Translated from English to Slovak - www.onlinedoctranslator.com
Check for updates

JOURNAL OF ENGINEERED FIBERS AND FABRICS

Recenzia

Časopis pre technické vlákna a tkaniny
Zväzok 21: 1–21
© Autor(i) 2026
DOI: 10.1177/15589250261433247
journals.sagepub.com/home/jef
Sage

Ľudské zdravie a elektromagnetické žiarenie: Úloha pletených priadzí, tkanín a odevov – kritický prehľad

Usman Ahmed[1], Hafiza Bushra Fayyaz[2] Naeem Ullah[3] Tanveer Hussain[4] Šehbaz Ahmad[4] a Muhammad Sajjad Khan[4]

Abstrakt

Používanie elektronických zariadení pripojených k Wi-Fi vyvolalo niekoľko obáv týkajúcich sa elektromagnetického znečistenia. Dlhodobé vystavenie elektromagnetickému žiareniu sa spája s nepriaznivými účinkami na ľudské zdravie. Medzi hlásené zdravotné problémy patrí zvýšené riziko úzkosti, depresie, porúch spánku a neplodnosti. Ochrana pred týmito škodlivými účinkami je nevyhnutná a textílie ponúkajú sľubné riešenie. Keďže textílie sú v priamom kontakte s ľudským telom dlhší čas, musia byť mäkké, pružné a netoxické, aby sa zabezpečilo pohodlie a bezpečnosť. Použitie pokročilých vodivých vlákien môže účinne tlmiť škodlivé elektromagnetické žiarenie. Cieľom tejto štúdie je preskúmať vplyv nízkofrekvenčného elektromagnetického žiarenia na ľudské zdravie a preskúmať potenciálnu úlohu pokročilých vlákien a pletenín pri tlmení takéhoto žiarenia. Táto štúdia tiež skúma zdravotné problémy spojené s dlhodobým vystavením nízkofrekvenčnému elektromagnetickému žiareniu. Boli študované rôzne konečné aplikácie pletených elektromagneticky tienených tkanín spolu s materiálmi použitými v ich štruktúrach. Boli analyzované kľúčové parametre, ako aj stroje používané pri ich výrobe. Literatúra naznačuje, že pletené tkaniny majú významný potenciál pre aplikácie elektromagnetického tienenia vďaka svojej priedušnosti, flexibilite, elasticite a schopnosti ovládať slučku.

Kľúčové slová

Zdravie, vlákna, textil, elektromagnetické tienenie, pletené, odevy

Prijaté: 29. augusta 2025; schválené: 1. marca 2026

Úvod

Teoretické pozadie

Pletenie je po tkaní druhou najpopulárnejšou metódou výroby látok.[1] Celosvetový trh s pleteným tovarom dosiahol v roku 2024 hodnotu 894,06 miliardy USD.[2–6] Výroba pletenín vyžaduje menej práce a má najkratší výrobný cyklus v porovnaní s inými technikami výroby tkanín. V technológii pletenia je plytvanie materiálom minimálne v porovnaní s tkaním. Pletenie umožňuje väčší rozsah štrukturálneho tvarovania v porovnaní s tkaním. Napriek potenciálnym nevýhodám, ako je voľná štruktúra a nízka rozmerová stabilita, je možné pleteniny optimalizovať úpravou veľkosti slučiek, vďaka čomu sú vhodné na... rôzne technické aplikácie, ako je filtrácia a elektromagnetické tienenie.

[1]Katedra technológie odevného inžinierstva, Pandžábsko-tianská technologická univerzita, Láhaur, Pakistan
[2]Univerzita v Láhaure, Pakistan
[3]Katedra strojárskej technológie, Pandžábsko-tianská technologická univerzita, Láhaur, Pakistan
[4]Katedra textilného inžinierstva, Národná textilná univerzita Faisalabad, Pandžáb, Pakistan

Korešpondujúci autor:
Usman Ahmed, Katedra textilného inžinierstva, Národná textilná univerzita Faisalabad, Pandžáb 37610, Pakistan.
E-mail: usman.knit@gmail.com

Technické pletenie sa vzťahuje na aplikáciu pletacích techník a technológií na vývoj tkanín so špecifickými funkčnými alebo technickými vlastnosťami. Tieto technické textílie sú navrhnuté tak, aby spĺňali špecifické požiadavky rôznych odvetví, ako je zdravotníctvo, šport, armáda, automobilový priemysel a letecký priemysel. Elektromagnetické tienené pleteniny, ktoré sú vodivé, majú schopnosť tlmiť elektromagnetické žiarenie a poskytovať ochrannú bariéru proti nežiaducemu žiareniu.

Táto recenzia predstavuje pletené štruktúry, ich klasifikáciu, základné prvky pletených štruktúr, vlastnosti pletených tkanín, účinnosť elektromagnetického tienenia, dôležitosť elektromagnetického tienenia, mechanizmus elektromagnetického tienenia a faktory ovplyvňujúce výkonnosť elektromagnetického tienenia. Recenzia bola vykonaná so zameraním na vplyvy elektromagnetického tienenia na ľudské zdravie, pričom pletené tkaniny boli považované za potenciálne tieniace materiály. Štúdia dôkladne skúmala pletené štruktúry, typy priadzí a materiály použité v týchto tkaninách. Okrem toho boli analyzované aj pletacie stroje používané na výrobu tkanín a výrobné parametre.

*Pletené tkaniny a ich klasifikácia.*Pletenie možno primárne rozdeliť na dva typy: útkové pletenie a osnovné pletenie. Pri útkovom pletení sa látka tvorí v riadkoch a v pravom uhle k posuvu priadze. Výsledné štruktúry sú známe ako útkové pleteniny alebo džersejové látky a stroje používané na ich výrobu sa nazývajú útkové pletacie stroje. Pri osnovnom pletení sa látka tvorí (pozdĺžne) v rovnakom smere ako posuv priadze. Zameriame sa na útkové pletenie, pretože naša práca je spojená s touto technikou.[7]Jeden spôsob klasifikácie útkového pletenia je podľa tvaru a počtu ihlových lôžok. Ihlové lôžko je rám, na ktorom sú ihly usporiadané v pravidelnom vzore. Ak má stroj dvojihlové lôžko, nazýva sa to dvojihlový pletací stroj. Ak má jedno lôžko, nazýva sa to stroj s jedným pletením. Plochý pletací stroj s jedným lôžkom sa nazýva jednoihlový plochý pletací stroj a s dvojitým lôžkom sa nazýva dvojlôžkový alebo obrátený plochý pletací stroj v tvare V.[8]Pri nových úpravách pletenej štruktúry sa k stroju pripájajú niektoré ďalšie komponenty. Pletacie stroje sa zvyčajne pomenúvajú podľa pripojeného komponentu, napríklad pletací stroj. Stroj s kruhovým pletaním sa nazýva pletací stroj so vzorovým kolesom, stroj s intarziou pripevnenou k stroju sa nazýva intarzia a stroj s viacerými vačkovými dráhami sa nazýva viacvačkový pletací stroj. Pletacie stroje sa tiež pomenúvajú podľa konečných produktov, ako napríklad stroj na pletenie ponožiek, froté pletací stroj a prameňový pletací stroj.[9]

Hladký úplet sa vyrába na stroji s jedným úpletom, zatiaľ čo rebrový, interlockový a rubový úplet sa vyrábajú na okrúhlych pletacích strojoch s dvojitým ihlovým lôžkom. V pletených štruktúrach existujú tri základné typy stehov: pletené, zásuvné a miss stehy. Každý steh významne ovplyvňuje konečné vlastnosti pleteniny. Zavedenie miss stehov do jednoduchého džersejového úpletu znižuje jeho šírku a začlenenie zásuvných stehov skracuje dĺžku látky. Ďalším dôležitým faktorom ovplyvňujúcim vlastnosti látky je hustota stehov. Vyššia hustota stehov zvyšuje plošnú hustotu látky (GSM) a naopak, nižšia hustota stehov má opačný účinok.

*Použitie pleteniny v technickom textíliu.*Pletené tkaniny sa používajú ako technické tkaniny v mnohých priemyselných aplikáciách. Hlavné uplatnenie vodivých pletených tkanín je vo vojenskom a leteckom sektore. Tieto tkaniny ponúkajú ochranu pred elektromagnetickým žiarením a možno ich bezproblémovo začleniť do nositeľných textílií pre vojakov a astronautov. Technická pletená tkanina má ďalšie významné uplatnenie v automobilovom priemysle, najmä vo vyhrievaných sedadlách a integrácii senzorov.[10]

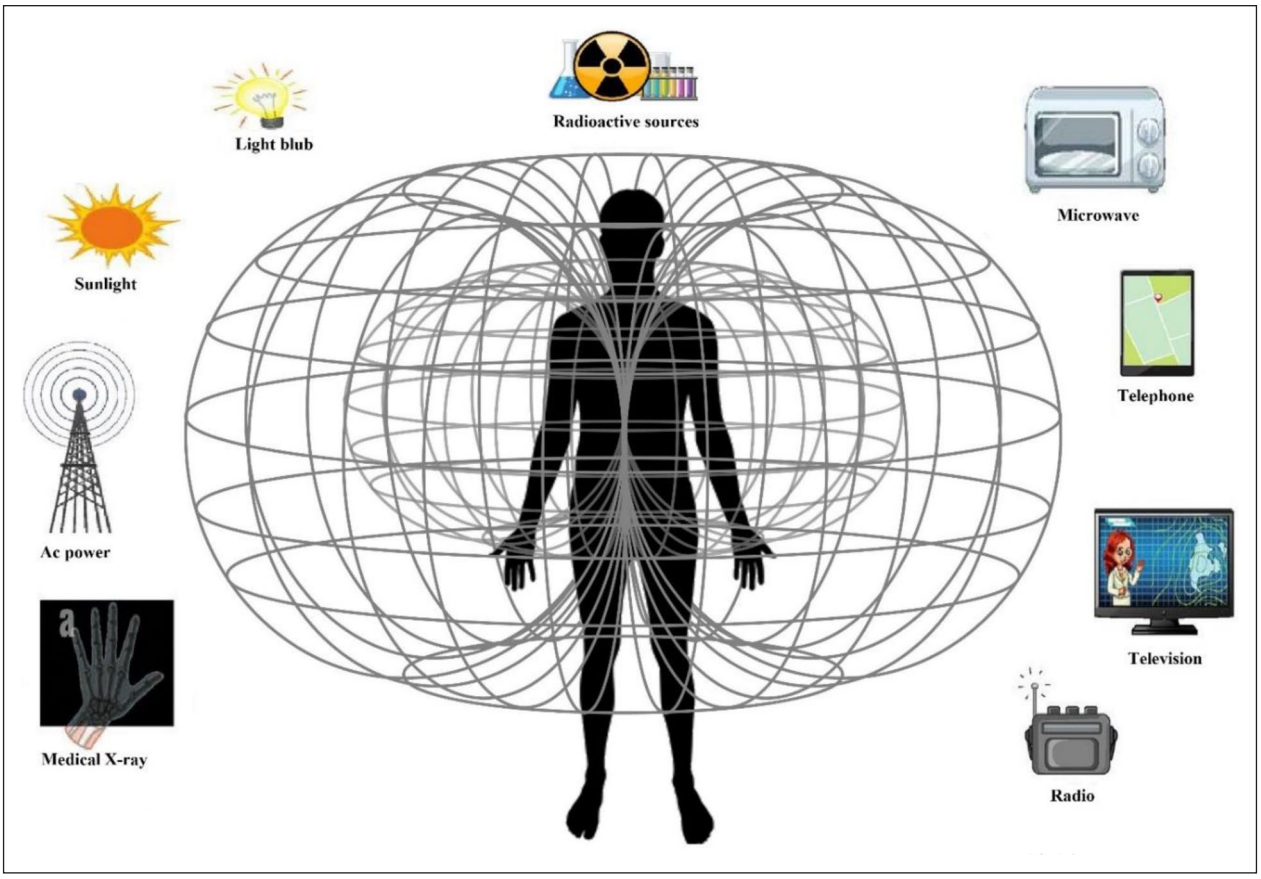
*Elektromagnetické žiarenie (EMR).*Telefóny a mnohé domáce a priemyselné elektronické zariadenia vyžarujú elektromagnetické žiarenie (obrázok 1). Bezpečnostné zariadenia (ako sú protikrádežové a bezpečnostné brány na letiskách), komunikačné zariadenia (pozemné aj vzdušné), vojenské vybavenie a zdravotnícke pomôcky (ako sú elektrochirurgické nože) tiež vyžarujú elektromagnetické žiarenie.[11]Ľudské telo dokáže absorbovať toto elektromagnetické žiarenie a premieňať ho na tepelnú energiu, čo vedie k zvýšeniu telesnej teploty o 1 °C – 2 °C.[12]

Elektromagnetické spektrum je rozsah všetkých typov elektromagnetického žiarenia. Zahŕňa rádiové vlny, mikrovlny, infračervené, viditeľné, ultrafialové, röntgenové a gama žiarenie. Žiarenie z elektromagnetického spektra má formu fotónov.

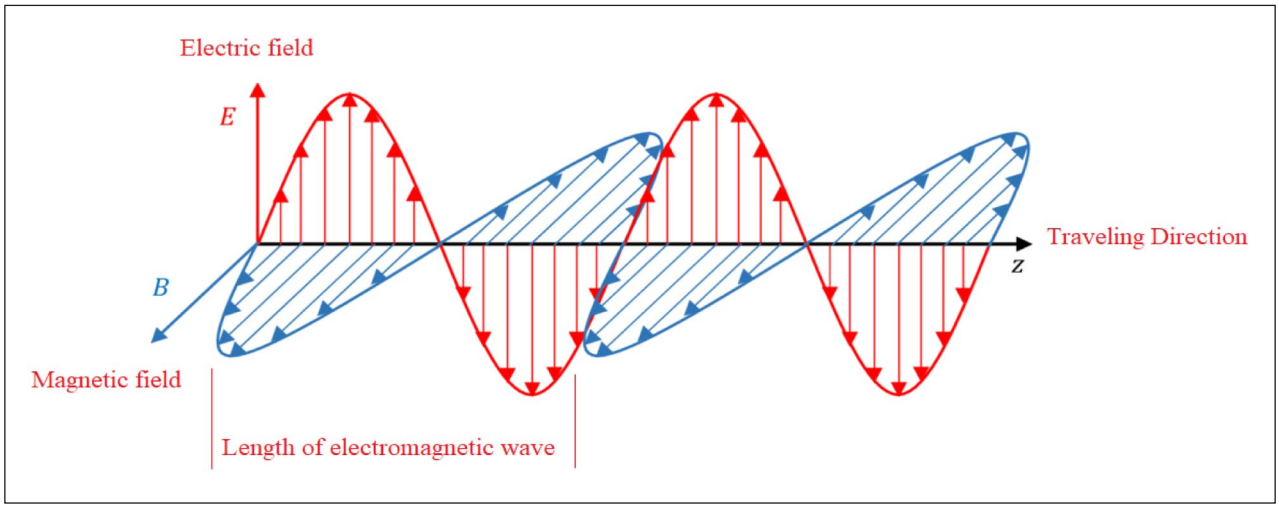
Fotón je jednotka elektromagnetickej energie predstavujúca jednu vlnovú dĺžku alebo frekvenciu znázornenú na obrázku 2. Jednotkami merania fotónov sú elektrónvolty. Ľudia sú náchylní na elektromagnetické žiarenie z prírodných (slnečné svetlo) a umelých zdrojov (rádioprijímače, mikrovlnné rúry atď.). Tieto elektromagnetické vlny sa šíria pevnými látkami, vzduchom a priestorom konštantnou rýchlosťou. Čím kratšie sú vlnové dĺžky, tým vyššie sú frekvencie a naopak, čím dlhšie sú vlnové dĺžky, tým nižšie sú frekvencie. Obrázok 3 predstavuje rôzne ionizujúce a neionizujúce žiarenie.

