojasu za vodoravna mjerenja. Razlog objašnjen za uzorke tkanina tkanih s rasporedom potki CP 1:7 vrijedi i u ovom slučaju.

Kada se uspoređuje utjecaj sadržaja metala i otvorenosti rešetke, uzorci tkanine tkani u keper vezu imaju prosječnu vrijednost učinkovitosti elektromagnetske zaštite od 15 dB u visokofrekvencijskom pojasu kod okomitih mjerenja (sl.6a, 6c, 6e, 6g i 6i). Uzorci A4 i A5 imali su više vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite nego drugi rasporedi potki u visokofrekvencijskom pojasu. To se može objasniti činjenicom da su sjecište i flotiranje elektrovodljivih potkinih niti u A4 i A5 u istim položajima, ove paralelne elektrovodljive potkine niti povećavaju učinkovitost elektromagnetske zaštite jer djeluju međusobno.

Na sl.6b, 6d, 6f, 6h i 6j prikazano je da su se vrijednosti elektromagnetske zaštite uzoraka tkanine koje su tkane u keper vezu povećale u visokofrek-



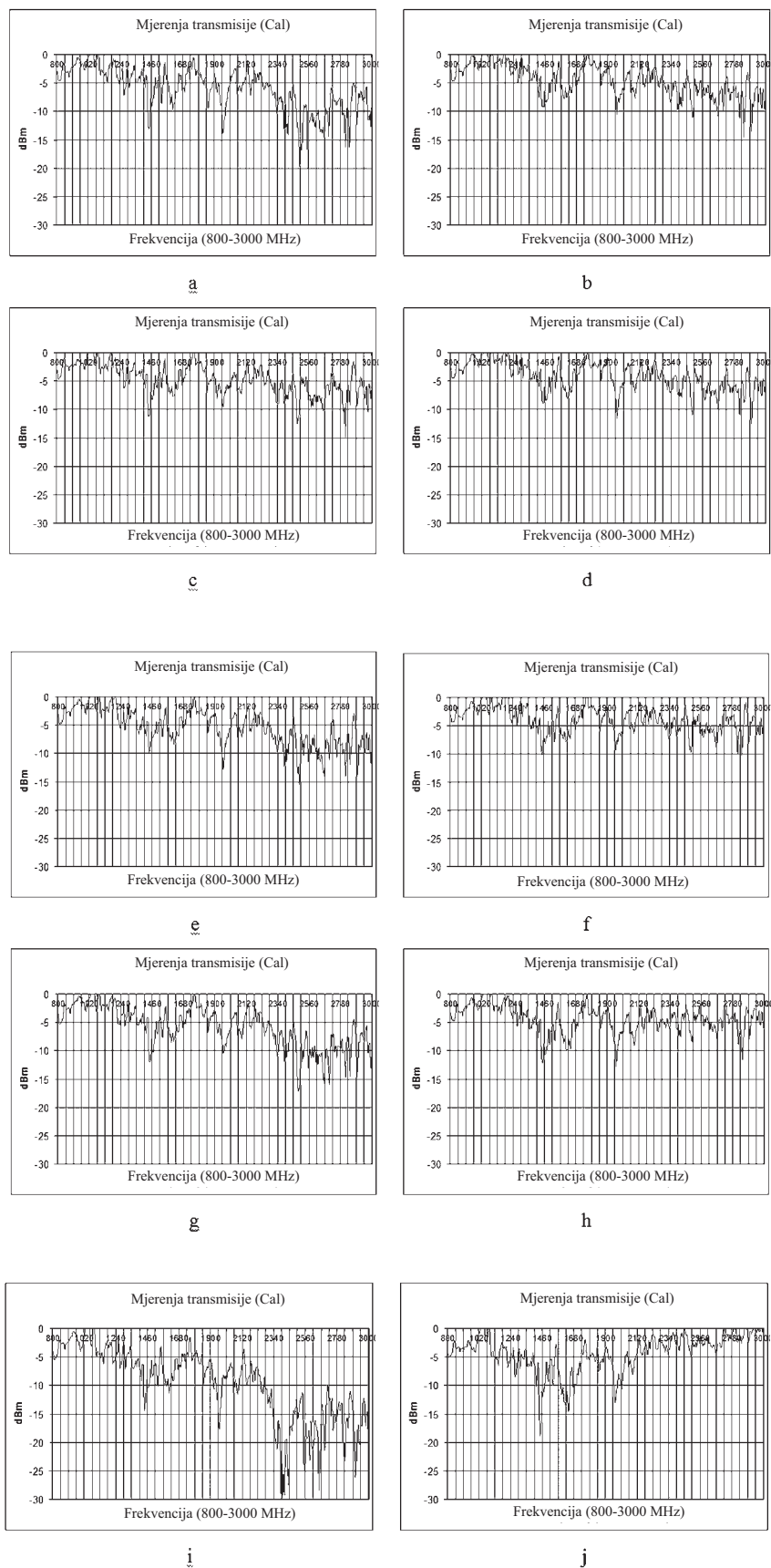
Sl.8 Učinkovitost elektromagnetske zaštite kod kariranog veza 2 (a, c, e, g, i - okomita mjerenja uzoraka C1, C2, C3, C4 i C5; b, d, f, h, j - vodoravnog veza 2 (a, c, e, g, i - okomita mjerenja uzoraka C1, C2, C3, C4 C5)