Tabuľka 1 uvádza rôzne pásma rádiového a mikrovlnného signálu.[16] Hertz je jednotka merania frekvencie (cykly za sekundu). Vlnová dĺžka sa meria v metroch.[17]

Vystavenie ľudského tela elektronickým zariadeniam je nevyhnutné. Elektromagnetické vlny nemusia okamžite ovplyvniť človeka, ale ich dlhodobé vystavenie môže byť pre ľudské telo škodlivé. Tabuľka 2 predstavuje bežne prítomné elektromagnetické žiarenie, s ktorým sa ľudia stretávajú.



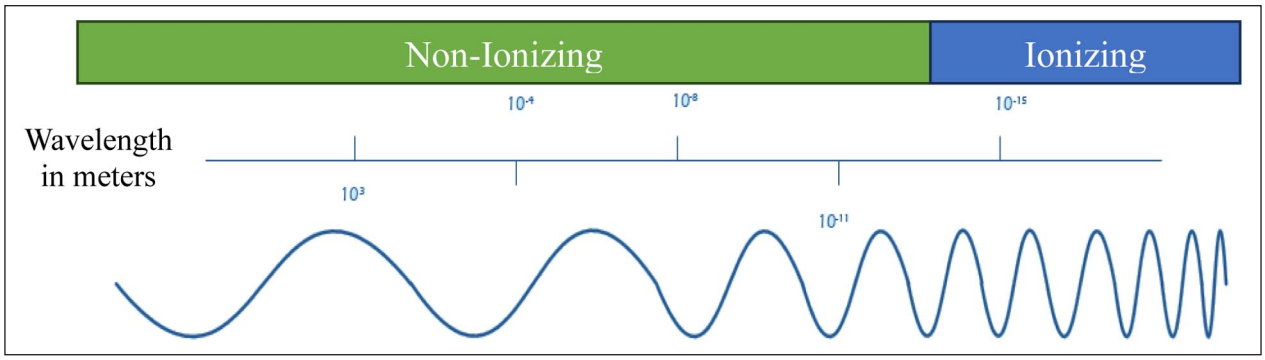
Obrázok 1.Ľudský život v mori elektromagnetických vĺn.[13, 14]



Obrázok 2. Elektromagnetická vlna.[15]

Štúdia zistila, že množstvo žiarenia na frekvencii 41 MHz v blízkosti vysielacej veže je príliš škodlivé pre ľudské kosti až do okruhu 1 m a ak stúpne na 202 MHz, je nebezpečné pre ľudské kosti do okruhu 10 m od veže.[19]

Vplyv EMR na elektronické zariadenia a ľudské zdravie. Vysokointenzívne mikrovlny majú negatívne následky na ľudské telo, ale nízkointenzívne mikrovlny môžu tiež spôsobiť neuropsychiatrické problémy, označované ako mikrovlnný syndróm. Výskumné zistenia konzistentne



Obrázok 3. Druhy elektromagnetického žiarenia založené na ich ionizačnej schopnosti.[97]

Tabuľka 1. Klasifikácia rôznych rádiových a mikrovlnných zariadení podľa frekvencie.[16]

Vlnové pásmo	Frekvencia (GHz)	Zdroje/aplikácie
L-pásmo	1–2	Radary, mobilná a satelitná komunikácia, satelitná navigácia (ako GPS, GLONASS atď.), mobilná
S-pásmo	2–4	komunikácia, meteorologické/lodné radarové systémy, Bluetooth, Wi-Fi
C-pásmo	4–8	Satelitné televízne siete na plný úväzok alebo surové satelitné vysielanie
X-pásmo	8–10	Zobrazovanie s vyšším rozlíšením na identifikáciu cieľov, civilné, vojenské a vládne radary aplikácie
Ku-pásmo	12 – 18	Systémy VSAT na lodiach, satelitná
K-pásmo	18 – 26	televízia, astronomické pozorovania a
Ka-pásmo	26 – 40	radary, komunikácia so satelitmi
Q-pásmo	33 – 50	Pozemská mikrovlnná komunikácia, rádioastronomické štúdie a automobilové radary.
U-pásmo	40 – 60	Satelitná a vysokorýchlostná pozemská komunikácia
V-pásmo	50 – 75	Bezdrôtové backhaul a rádiové spojenia typu point-to-point/point-viacbodové rádiové spojenia
W-pásmo	75 – 110	Automobilové radary, satelitná komunikácia, astronómia, obrana a bezpečnostné aplikácie
F-pásmo	90 – 140	Satelitné televízne vysielanie, mikrovlnné zariadenia a rádioastronómia
D-pásmo	110 – 170	Mikrovlnný diaľkový prieskum, amatérske rádio, zbraň s riadenou energiou, milimetrové vlny skener
Milimetrové pásmo	110 – 300	Vysokopásmové WLAN a osobné siete s krátkym dosahom

Tabuľka 2. Elektromagnetické žiarenie, s ktorým sa ľudia bežne stretávajú.[18 rokov]

Elektromagnetický zdroj	Frekvenčný rozsah
Prenosové vedenia	50–60 Hz
Počítačové monitory	60–90 Hz
AM rádiové vysielanie	530 – 1600 kHz
FM rádiové vysielanie	88 – 108 MHz
Televízne prenosy	50 – 700 MHz
Slúchadlá	850 MHz – 2,4 GHz
Mikrovlnné rúry	2,45 GHz
Notebooky a Wi-Fi	2,4 GHz
Veža mobilného telefónu	0,8 – 1,9 GHz

naznačujú, že mikrovlnné elektromagnetické polia (EMF) vysielané základňovými stanicami mobilných telefónov, mobilnými zariadeniami a inteligentnými meračmi Wi-Fi vyvolávajú u ľudí neuropsychiatrické účinky. Bežné problémy spôsobené vystavením elektromagnetickému žiareniu (EMR) sú zhrnuté v tabuľke 3.

Eger a Jahn skúmali ľudí, ktorí žili v blízkosti vysielača mobilného signálu. Všetkým domácnostiam bol distribuovaný dotazník s otázkami o akýchkoľvek príznakoch alebo zmenách, ktoré pocítili. Zistenia boli prekvapujúce; mnohí ľudia sa sťažovali na bolesti hlavy (23,5 %), poruchy pamäti (28,2 %) a spomínali na závraty, tras a depresiu (48,3 %).[20 – 23]Thomée a kol. skúmali účinky používania mobilných telefónov u dospelých. Ľudia, ktorí telefonujú neskoro v noci, majú problémy so spánkom, zaspávajú dlhšie a zvyšuje sa im telesná teplota (najmä teplota uší).[24,25]V roku 1998 Johnson Liakouris uviedol, že vystavenie mikrovlnám spôsobuje neurologické problémy, kožné problémy, úzkosť a nervové dysfunkcie u ľudí pracujúcich na americkom veľvyslanectve.[26]
Akdag a Dasdag skúmali 25 jednotlivcov zamestnaných televíznou stanicou UHF. Zaznamenali rôzne zmeny vrátane smútku, úzkosti, agresie, fobickej úzkosti, paranoidných myšlienok, psychotizmu a narušenia spánku (obrázok 4).[27]

Tabuľka 3. Problémy spôsobené vystavením rádiovému a mikrovlnnému žiareniu.

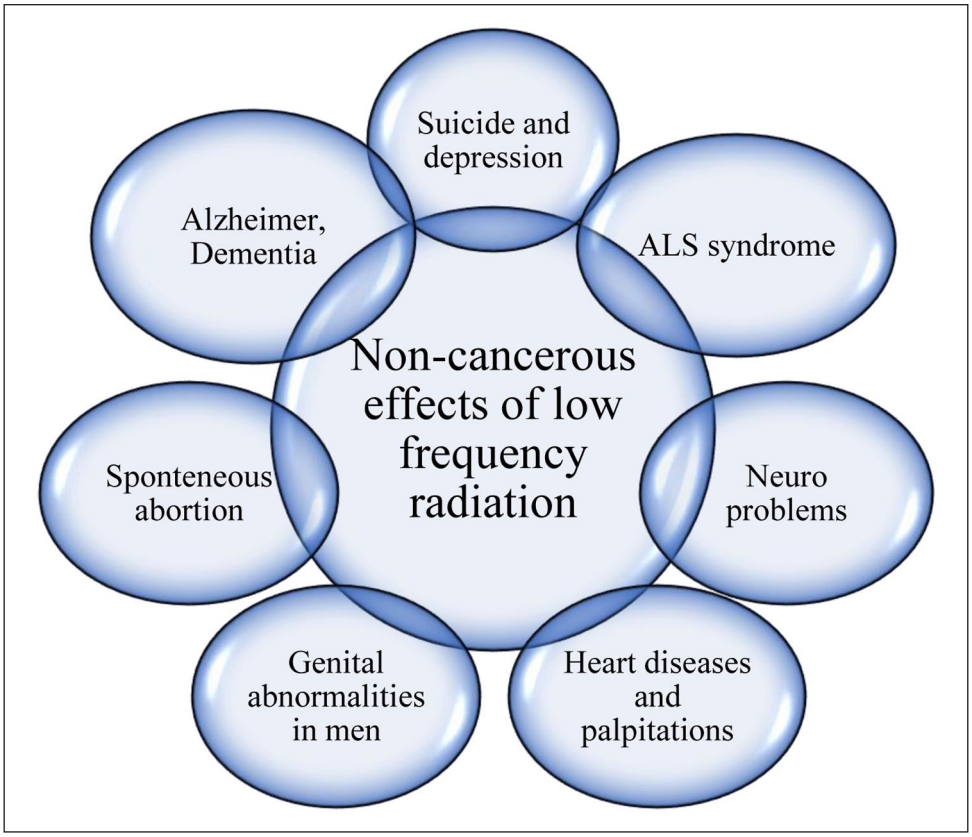
Nie. Sr.	Zdroje rádiového a mikrovlnného žiarenia	Súvisiace problémy	Referencia
1	Bývanie v blízkosti a pod mobilným telefónom prieskum verejnej mienky	Bolesti hlavy, poruchy pamäti a spomínanie, závraty, tras a depresia	Abdel-Rassoul a kol.[20]
2	Používanie mobilných telefónov a obrazoviek vysokoškolskí študenti	Bolesť hlavy, únava, nervozita a ťažkosti s koncentrácie	Mortazavi a kol.[23]
3	Mikrovlny spôsobené vysielačom mobilných telefónov a používanie mobilného telefónu	Poruchy spánku, bolesti hlavy, únava, smútok, dysestézia a dysfunkcia zaostrenia, podpora karcinogenézy a indukcia genetického poškodenia	Pall[28], SZO[30]
4	Vystavenie frekvencii GSM 890 MHz	Zvýšenie sérového transtyretínu (TTR) v 60 minút	Söderqvist a kol.[31]
5	Vystavenie testu pseudo-GSM s frekvenciou 900 MHz signál	Problém so spánkom	Fritzer a kol.[32]
6	Bývanie v blízkosti mobilného vysielača	Depresia, bolesť hlavy, mozgové príznaky, závraty, poruchy optického a akustického senzorického systému, poruchy spánku, zmeny na koži	Eger a Jahn[21]
7	Mikrovlnná expozícia (0,6 – 9,5 GHz)	Neurologické (periférne nervy a gangliá), dermografizmus (kožné reakcie), podráždenosť, depresia, strata chuti do jedla, ťažkosti s koncentráciou, periférne gangliá a nervová dysfunkcia	Johnson Liakouris[26]
8	Vystavenie ľudí mikrovlnným elektrónom až 1062 kHz	Interpersonálna citlivosť, depresia, úzkosť, nepriateľstvo, fobická úzkosť, paranoidné myšlienky, psychotizmus a poruchy spánku.	Akdag a Dasdag[27]
9	Používanie mobilného telefónu počas nabíjania	Bolesti hlavy, problémy s koncentráciou, únava a poruchy spánku ako celkové príznaky a teplo a začervenanie uší	Durusoy a kol.[22]
10	Telefonovanie a posielanie SMS na toalete	Ťažkosti so spánkom a depresia.	Thomée a kol.[25]
11	Používanie mobilného telefónu na hovory	Zvýšená teplota bubienka.	Bortkiewicz a kol.[24]

Pall študoval symptómy neuropatie, ktoré sa vyskytujú v dôsledku mikrovlnného žiarenia. Medzi najčastejšie sťažnosti patrili poruchy spánku, bolesti hlavy, únava, smútok, dysestézia a fokálna dysfunkcia.[28]Podľa správy Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) je žiarenie z mobilných telefónov škodlivé pre ľudské telo. Môže zvýšiť riziko karcinogenézy a genetického poškodenia.[29,30] Söderqvist a kol. skúmali ľudí, ktorí boli vystavení signálom mobilných telefónov. Po 60-minútovej expozícii zistili značný nárast sérového transtyretínu (TTR). TTR je proteín produkovaný primárne v ľudskej pečeni.[31]Výskumníci vykonali štúdiu, v ktorej analyzovali mozgovú aktivitu spiacich jedincov pomocou elektroencefalografie (EEG) a zároveň ich vystavovali netermálnym mikrovlnným lúčom. EEG pomáha posúdiť mozgovú aktivitu a je možné identifikovať akékoľvek zmeny. Zistili, že tieto EEG vzorce boli podobné u ľudí vystavených žiareniu z Wi-Fi.[32 – 35]

Elektromagnetické žiarenie (EMR) môže spôsobiť nádor na mozgu, neplodnosť semenníkov alebo rakovinu, ktorá je spôsobená zvýšením reaktívnych foriem kyslíka (ROS). Mobilné telefóny a rakovina semenníkov majú mechanizmus biointerakcie. Poškodzuje biologické systémy a mení viacero procesov vrátane poklesu počtu mužských spermií, zmien v enzýmovej a hormonálnej nerovnováhe a poškodenia DNA. Preto by si muži nemali vkladať mobilné telefóny do prednej časti nohavíc. vrecká.[36 – 38]Hustoty tepelného toku notebookov a mobilných telefónov s Wi-Fi a bez neho sú uvedené v tabuľke 4.

Používanie mobilných telefónov dlhšie ako 10 rokov zvyšuje riziko nádoru na mozgu. Krátkodobé vystavenie mikrovlnnému žiareniu spôsobuje zahrievanie tkaniva. Tieto zahriate tkanivá pravdepodobne spôsobili zmeny červených krviniek, somatické mutácie, zvýšený výskyt spontánnych potratov a zvýšený výskyt rakoviny mozgu a prsníka. Mladí ľudia zvyčajne čelia poruchám spánku a depresii. Výskumník dospel k záveru, že zvýšené používanie mobilných telefónov viedlo k rozvoju nádorov na mozgu u mladých dospelých. Obyvatelia žijúci v blízkosti základňových staníc mobilných telefónov sú neustále vystavení žiareniu. Sú náchylnejší na ožiarenie a problém s bolesťami hlavy je u nich bežný.[43 – 48]

*Neplodnosť spôsobená používaním notebookov a mobilných telefónov.*Neplodnosť u mladých párov sa stáva čoraz globálnejším problémom. Mužská plodnosť sa za posledné desaťročie výrazne znížila. Príčiny neplodnosti sú spôsobené niekoľkými faktormi prostredia vrátane elektromagnetických vĺn (EMW). Mužské semenníky majú germinálny epitel (ktorý zahŕňa spermatogónie), ktorý je rádiosenzitívnejší ako ostatné bunky.[49 – 51]K mužskej neplodnosti dochádza, keď má muž nízku šancu otehotnieť svoju partnerku. Medzi príčiny, ktoré vedú k nižšiemu počtu spermií, patria:



Obrázok 4. Nekancerogénne účinky nízkofrekvenčného žiarenia na ľudské telo.

Tabuľka 4. Zobrazte hustotu tepelného toku z notebookov a mobilných telefónov.

	Wi-Fi pripojenie		Mobilný telefón		Notebooky		
	Pre mobilné zariadenia telefón	Pre notebook	Bez Wi-Fi mobilný telefón	S Wi-Fi mobilný telefón	Bez Wi-Fi notebook	S Wi-Fi notebook	Referencia
Tepelný tok hustota ($\mu W/cm^2$)[a]	0,001	2,2 – 0,013	0,01 – 0,1	1–40	0,3	(2,2 – 8,7)	Avendaño a kol.[39], Okechukwu[40], Foster a Moulder[41], Peyman a kol.[42]

[a]Jednotkou merania hustoty tepelného toku je mikrowatt na meter štvorcový ($\mu W/m^2$; čo je 1 mW tepelnej energie prenášanej cez plochu s rozlohou jedného štvorcového metra, t. j. kolmo na smer tepelného toku).

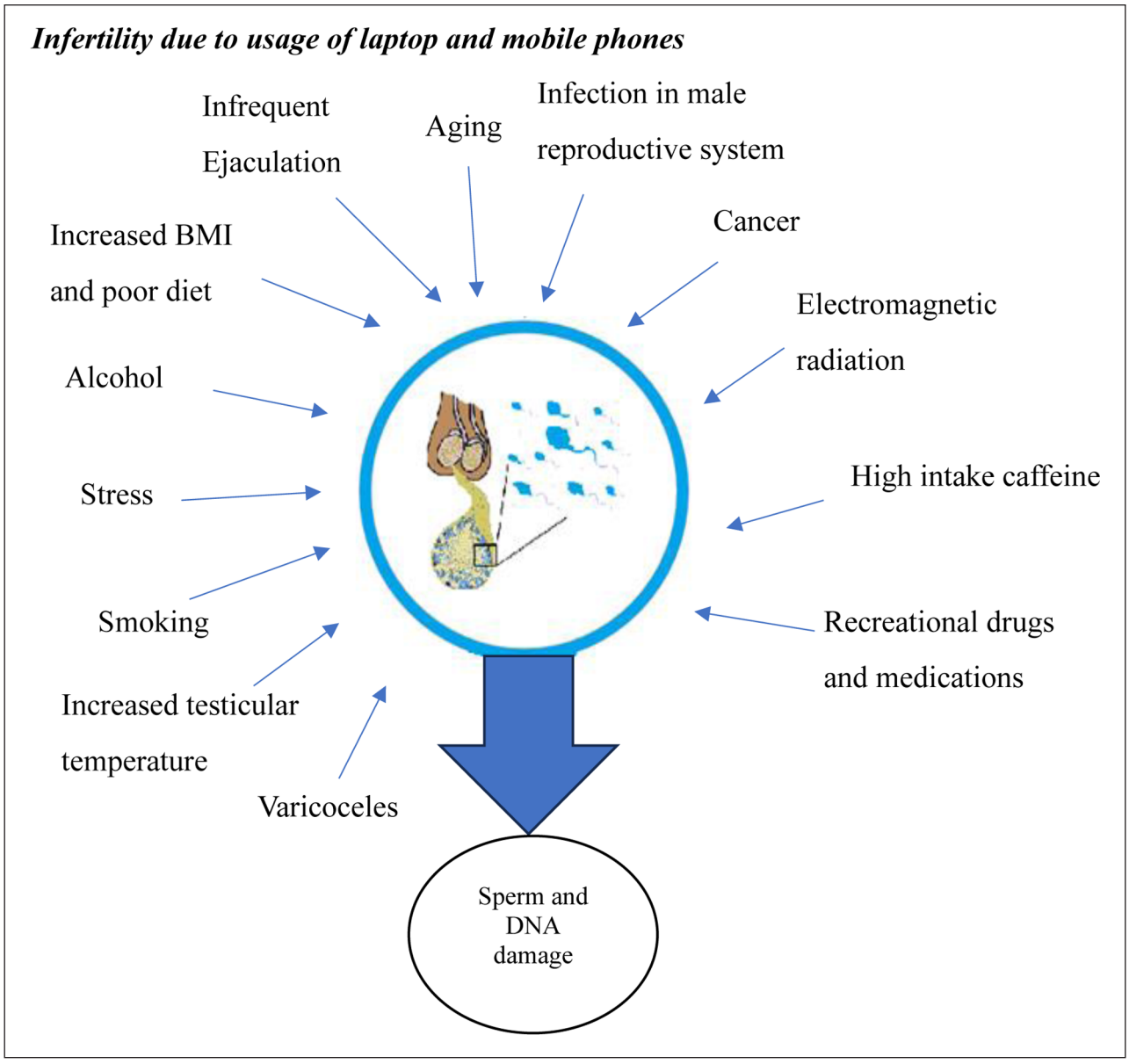
dlhé sedenie, dlhodobé vystavenie elektromagnetickému žiareniu, život v horúcom prostredí a vysoká úroveň stresu. Elektromagnetické žiarenie (EMR) je jedným z hlavných faktorov ovplyvňujúcich mužskú plodnosť (obrázok 5).[52,53]

Keď je notebook pripojený k Wi-Fi routeru a nasmerovaný do nabíjacieho portu, dochádza k vyžarovaniu žiarenia. Žiarenie môže ovplyvniť širokú škálu orgánov. Teplo generované notebookom ovplyvňuje aj mužský miešok. Keď si ľudia používajú notebooky na kolenách, produkované teplo a žiarenie dopadajú priamo do oblasti genitálií (obrázok 6).

Vplyv rádiofrekvenčného žiarenia (RFR) z

V pilotnej štúdii in vitro bola hodnotená účinnosť 2,4 GHz laptopovej antény na ľudských spermiách. Desať vzoriek spermií bolo získaných od darcov vo veku 20 až 30 rokov. Motilita spermií sa medzi exponovanými a neexponovanými vzorkami významne líšil. Mnohé rezy spermií sú ovplyvnené rádiofrekvenčným žiarením (RFR).[54,55]Ľudská spermatogenéza (zodpovedná za vývoj spermií) je závislá od teploty a jej teplota je o 1 °C – 2 °C nižšia ako je teplota telesného jadra. Ak sa teplota zvýši v porovnaní so skrotálnou hypertermiou, naruší sa intratestikulárna oxidačná rovnováha, čo vedie k oxidačnému stresu, bunkovej smrti a poškodeniu integrity DNA spermií.[56]

Na svete je viac ako 700 miliónov predplatiteľov mobilných telefónov.[57]Analógové telefóny sa používali na frekvencii od 450 do 900 MHz. Telefóny tretej generácie pracujú na frekvencii približne 2 000 MHz, zatiaľ čo digitálne telefóny (známe aj ako GSM) pracujú na frekvencii od 850 do 1 900 MHz. Výkon

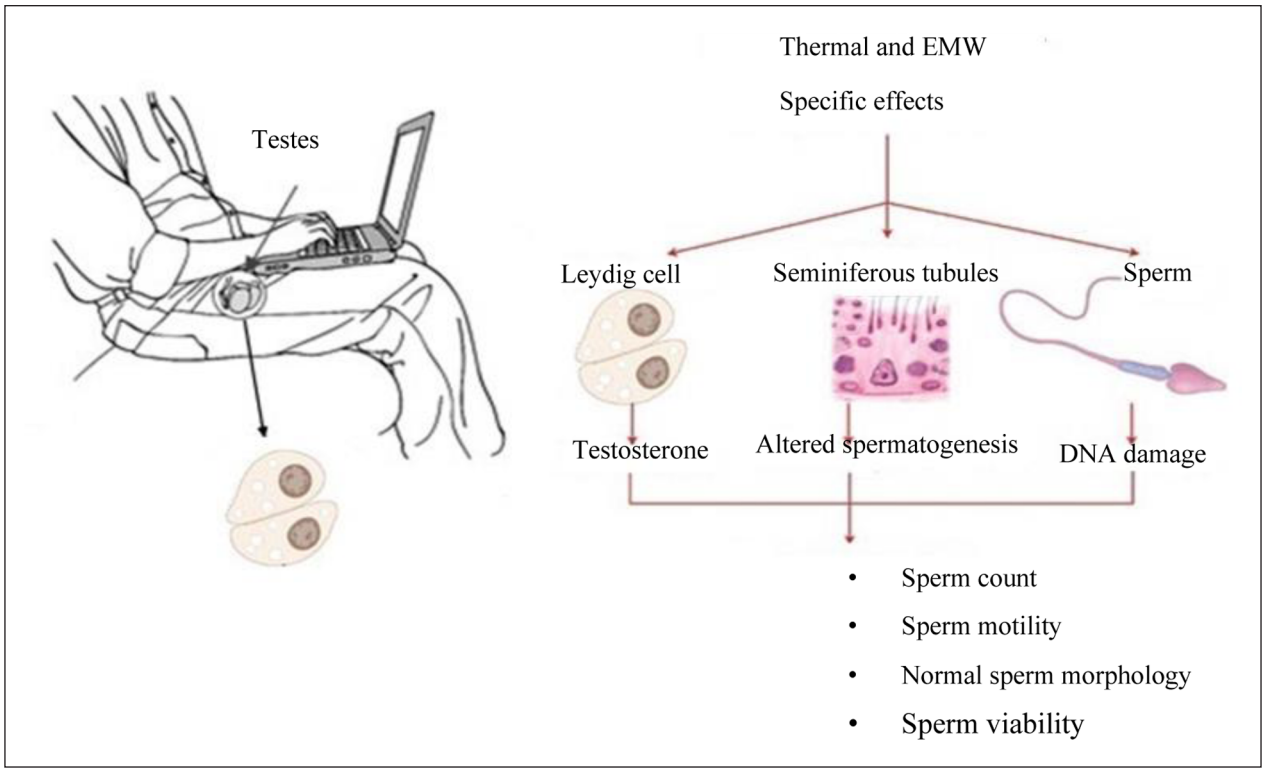


Obrázok 5. Faktory ovplyvňujúce počet ľudských spermií.[62]

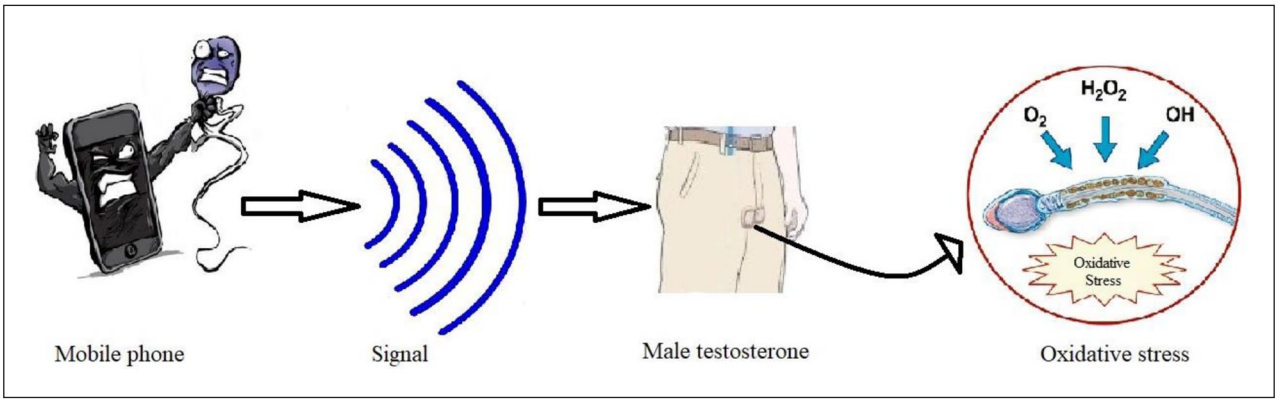
Hustota hovorov počas prvých 5 minút hovorov z mobilného telefónu je často vyššia ako hustota ostatných hovorov.[58]Podľa prieskumu vykonaného v rôznych nemocniciach v Pakistane 97 % lekárov uviedlo, že rozsiahle používanie mobilných zariadení má negatívny vplyv na ľudské zdravie a iba 3 % neuviedlo žiadne zdravotné účinky.[59]Analýza spermií používateľov mobilných telefónov ukázala, že žiarenie z mobilných telefónov spôsobuje oxidačný stres, ktorý znižuje pohyblivosť a životaschopnosť spermií (obrázok 7). Je dôležité poznamenať, že veľa mužov si pri používaní Bluetooth necháva mobilné telefóny vo vreckách nohavíc. Táto metóda vystavuje semenníky vyšším úrovniam žiarenia z mobilného telefónu ako telefón v pohotovostnom režime.[60,61]

Aby sa predišlo týmto problémom, ľudia by sa mali chrániť pred týmto toxickým žiarením. Na zabezpečenie elektromagnetického tienenia je potrebné použiť tienené tkaniny.