vencijskom pojasu kod vodoravnih mjerenja kada se povećao sadržaj metala u uzorcima tkanina. Razlog tomu je činjenica da se povećala efektivna površinska elektrovodljivost uzoraka tkanine u skladu sa sadržajem metala. S. Roh i sur. [5], K.B. Cheng i sur. [7] kao i S. Varnaité i sur. [10] su dobili slične rezultate. Razlike između najviših i najnižih vrijednosti elektromagnetske zaštite bile su 10 dB. Uzorak tkanine A1 otkan s potkinim nitima sa čeličnom jezgrom, gdje je raspored potke CP, ima najvišu vrijednost elektromagnetske zaštite u visokofrekvencijskom pojasu. Prosječne vrijednosti elektromagnetske zaštite uzoraka koji su tkani u karo vezu 1 bile su 15 dB u visokofrekvencijskom pojasu kod okomitih mjerenja. Uzorak tkanine B5 je bolje štitio nego uzorak tkanine B1, potpuno suprotno kako prikazuju sl.7a, 7c, 7e, 7g i 7i. Razlog tome je vjerojatno činjenica da dugačko flotiranje provodljivih osnovinih niti između elektrovodljivih potkinih niti međusobno djeluju protiv elektromagnetskih valova.

Na sl.7b, 7d, 7f i 7j prikazano je da se elektromagnetska zaštita uzoraka tkanine koji su tkani u karo vezu 1 povećala u skladu s gustoćom pređe sa čeličnom jezgrom u visokofrekvencijskom pojasu kod vodoravnih mjerenja, kako se i očekivalo.

Uzorci tkanina koji su tkani u karo vezu 2 imaju vrijednosti elektromagnetske zaštite 15 dB kao srednju vrijednost u visokofrekvencijskom pojasu kod okomitih mjerenja kako prikazuju sl.8a, 8c, 8e i 8g i 8i. Vrijednosti elektromagnetske zaštite uzoraka tkanine C5 iznosile su 10 dB više nego kod uzoraka tkanine koji su tkani s gušćim rasporedom čelične potke u visokofrekvencijskom pojasu, što je suprotno očekivanju. Razlog je isti kao i za B5.

Na sl.8b, 8d, 8f, 8h i 8j je prikazano da su uzorci tkanina tkani u karo vezu 2 i kod gušćeg rasporeda čelične pređe bolje štitili u visokofrekvencijskom pojasu nego uzorci tkanina koji su tkani kod rjeđeg rasporeda



Sl.9 Učinkovitost elektromagnetske zaštite kod kariranog veza 3 (a, c, e, g, i - okomita mjerenja uzoraka D1, D2, D3, D4 i D5; b, d, f, h, j - vodoravna mjerenja uzoraka D1, D2, D3, D4 i D5)