*Dôležitosť tienenia (EMI).*Elektromagnetické tienenie je nevyhnutné na zabránenie nežiaducemu rušeniu žiarením. V elektronických zariadeniach a systémoch môže elektromagnetické rušenie (EMI) narušiť fungovanie komponentov, čo vedie k poruchám. Integrita signálu je v komunikačných systémoch kritická a elektromagnetické tienenie pomáha ju udržiavať znížením vplyvu vonkajšieho elektromagnetického šumu. Obmedzením elektromagnetických polí v rámci tieneného



Obrázok 6. Vplyv elektromagnetických vĺn (EMW) na semenníky.[36]

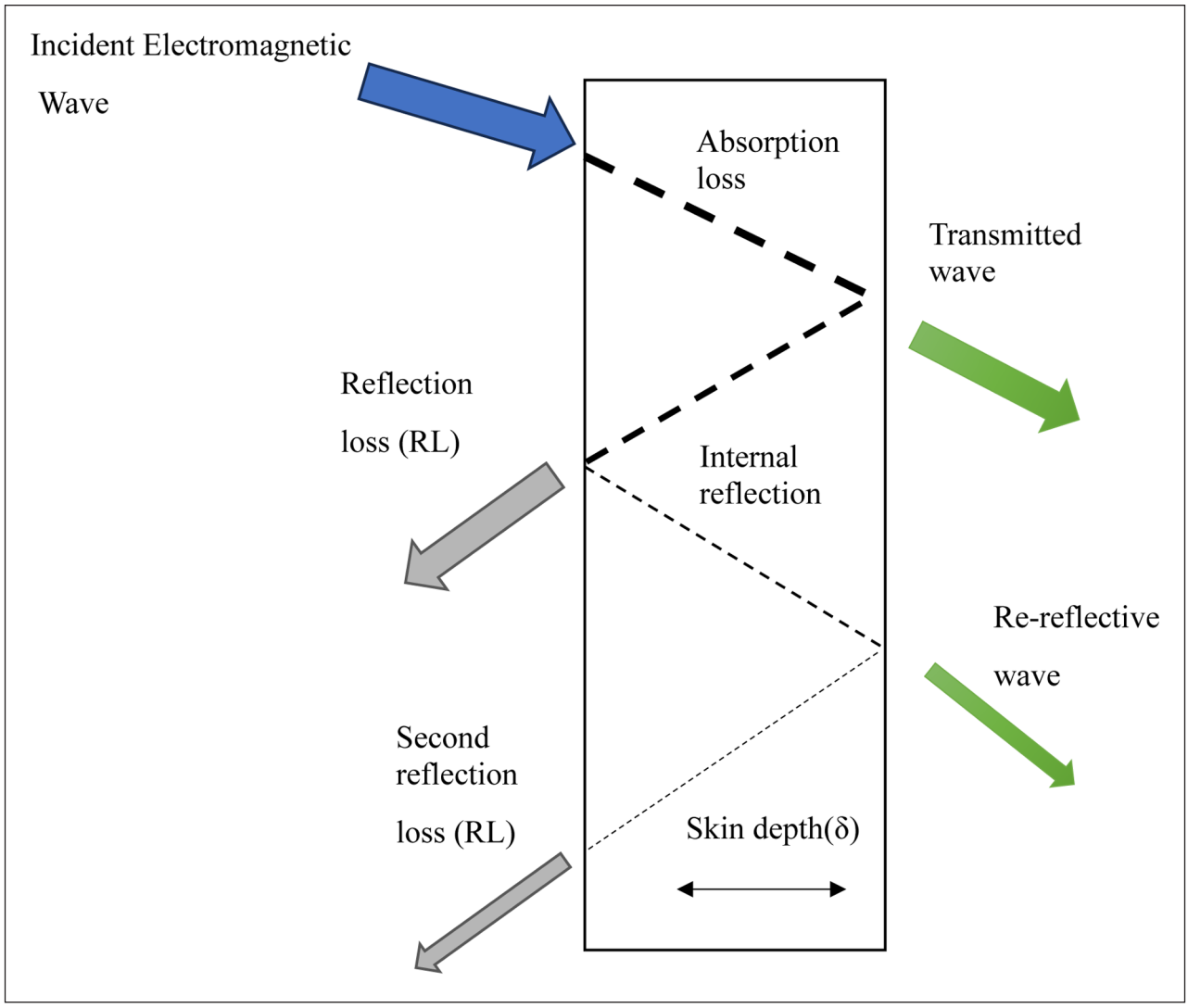


Obrázok 7. Používanie mobilných telefónov vytvára oxidačný stres.[18,59,62]

V tejto oblasti je minimalizované presluchovanie. Tienenie tiež zaisťuje bezpečné prostredie tým, že chráni jednotlivcov pred nadmerným vystavením elektromagnetickému žiareniu. Okrem toho je nevyhnutné chrániť citlivé informácie pred zachytením alebo manipuláciou s externými elektromagnetickými zdrojmi. Vo vedeckom a lekárskom prostredí sa elektromagnetické tienenie používa na udržanie presnosti a spoľahlivosti meraní a experimentov. V leteckom a obrannom priemysle je nevyhnutné správne fungovanie elektronických zariadení v náročnom elektromagnetickom prostredí. Chráni tiež ženy pred škodlivými účinkami elektromagnetického žiarenia, ako už bolo spomenuté.

Mechanizmus tienenia elektromagnetického rušenia (EMI). Elektromagnetické tienenie je proces barikádovania elektromagnetického žiarenia. Keď vlna interaguje s materiálom, prechádza dvoma primárnymi mechanizmami: odrazom alebo absorpciou. Pri odraze je vlna presmerovaná späť do vonkajšieho prostredia. Po absorpcii sa objavia dva možné výsledky: prenos cez materiál alebo výskyt viacnásobného odrazu vedúceho k útlmu vlny.[63]

Pravdepodobnosť odrazu vlny pri náraze na materiál je ovplyvnená impedanciou a indexom odrazivosti materiálu. Výrazný nesúlad impedancie zvyšuje



Obrázok 8. Mechanizmus tienenia elektromagnetického rušenia.

pravdepodobnosť odrazu. Keď sa index odrazu materiálu výrazne líši od indexu okolitého média (iného materiálu), je pravdepodobnejšie, že dôjde k odrazu. Na atómovej úrovni, keď elektromagnetická vlna interaguje s materiálom, spôsobuje pohyb elektrónov, čím vytvára sekundárne vlny, ktoré interferujú s dopadajúcou vlnou, čo nakoniec vedie k odrazu. Druhým mechanizmom je absorpcia, keď je vlna absorbovaná materiálom, znamená to, že energia z vlny je absorbovaná elektrónmi v materiáli. To môže spôsobiť, že elektróny sa presunú na vyššie energetické hladiny, čo vedie k účinkom, ako je zvýšenie teploty materiálu. Rozptylový efekt a nehomogenita v materiáli spôsobili mechanizmus viacnásobných odrazov. [64,65]

*Parametre účinnosti tienenia elektromagnetického rušenia.*Dopadajúca elektromagnetická vlna (E_{Ja}) môže reflexia skúseností E_R(odraz od materiálu; obrázok 8). Prípadne môže materiálom preniknúť. Ak dôjde k prenikaniu, vlna prechádza absorpciou E_{Aa} následný prenos E_T, objasnené rovnicou (1). Celková účinnosť elektromagnetického tienenia (SE_T) sa vypočíta ako súčet absorpcie (SE_A), odraz (SE_R) a viacnásobný vnútorný odraz ($SE)_{PÁN}$), ako je znázornené v rovnici (2).

$$V_1 = \sum V_R + \sum V_A + \sum V_T \quad (1)$$

Vlny vznikajúce v každej fáze mechanizmov odrazu a prenosu môžu vyvolať konštruktívne a deštruktívne interferencie.[66]Účinnosť tienenia v dôsledku absorpcie sa vypočíta pomocou rovnice (3). Účinnosť tienenia v dôsledku odrazu sa vypočíta z rovnice 4.[67]

$$JV = JV_R + JV_A + JV_{PÁN}$$

$$SE_A \quad 10\log_{10}\left(\frac{1 - |S11|_2}{|S21|_2}\right) \qquad (3)$$

$$SE_R \quad 10\log_{10}\frac{1}{1 - |S11|_2}$$

Tu, $S_{.11}$ zobrazuje stratu výkonu na porte 1 v dôsledku prítomnosti koeficientu odrazu povrchu na porte 1. S_{21} je strata výkonu na porte 2 v dôsledku straty prenosu povrchu na porte 1. Keď SE_A>10 dB, potom SE_M zanedbané a juhovýchod$_{spolu}$ je definované ako rovnica (5).

$$SE_{spolu} = SE_R + JV_A \qquad (5)$$

V ideálnom stave, kde materiál vykazuje dokonalú symetriu a veľkosť a hrany vzorky sú hladké, je možné S-parametre pozostávajúce z odrazu, absorpcie a priepustnosti presne definovať pomocou rovníc (6)–(8).

$$R = |S11|_2 = |S22|_2$$

$$T = |S12|_2 = |S22|_2$$

$$A1RT \qquad (8)$$

* Tu R = koeficient odrazu, T = koeficient prenosu, A = celková absorpcia EM vĺn materiálom.

Strata odrazu

Strata odrazom je definovaná ako pokles intenzity alebo amplitúdy vlny, keď narazí na hranicu medzi dvoma rôznymi médiami. Veľkosť straty odrazom je ovplyvnená faktormi, ako je prispôsobenie impedancie, meranie frekvencie, hrúbka materiálu a koncentrácia tieniaceho materiálu. Čím menší je rozdiel impedancie medzi dvoma médiami, tým nižšia bude strata odrazom. Pri vyšších frekvenciách sa strata odrazom zníži. Okrem toho, hrubšie materiály povedú k väčšej strate odrazom. Navyše, čím väčšie je množstvo tieniaceho materiálu, tým vyššia bude strata odrazom.

RL je odrazová strata materiálu meraná v decibeloch (dB) podľa rovnice (9).

$$RL = 20\log |S11|$$

Tu: $S11 = \sqrt{Skutočná\ časť(S11)_2 + Imaginárna\ časť(S11)_2}$

Viacnásobný odraz

Viacnásobné odrazy sú výsledkom odrazu na rôznych povrchoch tieniaceho materiálu v dôsledku jeho veľkej povrchovej plochy, (2) a pórovitú štruktúru. Jeho mechanizmus je definovaný ako odrazená vlna z druhej hranice, ktorá je presmerovaná na prvú hranicu tenkým tieniacim materiálom, kde sa niekoľkokrát odráža predtým, ako sa vráti na druhú hranicu. Tieto viacnásobné odrazy možno ignorovať v dvoch prípadoch, keď je hrúbka materiálu väčšia ako hĺbka povrchovej vrstvy, alebo (4) keď hodnota SE_A>10 dB. Viacnásobný odraz (SE_M) je uvedený v rovnici (10).

$$SE_M = 20\log(1 - e^{-2t/\delta}) \qquad (10)$$

Tu „t“ je hrúbka tieniaceho materiálu v mm, *hĺbka pokožky v mm*.

Mechanizmus straty absorpcie

Strata absorpcie sa vzťahuje na zníženie elektromagnetickej energie, ku ktorému dochádza, keď tieniaci materiál absorbuje a rozptyľuje dopadajúce elektromagnetické vlny. Amplitúda elektromagnetickej vlny exponenciálne klesá pri jej prechode cez tienené médium. Je to preto, že prúd vytvorený v médiu spôsobuje ohmické straty a zahrievanie materiálu. (6) v dôsledku straty absorpcie. Absorbancia sa môže merať v percentách (%) a maximálna hodnota absorbancie- (7) Účinnosť pre akýkoľvek materiál sa vypočíta z rovnice (11).

$$SE_A \quad 20 Prihlásiť\ sa\ [\ ^{t}\ ] \qquad (11)$$

Tu „t“ je hrúbka tieniaceho materiálu v mm, *hĺbka pokožky v mm*.

Hĺbka pokožky

Virtuálna vzdialenosť, ktorú vlna prejde v štruktúre vodivého materiálu predtým, ako sa rozpadne faktorom (1/e 0,37 %) od svojej hodnoty na povrchu (rovnica (12)).

$$1/\sqrt{\ } f \qquad (12)$$

Kde frekvencia (f), magnetická permeabilita (μ) = $\mu_o \mu_r$, μ_r *je relatívna magnetická permeabilita*, $_o$ 4 10^{7} Hm^{-1}, ( ) je elektrická vodivosť vΩ^{-1}m^{-166} Preto so zvyšujúcou sa vodivosťou alebo priepustnosťou materiálu a frekvenciou dopadajúcich vĺn sa znižuje hĺbka povrchovej vrstvy tienenia. Tento parameter pomáha určiť absorpciu a odraz elektromagnetického žiarenia. Pri vyšších frekvenciách je efekt hĺbky povrchovej vrstvy menej výrazný. (9) vyhlásené, čo naznačuje, že elektromagnetické tienenie je viac sústredené na povrchu materiálu.

Elektrická vodivosť a tangens strát

Elektricky vodivé materiály slúžia ako nízkoimpedančné dráhy pre tok elektrického prúdu. Použitie vodivých materiálov využíva skin efekt, čím sa zabezpečuje

že podstatná časť elektromagnetickej energie zostáva obmedzená na povrchu materiálu. To umožňuje efektívnejší odraz alebo absorpciu elektromagnetickej vlny. Vďaka inherentnej elektrickej vodivosti môžu vodivé materiály absorbovať elektromagnetickú energiu. Elektrická vodivosť vzorky tkaniny sa vypočíta pomocou rovnice (13).

$$2 \quad _0 \qquad (13)$$

Kde f je nameraná frekvencia v Hz, ε_0 je permitivita voľného priestoru (ε_o=8,854×10^{-12}F/m) a je imaginárnou časťou permitivity. Vodivosť sa meria v Simonoch na centimeter (S/cm).

Tangens strát

Tangens strát sa vypočíta podľa rovnice (14)

$$\text{Tangens strát (tan)} \quad — \qquad (14)$$

Tu je imaginárna časť permitivity a je reálna časť permitivity. Tangens strát je pomer, takže nemá jednotky.[68,69]

Techniky merania EMI tienenia. Štyri najčastejšie používané techniky na meranie elektromagnetického tienenia.

- Metóda otvoreného poľa
- Metóda tienenej skrinky
- Metóda tienenej miestnosti
- Metóda koaxiálnej prenosovej sondy

Obrázok 9 znázorňuje metódu otvoreného poľa. Vzorka je umiestnená medzi vysielacou a prijímacou anténou. Vysielacia anténa vysiela známy elektromagnetický signál, zvyčajne na špecifickej frekvencii. Prijímacia anténa je umiestnená 30 m na druhej strane vzorky, aby sa zmeral vysielaný signál. Metóda otvoreného poľa poskytuje relatívne jednoduchú a praktickú metódu na vyhodnotenie účinnosti tienenia materiálov v reálnych podmienkach.

Obrázok 10 znázorňuje metódu tienenej skrinky. Pri tomto prístupe je vzorka umiestnená na stene tienenej skrinky vedľa prijímacej antény, zatiaľ čo vysielacia anténa je umiestnená mimo skrinky. Intenzita prenášaného žiarenia sa meria po prechode materiálom. Nevýhodou tejto metódy je však obmedzený frekvenčný rozsah 500 MHz.

Obrázok 11 znázorňuje metódu tienenej miestnosti, čo je technika používaná na hodnotenie účinnosti elektromagnetického tienenia materiálov v uzavretom priestore. Táto metóda zvyčajne zahŕňa použitie tienenej miestnosti alebo komory na vytvorenie kontrolovaného prostredia pre testovanie. v ktorom sú generátor signálu, vysielacia anténa, prijímacia anténa a záznamník izolované v samostatnej miestnosti.

Metóda koaxiálnej prenosovej sondy využíva na analýzu údajov prenosové a prijímacie koaxiálne káble, kovový držiak a vektorový sieťový analyzátor. Obrázok 12 znázorňuje, že vektorový sieťový analyzátor zaznamenáva intenzitu elektromagnetického žiarenia vysielaného a prijímaného v širokom frekvenčnom rozsahu. Na rozdiel od antén, koaxiálne sondy generujú elektromagnetické žiarenie s nízkymi stratami v širokom frekvenčnom spektre. Výsledky sú odvodené vo forme parametrov rozptylu, ktoré zahŕňajú prepustené, odrazené a absorbované vlny, ktoré sa vypočítavajú pomocou špecifického vzorca.[73]

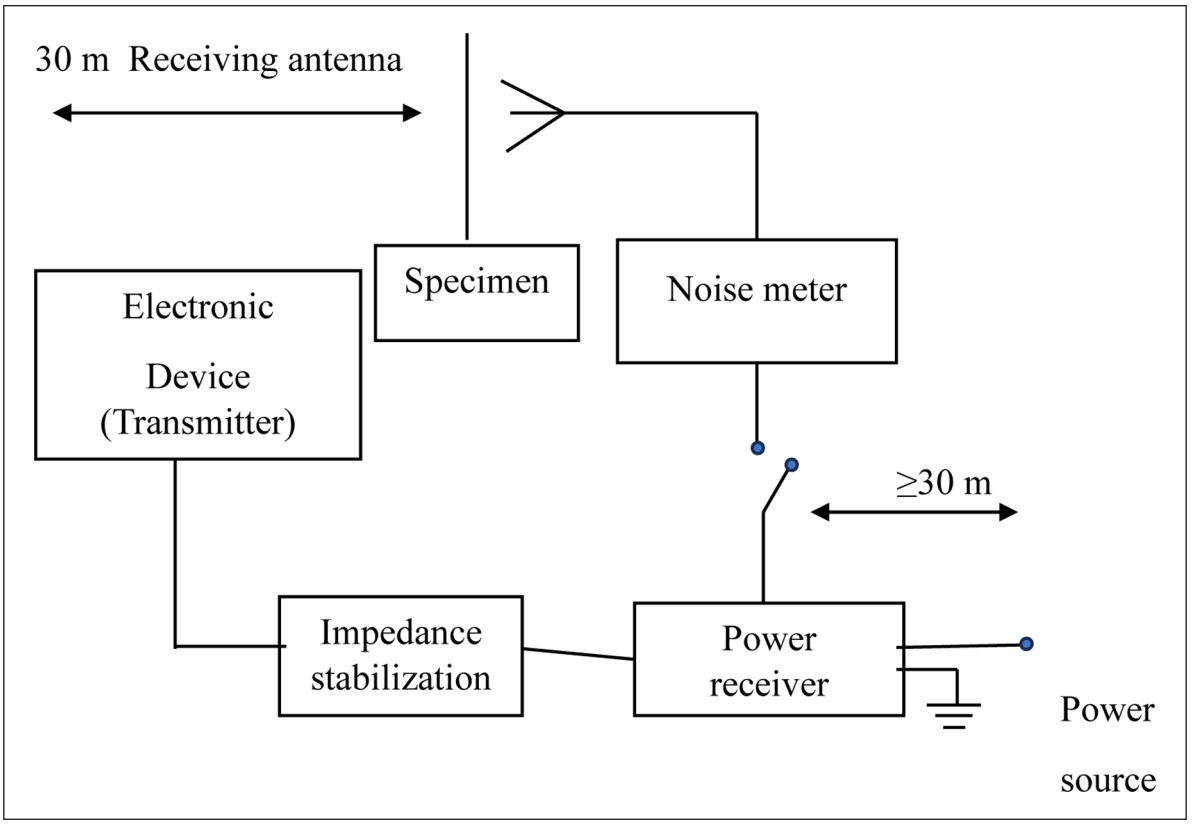
Prehľad literatúry

Elektromagnetické žiarenie je všadeprítomné a môže u ľudí spôsobiť ochorenia (kožné alergie, rakovinu, nádory atď.).[74] Kovy, vodivé polyméry a vodivo potiahnuté materiály-rialy patria medzi materiály, ktoré môžu chrániť ľudí z elektromagnetického žiarenia (EMR).[75] Ich použitie v textilnom priemysle však účinne chráni ľudské telo pred elektromagnetickým žiarením, ktoré môže mať škodlivé účinky na ľudské zdravie.

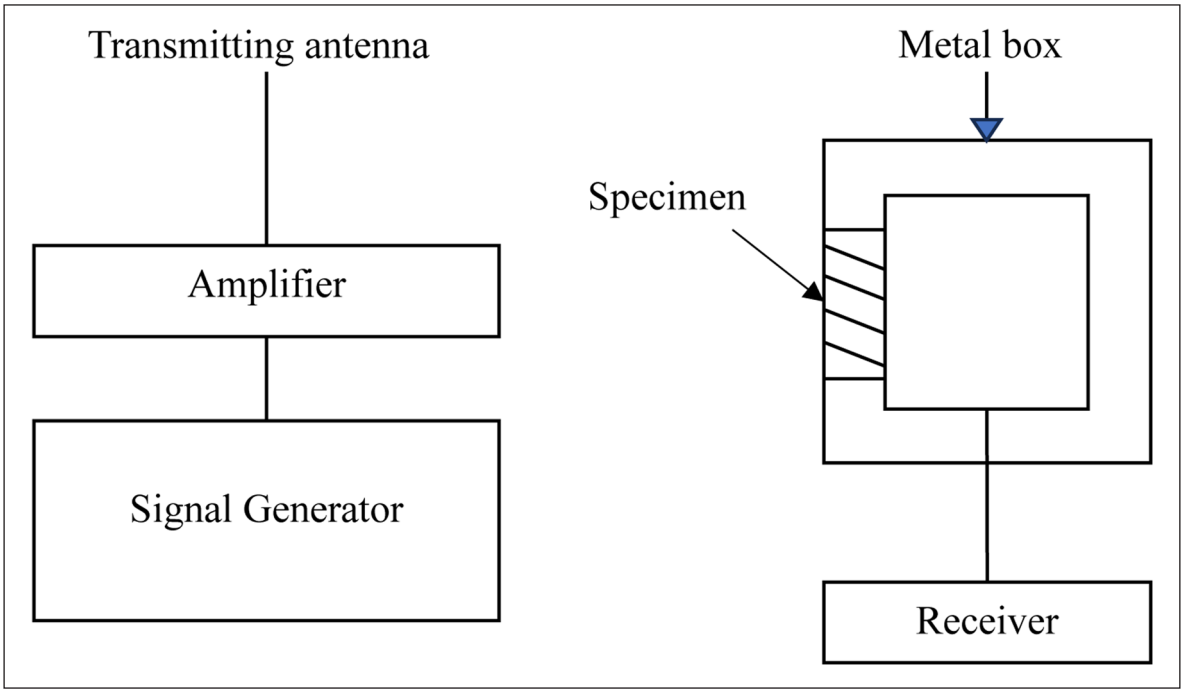
Nositeľné tienené materiály by mali byť flexibilné, ľahké, pohodlné, ľahko prenosné a lacné. Existuje mnoho tieniacich materiálov vrátane polymérnych fólií, kompozitov, materiálov na báze kovov a textílií. Tienené výrobky na báze textílií sú flexibilné, priedušné atď. Textilné tkaniny sa ďalej delia na tkané, netkané a pletené tkaniny. Pletené tkaniny sú najvhodnejšou textilnou technológiou, pretože sú lacnejšie, ľahko sa tvarujú a sú ľahké.[76] Pletené tkaniny s obsahom vodivých materiálov sa však ťažko vyrábajú, pretože pletacie ihlice sú citlivejšie na opotrebovanie v porovnaní s časťami tkáčskych strojov. Napriek tomu s náležitou odbornosťou a starostlivým nastavením parametrov spracovania možno vodivé materiály úspešne použiť pri pletení.

Materiály na tienenie EMI používané na výrobu tkanín

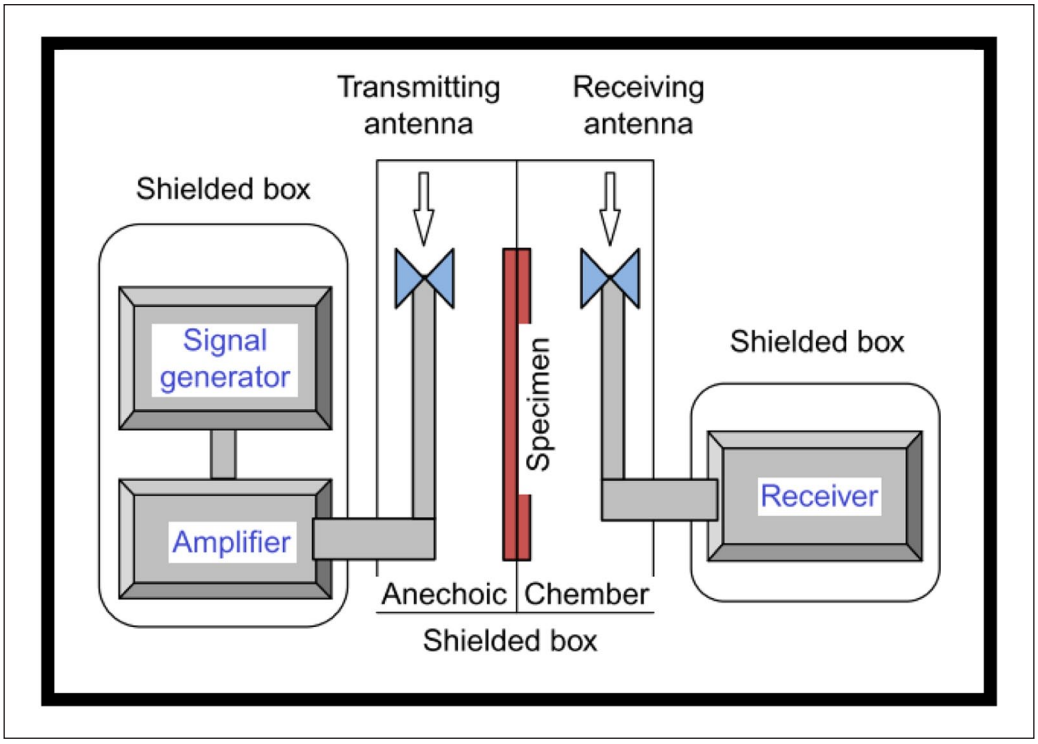
Gupta a kol. pracovali na vodivej priadi so základom jadra a plášťa. Zistili, že priadza zo 100 % nehrdzavejúcej ocele mala lepšie elektromagnetické tienenie ako priadza s 50 % nehrdzavejúcej ocele.[77] Avšak 100 % využitie kovového drôtu nie je na pletacom stroji možné, pretože spôsobuje veľké poškodenie ihiel. Selektívny pomer sa môže použiť tam, kde je na zamýšľaný účel vhodných viac ako 50 % podiel drôtu. Bedeloglu pripravil dve priadze, jednu s drôtom z nehrdzavejúcej ocele a druhú s akrylom, a dospel k záveru, že priadza na báze drôtu poskytuje elektromagnetické tienenie (40 dB pri 0,31 GHz) v porovnaní s jednoduchou akrylovou priadzou. Tkaniny s drôtmi z nehrdzavejúcej ocele sa môžu použiť na...



Obrázok 9. Schéma čiary tienenia v otvorenom poli na meranie tienenia elektromagnetického rušenia.[70]



Obrázok 10.Čiarový diagram metódy tienenej skrinky na meranie tienenia elektromagnetického rušenia.[71]



Obrázok 11. Schéma čiary metódy tienenej miestnosti na meranie tienenia elektromagnetického rušenia.[72]

Obrázok 12. Metóda koaxiálnej prenosovej sondy [EpsiMu].

ochranné, bezpečnostné a vojenské aplikácie, ktoré ponúkajú flexibilitu aj pohodlie.[78]Je však potrebné preskúmať miešanie prírodnej priadze s vodivou priadzou vo vhodnom pomere. Zmiešaná priadza by mala byť štruktúrovaná tak, aby zabezpečila pevné uchytenie vodivých vlákien v priadzi, pretože uvoľnené vlákna môžu potenciálne poškodiť elektronické obvody stroja. Lin a kol. vytvorili priadzu z nehrdzavejúcej ocele, polyesteru a bambusového uhlia, omotanú...

6,5 otáčok/cm. Dospeli k záveru, že viac laminačných vrstiev zlepšuje účinnosť elektromagnetického tienenia (EMSE). Použitie drôtov z nehrdzavejúcej ocele s priemerom 0,04 mm zvyšuje priepustnosť vzduchu, ale znižuje tuhosť v porovnaní s drôtmi s priemerom 0,08 mm.[79]Drôt s menším priemerom však uľahčuje výrobu vzoriek látky. Cheng a kol. dospeli k záveru, že pletená látka poskytuje elektromagnetické tienenie (EMSE) úspešnejšie, najmä pri použití vodivého plniva s vyšším obsahom nehrdzavejúcej ocele.[80]Výkon drôtu z nehrdzavejúcej ocele sa však pri vyšších frekvenciách znižuje. Drôty z nehrdzavejúcej ocele tiež poskytujú najlepšie výsledky z hľadiska tienenia.[78, 81–87]Kayacan dospel k záveru, že konštrukcie s väčším množstvom nehrdzavejúcej ocele majú vyššie hodnoty elektromagnetického tienenia (EMSE).[88]Literatúra však ukazuje, že je použiteľná iba pre elektromagnetické žiarenie v nízkofrekvenčnom rozsahu.[89]

Pletené tkaniny boli vytvorené s použitím drôtov z nehrdzavejúcej ocele a medi na ručnom pletacom stroji s plochou vrstvou. Tkaniny s dvojvrstvovými drôtmi vykazovali lepšie elektromagnetické tienenie.[90]Ich plošná hustota sa však zvýši a vyšší obsah drôtu tiež zvýši cenu konečného produktu.[91]Meď sa tiež považuje za vhodný materiál na tienenie.[92,93]Bola vyrobená medená/bavlnená priadza s jadrom pradeným z medenej bavlny a ako jadrové komponenty boli použité medené drôty rôznych priemerov (0,06, 0,07 a 0,08 mm). Plná milánska a 1×Jednorebrové pleteniny boli pripravené na strojovom rozchode (8, 10 a 12 na

Výsledky ukázali, že elektromagnetické tienenie ťažšej a hrubšej tkaniny bolo výrazne väčšie ako tienenie ľahšej tkaniny.[94]Avšak pri nižších frekvenciách je útlmová kapacita medi nižšia v porovnaní s nehrdzavejúcou oceľou.[95]Na vývoj priadze bol použitý medený drôt potiahnutý bavlnou s priemermi 0,1, 0,11 a 0,12 mm. Spomedzi hladkých, rebrovaných a prepletených štruktúr vykazovala prepletená štruktúra najvyššie elektromagnetické tienenie. Okrem toho, zväčšenie priemeru medeného drôtu vedie k zníženiu hodnoty elektromagnetického tienenia.[96]To však neplatí pre všetky vodivé materiály; zvyšujúca sa hrúbka medi znižuje útlmovú kapacitu, pretože meď má slabé magnetické tieniace vlastnosti.