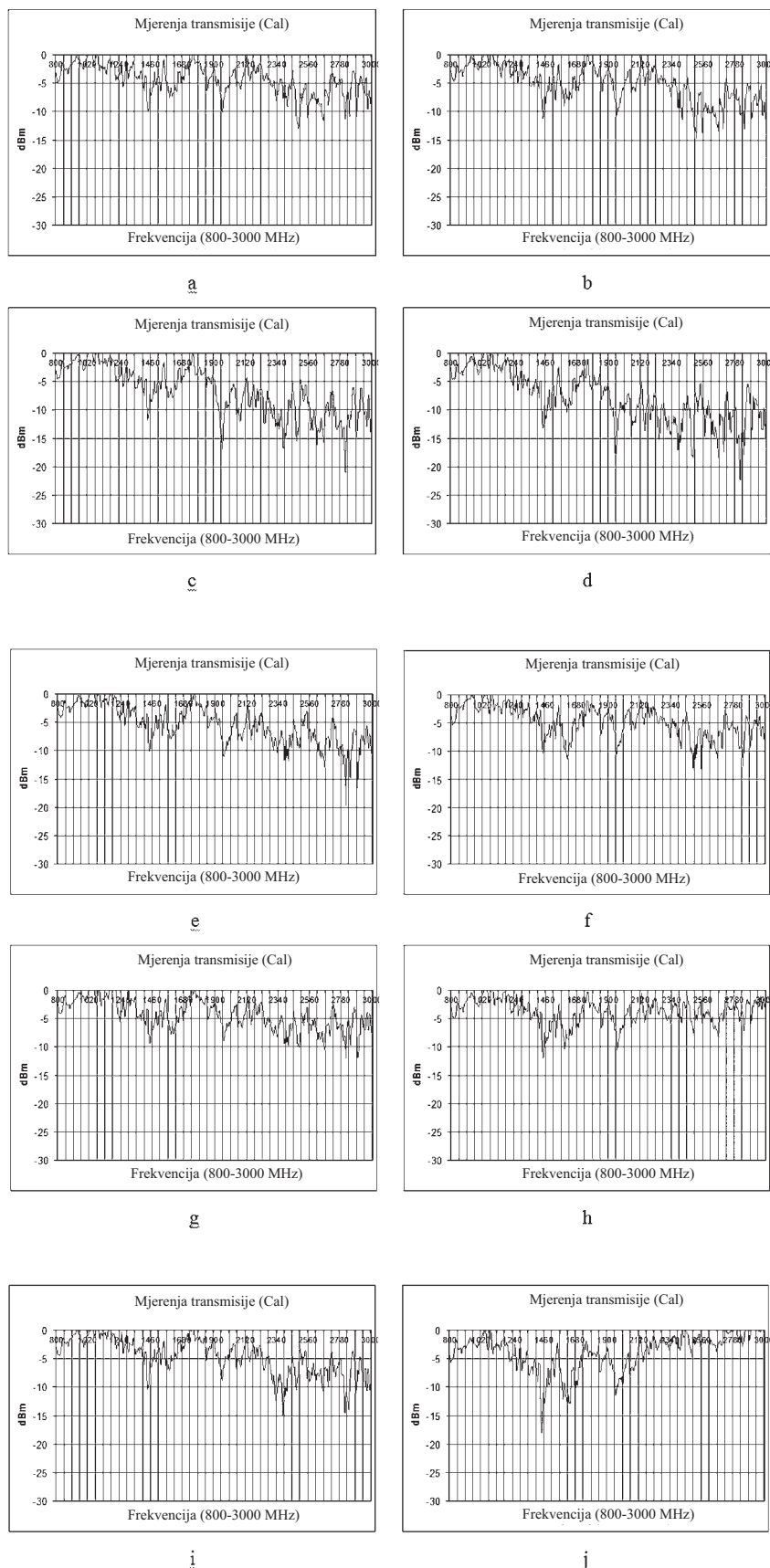
čelične pređe kod vodoravnih mjerenja, kako se vidi na kariranom vezu 1. Vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite uzorka tkanine C5 bile su 10 dB više nego za uzorke tkanine koje su tkane kod gušćeg rasporeda čeličnih potki u srednjefrekvencijskom pojasu što je potpuno suprotno. Razlog je isti kao i za B5.

Vrijednost učinkovitosti elektromagnetske zaštite uzorka tkanine D5 bila je 15 dB viša nego za uzorke tkanine koji su tkani kod gušćeg rasporeda čeličnih niti kod okomitih mjerenja u visokofrekvencijskom pojasu, što je prikazano na sl. 9a, 9c, 9e, 9g i 9i kao što se vidi na kariranom vezu 2. Razlog je isti kao i za B5.

Na sl.9b, 9d, 9f, 9h i 9j prikazano je da su se vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite uzoraka tkanine koji su tkani u kariranom vezu povećale u skladu s gustoćom čelične pređe u visokofrekvencijskom pojasu kod vodoravnih mjerenja prema očekivanju. Uzorak tkanine D5 je bolje štitio nego uzorci tkanine koji su tkani kod gušćeg rasporeda čeličnih potki u srednjefrekvencijskom pojasu kako je uočeno kod kariranog veza 2. Razlog je isti kao i B5.