Pamuk a kol. študovali elektromagnetické tieniace schopnosti tkanín vyrobených výlučne z uhlíka. Tieto tkaniny na báze uhlíka preukázali najlepší tieniaci výkon pri rôznych frekvenciách.[97]Uhlík má však najvyššiu tendenciu absorbovať prichádzajúce žiarenie, ale nemôže sa použiť priamo na ľudskú pokožku kvôli jeho potenciálu spôsobiť kožné alergie a jeho vysokej cene.[98]Uhlíkové vlákno sa vo všeobecnosti používa pre lepšie vlastnosti absorpcie mikrovlnného žiarenia.[99 100]Bola pripravená kompozitná priadza zložená z uhlíka a nehrdzavejúcej ocele. Elektromagnetické tienenie bolo testované v jednej a viacerých vrstvách, pričom sa ukázalo, že uhlík aj nehrdzavejúca oceľ prispievajú k zníženiu elektromagnetického rušenia. Tieniaci účinok sa tiež zvyšoval s počtom vrstiev pletenín.[101]
Elektromagnetické rušenie sa však vo všeobecnosti znižuje so zvyšujúcim sa počtom vrstiev. Ak je prítomný uhlík, jeho schopnosť absorbovať žiarenie sa zlepšuje, takže zväčšenie hrúbky ďalej zvyšuje absorpciu žiarenia.

Tkanina pletená z polyamidu a striebrom potiahnutej nite dobre blokuje elektromagnetické vlny medzi 0,8 a 2,4 GHz. Aj po 20-násobnom praní a čistení zostáva schopnosť tkaniny tieniť elektromagnetické vlny rovnaká.[102]
Strieborný povlak sa dnes široko používa v aplikáciách, ktoré vyžadujú elektromagnetické tienenie. Strieborný povlak poskytuje lepšie elektromagnetické tienenie v porovnaní s meďou a nehrdzavejúcou oceľou.[14]
Nanesenie vodivého materiálu na povrch je však jednoduchá metóda na tlmenie elektromagnetického žiarenia, ale jej účinnosť je obmedzená na niekoľko umytí. Hlavnou nevýhodou je zníženie výkonu v priebehu času.

Lin a kol. vyrobili pleteninu z ovinutých priadzí z nehrdzavejúcej ocele (SS)/polyesteru (PET)/bambusového uhlia (BC). Priadze boli označené ako 0,04 W a 0,08 W (0,04 a 0,08 označuje priemer drôtu z nehrdzavejúcej ocele (SS) a W označuje ovinuté priadze). Päťvrstvové pleteniny vykazovali optimálne elektromagnetické tienenie (EMSE) −30 až −50 dB pri frekvencii 2 250 MHz.[79]Počet vrstiev zvýšil hodnotu elektromagnetického tienenia (EMSE).[103]Vo viacvrstvových tkaninách mala postupnosť vrstvenia vplyv aj na účinnosť elektromagnetického tienenia (EMSE).[104]Yu a kol. odporúčali dvojvrstvová vodivá tkanina na ochranu jednotlivca pred elektromagnetickým (EM) žiarením.[105]Rôzne uhly vrstvenia zmenili účinnosť tienenia.[106]Taylor a kol. skúmali viacvrstvovú textíliu a dospeli k záveru, že viacvrstvové textílie s 90° intervalmi vytvárajú vyššiu úroveň elektromagnetického (EM) tienenia ako textílie s uhlami stohovania 0° a 45°.[107]
Výskumníci dospeli k záveru, že dvojvrstvová tkanina s vrstvením pod uhlom 90° prináša dobré výsledky.[108]
Viacvrstvové tkaniny však ponúkajú vynikajúce elektromagnetické tieniace vlastnosti, ak obsahujú rôzne štruktúry a materiály. Castan a Flatau dospeli k záveru, že vodivosť pleteniny sa významne mení, keď sa zvyšuje percento vodivej priadze.[109 110]Hrúbka a množstvo vodivých drôtov pomáhajú zvýšiť účinnosť elektromagnetického tienenia (EMSE).[111]Ceken a Ozkurt použili vo svojich pletených štruktúrach dvojvrstvový medený drôt. Dvojvrstvová medená drôtená tkanina účinne tienila v nízkofrekvenčných a stredných frekvenčných pásmach.[90 112]Pri vyšších frekvenciách prinášajú drôty s menším priemerom a pletené štruktúry významné výsledky.[113]Medený drôt však nie je vhodný na tienenie proti nízkofrekvenčnému elektromagnetickému žiareniu a v takýchto prípadoch sú aj náklady na konečný produkt vysoké.

Vplyv pletených štruktúr na účinnosť elektromagnetického tienenia

Súhrn útkových pletenín na použitie v tienení elektromagnetického rušenia je uvedený v tabuľke 5. Pletené tkaniny majú tiež schopnosť účinne tieniť elektromagnetické vlny.[114]Jediný kužeľ sa dá použiť na výrobu pletených textílií a vďaka vlastnostiam odtrhávania sa od posledného konca sa preslávil aj ako lekársky senzor v porovnaní s tkanými látkami.[115 116]
Pletené tkaniny sa však predtým kvôli svojej pórovitej štruktúre nepoužívali na tienenie elektromagnetického rušenia. Vďaka pokroku je teraz možné kontrolovať veľkosť otvorov a tlmiť elektromagnetické žiarenie.

Účinnosť tienenia elektromagnetického rušenia závisí od viacerých faktorov a kľúčovým prispievateľom je štruktúra pleteniny.[117]Dvojité džersejové štruktúry majú lepšiu hodnotu elektromagnetického tienenia (EMSE) ako jednoduché džersejové tkaniny.[96 118]Je to však spôsobené zvýšeným pomerom vodivého materiálu na jednotku plochy, nie hrúbkou materiálu. Kayacan ukázal, že interlocková tkanina ponúka po vypraní vyššie elektromagnetické tienenie (EMSE) ako hladké pleteniny, najmä v nižších frekvenčných rozsahoch.[88 119]Prepletená štruktúra má však slučky umiestnené priamo oproti sebe, takže keď žiarenie dopadá na prepletenú tkaninu, je oslabené v dôsledku viacnásobných vnútorných odrazov. Abdulla a kol. skúmali rôzne dvojité pletené štruktúry. Zistili, že tkanina Milano odvodená z rebra má lepšie elektromagnetické tienenie (EMSE). Je to vďaka schopnosti priadze tvoriť slučku na prednej strane...

Tabuľka 5.Útkové pletené štruktúry pre elektromagnetické tienenie.

Pletená štruktúra	Textilný materiál	Tieniaci materiál	Dosiahnuté maximálne tienenie	Skúmaná premenná	Referencia
Jednoduchý dres	Bambus	Nerezová oceľ, uhlie	30 dB pri 2012 – 2318 MHz (Absorpcia)	Jednoduchá konštrukcia s rôznym uhlom stohovacia sekvencia	Hwang a kol.[110]
Dvojité pique / Lacoste pletená štruktúra	Bavlna	Cu/PAC	34 dB pri 1160 MHz / 40 dB pri 1175 MHz	Rôzne štruktúry s rôznymi priadzami	Taylor a kol.[122]
Dvojitý dres (Miláno rebro)	Bavlna	Medený a strieborný drôt	20 dB pri 1,7–2,6 GHz	Rôzne pletené štruktúry	Abdulla a kol.[120]
Dvojitý úplet Interlock	Elastomérna priadza	Kobalt a nehrdzavejúca oceľ priadze (hybridné).	Priemerne 19 dB, medzi frekvencia 1160 a 1660 MHz	Pranie pletenej štruktúry	Kajakán[88]
Pique pletená štruktúra	Bavlna	Siro spriadané s kovovým jadrom	5 dB pri 0,25 GHz	Prítomnosť zastrčených stehov	Ortlek a kol.[81]
Interlock pletený štruktúra	Bavlna	Nerezová oceľ, meď, zlato	> 60 dB. pre profesionálne použitie	Rôzny ochranný materiál	Sancak a kol.[111]
Dvojitá tvár pique	Bavlna, polyester	10 % kovových vlákien (nehrdzavejúca oceľ)	30 dB. Frekvencia 4 Hz	Konštantné percento kovovej priadze	Šafárová a Militký[125]
Jednoduché pletené úplety	Bavlna	Nehrdzavejúca oceľ, Cooper	22 dB pri 1–5 GHz	Jedna štruktúra s viacerými priadzami	Tezel a kol.[73]
Blokovacie a jednoduché dres	Bavlna/polyester	Bavlna a polyester	0,9 dB pri 1,5 GHz	Rôzna pletená štruktúra	Palanisamy a kol.[134]
Jednoduchá džersejová tkanina	-	Drôty z nehrdzavejúcej ocele a medi zabudované v štruktúre	30 dB pri 1550 MHz	Rôzne hladké pletené štruktúry	Ceken a Özkurt[90]
Polovica milánskeho rebrovaného	Bavlna	Nerezová oceľ	45 dB pri 0,25 GHz 46 – 63 dB	Rôzne pletené štruktúry	Tunaková a kol.[108]
pleteného interlocku	Bavlna	Meď v jadre priadze	pri 750 – 1 000 MHz	Hladká, rebrovaná a prepletená štruktúra, tesnosť faktor	Perumalraj a Dasaradan[96]
Rebro a jeho deriváty 1×1,2×1,2×1	Čadič	Nerezová oceľ/polyester vyrobené	20–22 dB pri 750–3000 MHz	Obyčajné a rebrové deriváty	Cheng a kol.[80]
Jednoduchý pletený	Akryl	Nerezová oceľ	25 dB pri 2640 MHz 18–21 dB	Rôzna pletená štruktúra	Ceken a kol.[126]
V 1. lay×1 Rebrovaný úplet	Bavlna	Použitie medeného drôtu	pri 180–300 MHz	Rôzne štruktúry výkonov na rôzna frekvencia	Taylor a kol.[117]
Dvojito pletená trubica	Bavlna	Hybridná priadza z ocele a medi	1710 – 1785 MHz	Jednoduchý úplet a dvojitý úplet	Ciesielska-Wróbel a Grabowská[114]
Celý milánsky úplet	Bavlna	Meď	39 dB pri 0,63 GHz 20 – 40	Rebrovaný a milano a hladký úplet	Hamed a kol.[94]
Jednoduchý pletený	Bavlna	Medený drôt	dB pri 27 – 300 MHz	Rôzne kurzy a hustota wale a priemer drôtu	Soyaslan[112]
Pletené pletené	Bambus, polyester	Bambusové uhlie, polyester, drôt z nehrdzavejúcej ocele	- 5 dB pri 3000 kHz až 3 GHz	Jednoduché a pletené ponožky na žakárovej tkanine stroj na ponožky	Yu a kol.[128]
Hladký úplet a 1×1 rebro pliesť	Bavlna	Pletená priadza s nano strieborným povlakom	30 dBm pri 500 – 1 000 MHz	Hladké a rebrované s rôznymi kalibrami 5 a 7 stroj	Kumar a kol.[133]
Jednoduchý džersej a pletený dres	Bavlna	Medený drôt s postriebreným povlakom	40 dB pri 30 – 250 MHz	Jednodielny dres a deriváty s antimikrobiálne vlastnosti	Rajendrakumar a Thilagavathi[127]

látka a priadza, ktorá rozdeľuje túto slučku na stred na jej rubovej strane. V dôsledku toho sa póry na povrchu zúžili a látka v určitých rubových častiach zhrubla. To pomáha pri absorpcii a odraze dopadajúcich vĺn.[120]Vyrobená štruktúra však nedokáže zabezpečiť tienenie elektromagnetického rušenia z oboch strán tkaniny.

Prítomnosť pletených stehov, najmä zmeškaných stehov, pomáha dosiahnuť lepšie výsledky pri tienení. Je to preto, že zmeškané pletené stehy zmenšujú šírku látky.[90, 94, 121]Látky so záhybovými stehmi majú tiež tendenciu zachytávať prichádzajúce vlny. Taylor a kol. ukázali, že lepší výkon látky Lacoste možno pripísať priečnej orientácii záhybových stehov.[122]Veľký otvor (sieťovina) však nemôže lepšie fungovať pri tienení elektromagnetického rušenia. V tkaninách na báze sieťoviny by mali byť hranice otvorov vodivé.[123]Veľkosť otvorov siete a počet otvorov v sieti mali vplyv na účinnosť tienenia (SE).[124]Pórovitá pletená štruktúra s nízkym objemom sa považuje za ideálnu pre konečné použitie elektromagnetického tienenia.[125]Porézna pletenina s nízkym objemom sa však dosiahla nanesením vodivého povlaku.

Techniky konštrukcie počas tvorby pleteniny tiež ovplyvňujú účinnosť tienenia. Ceken a kol. dospeli k záveru, že dosiahnutie sľubných výsledkov je možné s jednoduchým úpletom pri pohľade z rubovej strany. Je to preto, že oblúk na rubovej strane jednoduchého úpletu zakrýva otvory na slučky, čím sa zmenšuje ich veľkosť a zužuje ich zozadu.[126] Zúženie otvorov však nie je účinnou metódou na tlmenie žiarenia. Ak sú otvory zvnútra vodivé, budú fungovať lepšie ako len s úzkymi otvormi.

Rajendrakumar a Thilagavathi uviedli, že v prípade pletenín poskytla technika „pokovovania" lepšie výsledky elektromagnetického tienenia v porovnaní s inými derivátmi jednoduchého džerseja.[127]Keď však boli pokovované pleteniny premenené na viacvrstvové, ich tieniaca účinnosť proti elektromagnetickému rušeniu bola podobná ako u iných viacvrstvových tkanín s dvojitým džersejom.[128]Parametre pletenia sú základným faktorom pre lepšie výsledky tienenia.[129] Tkanina vyrobená s kratšou dĺžkou slučky mala vyššie výsledky tienenia elektromagnetického rušenia. Vodivosti pletenín pozdĺž prierezu a pozdĺž prierezu boli odlišné a vodivosť pozdĺž prierezu bola výrazne väčšia ako priečna (poprierezová) elektrická vodivosť.[130] Je to však spôsobené väčším počtom prekrytí priadze v smere nite v porovnaní so smerom nite v pletenej štruktúre.

Mohamed a kol. vytvorili senzor dýchania s použitím rôznych pomerov vodivých priadzí a rôznych parametrov pletenia. Zistili, že jednoduchá džersejová tkanina, ktorá mala menej vodivých priadzí a vyšší počet nite (NW), najlepšie fungoval ako senzor dychu.[131]Pletená tkanina s kovovým povlakom tiež priniesla dobré výsledky elektromagnetického tienenia, ktoré možno použiť v nízkonákladových aplikáciách ako náhradu za kovové drôty.[132]Kumar a kol. použili nano strieborný povlak na pleteniny. Všetky pletené vzorky vykazovali vynikajúce hodnoty EMSE pri 500 a 800 MHz (EMSE nad 90 %) a vynikajúcu hodnotu pri 1 000 MHz (EMSE nad 70 %).[133] Tieto povlaky však ľahko oxidujú, preto nie sú vhodné na dlhodobé použitie.[125]

Záver

Elektromagnetické žiarenie je v prostredí neustále prítomné a jeho intenzita sa zvýšila s rozsiahlou inštaláciou zariadení pripojených k Wi-Fi. Každý človek je vystavený elektromagnetickému žiareniu, ktoré má škodlivé účinky na organizmus. Na trhu existuje mnoho produktov, ktoré chránia ľudí a zariadenia pred týmito vlnami, ale neustále nosenie týchto produktov je nepraktické. Existuje niekoľko potiahnutých materiálov, ktoré ponúkajú ochranu pred elektromagnetickým žiarením; časom sa však degradujú v dôsledku oxidácie a odlupovania po použití alebo umytí. Dlhodobé vystavenie takémuto žiareniu sa spája s nepriaznivými účinkami na ľudské zdravie aj životné prostredie. Deti sú obzvlášť zraniteľné, pretože ich vyvíjajúce sa orgány sú citlivejšie na žiarenie. Medzi hlásené zdravotné problémy patrí depresia, úzkosť, bolesti hlavy, strata koncentrácie a zvýšené riziko rakoviny.

Na ochranu pred elektromagnetickým žiarením existujú rôzne metódy; niektoré sú však nákladné, zatiaľ čo iné blokujú signály do takej miery, že znemožňujú používanie elektronických zariadení. Väčšina tohto žiarenia spadá do nízkofrekvenčného rozsahu, ktorý sa bežne používa na komunikáciu. Preto je jedným z najpraktickejších a najúčinnejších riešení tienenie ľudského tela pomocou oblečenia určeného na tlmenie elektromagnetického žiarenia.

Dve najbežnejšie metódy používané na výrobu tkania sú tkanie a pletenie. Pletené tkaniny ponúkajú výhody, ako je roztažnosť, priedušnosť, nákladová efektívnosť a používajú sa na spodnú bielizeň. Súčasné pletené štruktúry nie sú dostatočné na minimalizáciu vplyvu elektromagnetického žiarenia. Komfortné vlastnosti rôznych materiálov súvisiace s EMS sú nedostatočné. Nie je dostatok publikovaných prác, ktoré by sa zaoberali charakteristikami EMS a komfortnými vlastnosťami pletených tkanín. Kombinácia vhodných vodivých látok a pletených štruktúr výrazne zlepší účinnosť tienenia EMI.

Rozsah tejto recenzie bol obmedzený na literatúru o vodivých pleteninách určených na elektromagnetické tienenie v nízkofrekvenčnom rozsahu. Konkrétne sa dôraz kladie na ochranu rádiových a mikrovlnných vĺn, vzhľadom na ich rozsiahle využitie v komunikácii. Toto je obzvlášť dôležité, pretože moderné zariadenia, ako sú notebooky a mobilné telefóny...

Telefóny sa vo veľkej miere spoliehajú na toto nízkofrekvenčné elektromagnetické žiarenie.

Kritická analýza a budúce smerovanie

Literatúra potvrdzuje potenciálne využitie vodivých pletenín v oblasti tienenia elektromagnetického žiarenia. Pletené tkaniny sú obzvlášť vhodné pre odevy priliehajúce k pokožke vďaka svojej štrukturálnej integrite a pohodliu. Zatiaľ čo dvojité džersejové štruktúry vykazujú vynikajúci tieniaci výkon, bývajú ťažšie. Naproti tomu jednoduché džersejové štruktúry sú ľahšie a flexibilnejšie, čo z nich robí praktickejšiu voľbu. Keďže však jednoduché džersejové tkaniny majú výrazne odlišný predný a zadný povrch, ich účinnosť elektromagnetického tienenia sa medzi oboma stranami líši. Preto je potrebná špecializovaná štruktúra, ktorá je ľahká a vykazuje podobné vlastnosti na oboch stranách, aby sa zabezpečil konzistentný tieniaci výkon.

Vo výskume a aplikácii vodivých pletenín existuje značná medzera. Tieto tkaniny majú potenciál znížiť frekvenciu a intenzitu žiarenia vyžarovaného elektronickými zariadeniami. Jeden sľubný prístup zahŕňa použitie špecializovaných priadzí pozostávajúcich z vodivého jadra a plášťa vyrobeného z vlákien, ktoré sú kompatibilné s ľudskou pokožkou. Okrem toho je možné navrhnúť žakárové pletené štruktúry špeciálne pre účinné tlmenie žiarenia. Vývoj nákladovo efektívnych pletenín na báze drôtu tiež predstavuje schodné riešenie pre aplikácie elektromagnetického tienenia.

ORCID iD

Usman Ahmed https://orcid.org/0000-0002-9388-2553

Príspevky autorov

Usman Ahmed: Napísal hlavný rukopis. Hafiza Bushra Fayyaz: Identifikovala a rozpracovala medicínske problémy súvisiace s nízkofrekvenčným elektromagnetickým žiarením. Naeem Ullah: Vybral vhodné obrázky pre výskumnú prácu. Tanveer Hussain: Skontroloval celý rukopis a poskytol usmernenia na jeho zlepšenie. Shehbaz Ahmad: Zostavil a naformátoval údaje do tabuliek. Muhammad Sajjad Khan: Vytvoril obrázky a obrázky v súlade s požiadavkami časopisov.

Financovanie

Autori nedostali žiadnu finančnú podporu na výskum, napísanie a/alebo publikovanie tohto článku.

Vyhlásenie o konflikte záujmov

Autori neuvádzajú žiadne potenciálne konflikty záujmov v súvislosti s výskumom, autorstvom a/alebo publikovaním tohto článku.

Vyhlásenie o dostupnosti údajov

Údaje sú k dispozícii na osobitnú žiadosť.*

Referencie

1. David JS (ed.). *Technológia pletenia* 3. vydanie. Technomic Publishing Co. Limited, 2013. http://www.nber.org/papers/w16019
2. Šarma A. *Analýza veľkosti, podielu a trendov trhu s pleteným tovarom podľa typu materiálu (prírodný, syntetický, zmesový), podľa kategórie (muži, ženy, deti), podľa konečného použitia (spodné oblečenie, vrchné oblečenie, športové oblečenie), podľa distribučného kanála (v predajniach, mimo predajní) a podľa regiónu (Severná Amerika, Európa, Ázia a Tichomorie, Blízky východ a Afrika, Latinská Amerika), prognózy, 2025 – 2033* Straitsresearch, 2025; 1.
3. Pakistanský štatistický úrad. Výročná analytická správa o štatistikách zahraničného obchodu Pakistanu za finančné roky 2021 – 2022, https://www.pbs.gov.pk/sites/default/files/external_trade/Annual_Analyt ical_Report_On_External_Trade_Statistics_Of_Pakistan_2021-22.pdf (2023).
4. Pritha NM, Maliha M a Swati SS. Dopad pandémie Covid-19 a obdobia po pandémii Covid-19 na priemysel pletených a tkaných odevov v Bangladéši. *Medzinárodná textová veda* 2023; 2: 27–36.
5. Republikánska strana. Predbežné vydanie štatistík zahraničného obchodu, https://www.pbs.gov.pk/sites/default/files/external_trade/monthly_external_trade/2022/may-2022/Release_Statement_May_2022.pdf (2022).
6. ITC. *Štatistika podnikania T pre medzinárodné* Obchodná mapa. ITC, 2024; 2.
7. Au KF (ed.). *Pokroky v technológii pletenia* 1. vydanie. Woodhead Publishing Limited, 2011.
8. David JS (ed.). *Technológia pletenia* 3. vydanie. Technomic publishing co. limited, 2001. https://www.sciencedirect.com/book/9781855733336/knitting-technology
9. Ray SC (ed.). *Základy a pokroky v technológii pletenia* 3. vydanie. Woodhead Publishing Limited, 2012.
10. Vigneswaran C a Kandhavadivu P. Vývoj elektromagneticky tieniacich nositeľných elektronických textílií s použitím vodivých tkanín s jadrom. *Medzinárodná vedecká a inžinierska aplikácia* 2013; 7560: 65–69.
11. Hours M, Khati I a Hamelin J. Interferencia medzi aktívnymi implantovanými zdravotníckymi pomôckami a zariadeniami vyžarujúcimi elektromagnetické pole je zriedkavá, ale reálna: výsledky incidenčnej štúdie v populácii lekárov vo Francúzsku. *TEMPO - Klinika elektrofyziológie stimulácie* 2014; 37: 290–296.
12. Gherardini L, Ciuti G, Tognarelli S a kol. Hľadanie dokonalej vlny: vplyv rádiofrekvenčných elektromagnetických polí na bunky. *Medzinárodný časopis molárnych vied* 2014; 15: 5366–5387.
13. Leskowitz E. Energia skupinového tranzu: nový výskum, aplikácie a dôsledky. *Energetická psychológia J.* 2014; 6: 34–43.
14. Safdar F, Ashraf M, Javid A a kol. Polymérne materiály na tienie elektromagnetického rušenia na báze textílií, ich syntéza, mechanizmus a aplikácie – prehľad. *J Ind Text* 2022; 51: 7293S–7358S.
15. Bhattacharjee P. Základy elektromagnetických vĺn. *Medzinárodný vedecký výskum (JVVV)* 2022; 7: 143–148.
16. Manickavasagan A a Jayasuriya H. *Zobrazovanie s elektromagnetickým spektrom. prvá úprava* Springer, 2014.
17. Luis F a Moncayo G (editori). *Elektromagnetická teória pre mikrovlny a optoelektroniku* 2. vydanie. Springer, 1998.
18. Kesari KK, Agarwal A a Henkel R. Žiarenie a mužská plodnosť. *Reprod Biol Endocrinol* 2018; 16: 118–216.

19. Kumar V, Vats RP a Pathak PP. Škodlivé účinky žiarenia s frekvenciou 41 a 202 MHz na niektoré časti tela a tkanivá. *Indický časopis biochemickej biofyziky*2008; 45: 269–274.

20. Abdel-Rassoul G, El-Fateh OA, Salem MA a kol. Neurobehaviorálne účinky u obyvateľov v okolí základňových staníc mobilných telefónov.*Neurotoxikol*2007; 28: 434–440.

21. Eger H a Jahn M. Špecifické zdravotné príznaky a žiarenie z mobilných telefónov v Selbitzi (Bavorsko, Nemecko) – dôkaz vzťahu medzi dávkou a reakciou. deutsche zusammenfassung.*Elektromagnetické polia*2010; 23: 1–20.

22. Durusoy R, Hassoy H, Özkurt A a kol. Používanie mobilných telefónov, úrovne elektromagnetického poľa v školách a súvisiace príznaky: prierezový prieskum medzi 2150 študentmi stredných škôl v Izmire. *Environmentálne zdravie*2017; 16: 1–14.

23. Mortazavi SM, Ahmadi J a Shariati M. Prevalencia subjektívnych symptómov zhoršeného zdravotného stavu spojených s vystavením elektromagnetickým poliam medzi vysokoškolskými študentmi. *Bioelektromagnetika*2007; 28: 326–330.

24. Bortkiewicz A, Gadzicka E, Szymczak W a kol. Zmeny teploty bubienka počas vystavenia elektromagnetickým poliam vyžarovaným mobilným telefónom.*Int J Occup Med Environment Health*2012; 25: 145–150.

25. Thomée S, Eklöf M, Gustafsson E a kol. Prevalencia vnímaného stresu, symptómov depresie a porúch spánku vo vzťahu k používaniu informačných a komunikačných technológií (IKT) u mladých dospelých – exploratívna prospektívna štúdia.*Výpočtové ľudské správanie*2007; 23: 1300–1321.

26. Johnson Liakouris AG. Rádiofrekvenčná (RF) choroba v štúdii Lilienfeld: účinok modulovaných mikrovĺn? *Arch Environment Health*2010; 53: 236–238.

27. Akdag MZ a Dasdag S. Hodnotenie psychologických parametrov u ľudí vystavených rádiofrekvenciám a mikrovlnnému žiareniu v práci.*Biotechnologické biotechnologické vybavenie* 2014; 8(4): 71–74. https://doi.org/10.1080/13102818.199 4.10818812

28. Pall ML. Mikrovlnné frekvenčné elektromagnetické polia (EMF) spôsobujú rozsiahle neuropsychiatrické účinky vrátane depresie.*J Chem Neuroanat*2016; 75: 43–51.

29. Repacholi MH. Nízkoúrovňové vystavenie rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam: zdravotné účinky a potreby výskumu. *Bioelektromagnetika*1998; 19: 1–19.

30. KTO.*Kritériá environmentálneho zdravia 137 (elektromagnetické polia 300 Hz až 300 GHz)*WHO. Epub pred tlačou 1993: 3.

31. Söderqvist F, Carlberg M, Hansson Mild K a kol. Expozícia signálu podobnému mobilnému telefónu s frekvenciou 890 MHz a sérové hladiny S100B a transtyretínu u dobrovoľníkov.*Toxicol Letter* 2009; 189: 63–66.

32. Fritzer G, Göder R, Friege L a kol. Účinky krátkodobých a dlhodobých pulzných rádiofrekvenčných elektromagnetických polí na nočný spánok a kognitívne funkcie u zdravých jedincov.*Bioelektromagnetika*2007; 28: 316-325. https://doi. org/10.1002/bem.20301

33. Sale AJH. Prehľad mikrovlnných rúr na spracovanie potravín. *Medzinárodný potravinársky vedecký a technologický časopis*1976; 11: 319–329.