Uzorak tkanine E2 otkan kod rasporeda potke CP 1:1 štitio je bolje nego uzorci tkanine koji su tkani kod drugih rasporeda potke u frekvenzijskom području od 1900 do 3000 MHz kod okomitih mjerenja, kako prikazuju sl.10a, 10c, 10e, 10g i 10i. Razlog tomu je činjenica da osnovine niti stvaraju otvore na gornjoj strani desne dijagonale, dok potkine niti stvaraju otvore na donjoj strani desne dijagonale.

Na sl.10b, 10d, 10f, 10h i 10j je prikazano da su se vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite uzoraka tkanine koji su tkani u kariranom vezu 4 povećale s gustoćom čelične potkine niti u frekvenzijskom području od 1900 do 3000 MHz kod vodoravnih mjerenja, osim za uzorak tkanine E2; vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite uzorka tkanine E2 bile su više nego kod



Sl.10 Učinkovitost elektromagnetske zaštite kariranog veza 4 (a, c, e, g, i - okomita mjerenja uzoraka E1, E2, E3, E4 i E5; b, d, f, h, j - vodoravna mjerenja uzoraka E1, E2, E3, E4 i E5)

drugih uzoraka. Razlog je isti kao i za okomita mjerenja E2.

5. Zaključak

U ovom radu ispitivani su učinkovitost elektromagnetske zaštite 1/3 keper i nekih kariranih tkanina koje su otkane na automatskom tkalačkom stroju pri čemu su korištene elektrovodljive pređe s nehrđajućom čeličnom jezgrom koje su utkivane određenim rasporedom. Usporedbom keper veza s kariranim vezovima uočeno je da je učinkovitost elektromagnetske zaštite kariranog veza 1, koji ima najveći koeficijent preplitanja, bio bolji nego općenito za keper vez. Među kariranim vezovima karirani vez 1 i karirani vez 4 s gušćim rasporedima potkernih niti sa čeličnom jezgrom koji imaju najveći broj kontakata između okomitih i vodoravnih niti imale su dobru zaštitu, naročito u visokofrekvencijskom pojasu kod svih mjerenja.

Uočeno je da bi se učinkovitost elektromagnetske zaštite povećala ako bi se povećao sadržaj metalne pređe u visokofrekvencijskom pojasu kod okomitih mjerenja prema očekivanju. S druge strane, keper i karirane tkanine s manjom gustoćom rasporeda potki sa čeličnom jezgrom pokazale su bolja zaštitna svojstva nego uzorci tkanine koji su otkani s gušćim rasporedima metalne potke u svim frekvencijskim pojasevima zbog male gustoće elektrovodljivih osnovinih niti koje su paralelne s polarizacijom antene tijekom vodoravnih mjerenja.

Prema tomu, karirane tkanine proizvedene u okviru ovog ispitivanja imaju dobre vrijednosti učinkovitosti elektromagnetske zaštite u visokofrekvencijskim pojasevima pa se mogu upotrebljavati kao materijal za elektromagnetsku zaštitu u proizvodima kao Wi-Fi, radiotelefon i baby monitori. Međutim, potrebna su daljnja proučavanja kako bi se poboljšala svojstva elektromagnetske zaštite ovih tkanina u niskofrek-

vencijskim i srednjefrekvencijskim pojasevima.

(Preveo M. Horvatić)

Literatura:

- [1] King R.W.P.: Electrical currents and fields induced in cells in the human brain by radiation from hand-held cellular telephones, *Journal of Applied Physics* 87 (2000) 2, 893-900
- [2] Gandhi O.P.: Electromagnetic fields: human safety issues, *Annual Review of Biomedical Engineering* (2002) 4, 211-234
- [3] World Health Organization Homepage on the Internet, World Health Organization, Cited 26 March 2012, Available from: <http://www.who.int/peh-emf/en/>
- [4] Perumalraj R. et al.: Electromagnetic shielding effectiveness of copper core-woven fabrics, *The Journal of the Textile Institute* 100 (2009) 6, 512-524
- [5] Roh J.S. et al.: Electromagnetic shielding effectiveness of multi-functional metal composite fabrics, *Textile Research Journal* 78 (2008) 9, 825-835
- [6] Su C.I., J.T. Chern: Effect of stainless steel-containing fabrics on electromagnetic shielding effectiveness, *Textile Research Journal* 74 (2004) 1, 51-54
- [7] Cheng K.B. et al.: Electromagnetic shielding effectiveness of the twill copper woven fabrics, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 25 (2006) 7, 699-709
- [8] Chen H.C. et al.: Fabrication of conductive woven fabric and analysis of electromagnetic shielding via measurement and empirical equation, *Journal of Materials Processing Technology* (2007) 184, 124-130
- [9] Duran D. et al.: Electromagnetic shielding effectiveness of woven fabrics produced with conductive core yarns, *AUTEX World Textile Conference, Turkey*, 26-28 May (2009)
- [10] Varnaitė S. et al.: The features of electric charge decay in the polyester fabric containing metal fibres, *Materials Science (Medžiagotyra)* 14 (2008) 2, 157-161
- [11] Sandrolini L., U. Reggiani: Investigation on the shielding effectiveness properties of electrically conductive textiles, *Asia Pacific Microwave Conference, Hong Kong*, 16-19 December (2008)
- [12] Palamutcu S. et al.: Electrically conductive textile surfaces and their electromagnetic shielding efficiency measurement, *Tekstil ve Konfeksiyon* (2010) 3, 199-207
- [13] Joyner K.H. et al.: An evaluation of a radiofrequency protective suit and electrically conductive fabrics, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 31 (1989) 2, 129-137
- [14] Więckowski, T.W., J.M. Janukiewicz: Methods for evaluating the shielding effectiveness of textiles, *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 14 (2006) 5, 18-22
- [15] Başer G.: *Dokuma Tekniği ve Sanatı 1*, Punto Publishing, Turkey (2004)
- [16] David V. et al.: On the characterization of electromagnetic shielding effectiveness of materials, *15th IMEKO TC4 Symposium on Novelties in Electrical Measurements and Instrumentation, Romania*, 19-21 September (2007)
- [17] Ashenhurst T.R.: *A Treatise on Textile Calculations and the Structure of Fabrics*, Broadbent Publishing, England (1884)
- [18] Galceran V.: *Tecnología del Tejido (Weaving Technology)*, Terrassa: Technical University of Catalonia (in Spanish) (1962)
- [19] Çeken F. et al.: The electromagnetic shielding properties of copper and stainless steel knitted fabrics/Svojstva zaštite od elektromagnetskog zračenja pletiva od bakrenih i nehrđajućih čeličnih žica, *Tekstil* 60 (2011.) 7, 321-328/329-337

SUMMARY

The effects of fabric structural parameters on the electromagnetic shielding effectiveness

H. Özdemir¹, A. Özkurt²

In this paper, stainless steel core yarn was selected as a conductive yarn to produce conductive fabrics. The electromagnetic shielding effectiveness of twill and some diced woven fabrics with different metal densities were measured by free space measurement technique at horizontal polarization of the antenna. It was found that woven fabric samples shielded well in high frequency band, namely industrial, scientific and medical band. The electromagnetic shielding effectiveness of fabric samples woven increased in accordance with the steel core yarn density in high frequency band if the fabric samples were positioned so that the weft yarns were vertical to the antenna polarization. When the effective surface conductivity increased, the decrease in the electromagnetic shielding effectiveness of woven fabric samples, which were positioned so that the weft yarns were parallel to the antenna polarization, was observed as adverse.

Key words: diced woven fabrics, twill weave, electromagnetic shielding effectiveness, conductive core yarns

Dokuz Eylül University

¹*Textile Engineering Department*

²*Electrical and Electronics Engineering Department*

İzmir, Turkey

e-mail: h.ozdemir@deu.edu.tr; ahmet.ozkurt@deu.edu.tr

Received April 27, 2012

Die Einwirkungen von Gewebestrukturparametern auf die elektromagnetische Leistungsfähigkeit

Es wurde rostfreies Stahlkerngarn als ein leitfähiges Garn gewählt, um leitfähige Stoffe herzustellen. Die elektromagnetische Abschirmungswirksamkeit des Köpers und einiger kariierter gewebter Stoffe mit verschiedenen Metalldichten wurde durch die Freiraum-Messtechnik bei der horizontalen Polarisierung der Antenne gemessen. Es wurde gefunden, dass Gewebeproben im Hochfrequenzband, nämlich in industriellem, wissenschaftlichem und medizinischem Band gut abschirmten. Die Wirksamkeit der elektromagnetischen Abschirmung von Gewebeproben erhöhte sich in Übereinstimmung mit der Stahlkerngardichte im Hochfrequenzband, wenn die Gewebeproben in Position gebracht wurden, damit die Schussgarne zur Antennenpolarisation vertikal waren. Als die wirksame Oberflächenleitfähigkeit zunahm, wurde die Verminderung in der elektromagnetischen abschirmenden Wirksamkeit von Gewebeproben, die so platziert wurden, dass die Schussgarne zur Antennenpolarisation parallel waren, als negativ betrachtet.