34. Aldhaeebi MA, Alzoubi K, Almoneef TS a kol. Prehľad mikrovlnných techník na detekciu rakoviny prsníka. *Senzory*2020; 20: 1–38.

35. Rosen A, Stuchly MA a Vorst AV. Aplikácie mikrovĺn v medicíne.*Časopis o propagácii antén IEEE* 2005; 47: 106–107.

36. Fejes I, Závaczki Z, Szöllősi J, et al. Existuje vzťah medzi používaním mobilného telefónu a kvalitou spermy?*Arch Androl* 2005; 51: 385–393.

37. Aitken RJ, Bennetts LE, Sawyer D a kol. Vplyv rádiofrekvenčného elektromagnetického žiarenia na integritu DNA v samčej zárodočnej línii.*Medzinárodný J. Androl*2005; 28: 171–179.

38. Erogul O, Oztas E, Yildirim I a kol. Účinky elektromagnetického žiarenia z mobilného telefónu na pohyblivosť ľudských spermií: štúdia in vitro.*Arch Med Res* 2006; 37: 840–843.

39. Avendaño C, Mata A, Sanchez Sarmiento CA a kol. Používanie prenosných počítačov pripojených na internet prostredníctvom Wi-Fi znižuje pohyblivosť ľudských spermií a zvyšuje fragmentáciu DNA spermií.*Fertil Steril*2012; 97: 39–45.e2.

40. Okechukwu CE. Ovplyvňuje používanie mobilného telefónu mužskú plodnosť.*J Hum Reprod Sci*2020; 13: 174–183.

41. Foster KR a Moulder JE. Prehľadová práca Wi-Fi a zdravie: prehľad súčasného stavu výskumu.*Liečiť fyzickú spoločnosť*2013; 105: 561–575.

42. Peyman A, Khalid M, Calderon C a kol. Posúdenie vystavenia elektromagnetickým poliam z bezdrôtových počítačových sietí (Wi-Fi) v školách; výsledky laboratórnych meraní. *Zdravotná fyzika*2011; 100: 594–612.

43. Khurana VG, Teo C, Kundi M a kol. Mobilné telefóny a mozgové nádory: prehľad zahŕňajúci dlhodobé epidemiologické údaje.*Surg Neurol*2009; 72: 205–214.

44. Hardell L, Carlberg M a Hansson K. Epidemiologické dôkazy o súvislosti medzi používaním bezdrôtových telefónov a nádorovými ochoreniami.*Patofyziológia*2009; 16: 113–122.

45. Goldsmith JR a Goldsmith J. Epidemiologické dôkazy o účinkoch rádiofrekvenčného žiarenia (mikrovlnného žiarenia) na zdravie vo vojenskom vysielaní a okupácii.*Int J Occup Environment Health*2013; 3525: 47–57. https://doi.org/10.1179/oeh. 1995.1.1.47

46. Hossmann KA a Hermann DM. Účinky elektromagnetického žiarenia mobilných telefónov na centrálny nervový systém. *Bioelektromagnetika*2003; 24: 49–62.

47. Yakymenko I. a Sidorik E. Riziká karcinogenézy z elektromagnetického žiarenia mobilných telefónnych zariadení. *Exp Oncol*2010; 32: 54–60.

48. Kundi M a Hutter H. Základňové stanice mobilných telefónov – vplyv na pohodu a zdravie.*Patofyziológia* 2009; 16: 123–135.

49. Fischbein A, Zabludovsky N, Eltes F a kol. Ultramorfologické charakteristiky spermií pri hodnotení rizika zdravotných účinkov po ožiarení u záchranárov v Černobyle.*Perspektíva environmentálneho zdravia*1997; 105: 1445–1449.

50. Xu G, Intano GW, McCarrey JR a kol. Obnova nízkej frekvencie mutantov po mutagenéze indukovanej ionizujúcim žiarením počas spermatogenézy.*Mutagén Mutat Res Genet Toxicol Environ*2008; 654: 150–157.

51. Boivin J, Bunting L, Collins JA a kol. Medzinárodné odhady prevalencie neplodnosti a vyhľadávania liečby: potenciálna potreba a dopyt po lekárskej starostlivosti.*Hum Reprod* 2009; 24: 2380–2383.

52. Kuroda S, Usui K, Sanjo H a kol. Genetické poruchy a mužská neplodnosť. *Reprod Med Biol* 2020; 19: 314–322.
53. Bak CW, Seok HH, Song S a kol. Hormonálna nerovnováha a psychologické jazvy, ktoré zanechávajú neplodní muži. *J. Androl* 2012; 33: 181–189.
54. Oni OM, Amuda DB a Gilbert CE. Účinky rádiofrekvenčného žiarenia z wifi zariadení na ľudské ejakulované spermie. *IJRRAS* 2011; 9: 292–294.
55. Mortazavi SAR, Taeb S, Mortazavi SMJ a kol. Základné dôvody, prečo by sa notebooky nemali používať na kolenách. *J Biomed Phys Eng* 2016; 6: 279–284.
56. Saikhun J, Kitiyanant Y, Vanadurongwan V, a kol. Účinky sauny na charakteristiky pohybu spermií u normálnych mužov merané počítačovou analýzou spermií. *Medzinárodný J. Androl* 1998; 21: 358–363.
57. Agarwal A, Deepinder F, Sharma RK a kol. Vplyv používania mobilného telefónu na analýzu spermií u mužov navštevujúcich kliniku neplodnosti: observačná štúdia. *Fertil Steril* 2008; 89: 124–128. https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2007.01.166
58. Usikalu MR a Akinyemi ML. Monitorovanie rádiofrekvenčného žiarenia z vybraných mobilných telefónov. *J Appl Sci Res* 2007; 3: 1701–1704.
59. Ak S, Rsa L, Gz M a kol. Vplyv nadmerného používania mobilných telefónov na človeka. *J Comput Sci Syst Biol* 2016; 09: 173–177. https://doi.org/10.4172/jcsb.1000235
60. Agarwal A, Desai NR, Makker K a kol. Účinky rádiofrekvenčných elektromagnetických vĺn (RF-EMW) z mobilných telefónov na ľudské ejakulované spermie: pilotná štúdia in vitro. *Fertil Steril* 2009; 92: 1318–1325.
61. Srinivas Belur Veerachari SV. Elektromagnetické vlny mobilných telefónov a ich vplyv na ľudské ejakulované spermie: štúdia in vitro. *Int J Infertil Fetal Med* 2012; 3: 15–21.
62. Kumar N a Singh AK. Vplyv environmentálnych faktorov na kvalitu ľudských spermií a mužskú plodnosť: naratívna recenzia. *Environ Sci Eur* 2022; 34: 1–13. https://doi.org/10.1186/s12302-021-00585-w
63. Zhang L, Bi S a Liu M. Ľahké materiály na tienenie elektromagnetického rušenia a ich mechanizmy. In: Han MG (ed.) *Elektromagnetické materiály a zariadenia* Intechopen. 2020, s. 1–20.
64. Chung DDL. Účinnosť tienenia elektromagnetického rušenia uhlíkovými materiálmi. *Carbon NY* 2001; 39: 279–285.
65. Khan SUD, Arora M, Wahab MA a kol. Výskumy permitivity a elektromagnetického tienenia akrylových náterových zmesí s aktívnym uhlím. *J Polym* 2014; 2014: 1–7.
66. González M, Pozuelo J a Baselga J. Elektromagnetické tieniace materiály v rozsahu GHz. *Chemická rekonštrukcia* 2018; 18: 1000–1009.
67. Ahmad HS, Hussain T, Nawab Y a kol. Vplyv dielektrických a magnetických nanoplnív na účinnosť tienenia elektromagnetického rušenia uhlíkovo-epoxidovými kompozitmi. *J Compos Mater* 2022; 56: 69–82.
68. Afilipoaei C a Teodorescu-Draghicescu H. Prehľad účinnosti elektromagnetického tienenia kompozitných materiálov. *Viacodborová digitálna publikácia Inšt* 2020; 63: 23.
69. Saini P a AroraM. Mikrovlnná absorpcia a správanie nanokompozitov pri elektromagnetickom tienení na základe vnútorne vodivé polyméry, grafén a uhlíkové nanotrubice. In: De Souza Gomes A (ed.) *Nové polyméry pre špeciálne aplikácie* IntechOpen, 2012; 71–112. https://www.intechopen.com/books/3043
70. Wang XY, Liao SY, Wan YJ a kol. Materiály na tienie elektromagnetického rušenia: nedávny pokrok, návrh konštrukcie a perspektíva do budúcnosti. *J Mater Chem C* 2022; 10: 44–72.
71. Geetha S, Satheesh Kumar KK, Rao CRK a kol. Tienenie EMI: Metódy a materiály – prehľad. *Časopis pre aplikované polymérne vedy* 2009; 112: 2073–2086.
72. Kondawar SB a Modak PR. Teória tienenia EMI. In: Joseph K, Wilson R a George G (eds.) *Materiály pre potenciálne aplikácie tienenia EMI* Elsevier Inc., 2020, s. 9–25.
73. Tezel S, Kavuşturan Y, Vandenbosch GA a kol. Porovnanie účinnosti elektromagnetického tienenia vodivých jednovrstvových tkanín s koaxiálnym prenosovým vedením a technikami merania voľného priestoru. *Text Res J* 2014; 84: 461–476.
74. Batool S, Bibi A, Frezza F a kol. Výhody a riziká elektromagnetických vĺn, telekomunikácie, fyzikálne a biomedicínske: prehľad. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2019; 23: 3121–3128.
75. Su CI a Chern JT. Vplyv tkanín obsahujúcich nehrdzavejúcu oceľ na účinnosť elektromagnetického tienenia. *Text Res J* 2004; 74: 51–54. https://doi.org/10.1177/004051750407400109
76. Aquino MS, Holanda SM, Santos TF a kol. Analýza vlastností polymérnych pletenín pre použitie v telekomunikačných zariadeniach. *Vlákna Polym* 2019; 20: 2348–2354.
77. Gupta KK, Abbas SM a Abhyankar AC. Ultraľahká hybridná tkanina s obsahom kompozitnej priadze z nehrdzavejúcej ocele/polyesteru pre úplné tienenie EMI vo frekvenčnom rozsahu 8 – 18 GHz. *J Elektromagnetické vlny Aplikácia* 2015; 29: 1454–1472.
78. Bedeloglu A. Skúmanie elektrických, elektromagnetických tieniacich a úžitkových vlastností tkaných textílií vyrobených z rôznych hybridných priadzí obsahujúcich drôty z nehrdzavejúcej ocele. *J Text Inst* 2013; 104: 1359–1373. https://doi.org/10.1080/00405000.2013.806049
79. Lin JH, Jhang JC, Lin TA a kol. Výrobné techniky, mechanické vlastnosti, emisivita diaľkového infračerveného žiarenia a účinnosť elektromagnetického tienenia úpletov z nehrdzavejúcej ocele/polyesteru/bambusu s aktívnym uhlím. *Vlákna Polym* 2017; 18: 597–604.
80. Cheng KB, Hsiao C a Road E. Výroba a účinnosť elektromagnetického tienenia pletených tkanín z nehrdzavejúcej ocele/polyesteru. *J Textilné inžinierstvo* 2000; 46: 42–52.
81. Ortlek HG, Alpyildiz T a Kilic G. Stanovenie elektromagnetického tienenia hybridných pletenín z priadze metódou bezodrazovej komory. *Text Res J* 2013; 83: 90–99.
82. Gupta K. Hybridná tkaná textília na tienenie EMI. *J Fiber to Finish* 2017; 56: 26–29.
83. Lee ML. Účinnosť elektromagnetického tienenia polyesterových tkanín z nehrdzavejúcej ocele. *Text Res J* 2001; 71: 42–49.

84. Li Y, Wang X, Pan Z a kol. Analýza účinnosti tienenia v rôznych druhoch elektromagnetických tieniacich tkanín za rôznych testovacích podmienok. *Text Res J*2019; 89: 375–388. https://doi.org/10.1177/0040517517748490
85. Erdumlu N a Saricam C. Účinnosť elektromagnetického tienenia tkaných textílií obsahujúcich hybridné priadze obalené bavlnou/kovom. *J Ind Text*2016; 46: 1084–1103.
86. Özkan I a Telli A. Vplyv typu kovu, počtu vrstiev a umiestnenia hybridnej priadze na absorpčné a odrazové vlastnosti pri elektromagnetickom tienení tkaných textílií. *J Eng Fiber Fabr*2019; 14: 1–13.
87. Lin JH, Huang YT, Lin CM a kol. Proces a vlastnosti elektromagnetického tienenia funkčných osnovných pletených kompozitných tkanín. *Adv Mater Res*2011; 287–290: 712–716.
88. Kayacan Ö. Vplyv pracích procesov na elektromagnetické tienenie pletených tkanín. *Text a konfekcia*2014; 24: 356–362.
89. Ahmed U, Hussain T a Ahmad HS. Pokročilá sieťovaná pletená záclonová tkanina na tienenie elektromagnetického rušenia. *J Eng Fibers Fabr*2025; 20: 1–14. https://doi.org/10.1177/15589250251319323
90. Ceken F a Ozkurt A. Elektromagnetické tieniace vlastnosti medených a nehrdzavejúcich oceľových pletenín. *Textil* 2011; 60: 321–328.
91. Ahmed U, Hussain T a Ahmad HS. Štúdia vodivej pleteniny na báze kovu vylepšenej nanočasticami grafénu/oxidu železa a atramentu na báze kovu. *J Dispers Sci Technol*2025; 26: 4011–4020. https://doi.org/10.1007/s12221-025-01051-7
92. Perumalraj R, Dasaradan BS, Anbarasu R a kol. Účinnosť elektromagnetického tienenia tkaných medených jadrov. *J Text Inst*2009; 100: 512–524.
93. Chen HC, Lee KC, Lin JH a kol. Porovnanie vlastností účinnosti elektromagnetického tienenia rôznych vodivých textílií pomocou rôznych meracích techník. *J Mater Process Technol*2007; 192–193: 549–554.
94. Hamed MM, Saeed SN a Mohammad ES. Skúmanie účinnosti elektromagnetického tienenia medených/bavlnených plných pletenín Milano a pletenín s 11 rebrovým útkom. *J Text Inst*2018; 110: 891–900.
95. Ahmed U, Hussain T a Shehbaz Ahmad H. Nové pletené textílie na tienenie proti elektromagnetickému a tepelnému žiareniu z notebookov a mobilných telefónov. *Medzinárodný časopis pre tepelné vedy*2023; 194: 108594.
96. Perumalraj R a Dasaradan BS. Účinnosť elektromagnetického tienenia pletenín z medenej priadze. *Indický J Fibre Text Res*2009; 34: 149–154.
97. Pamuk G, Kayacan Ö, Kayacan O a kol. Účinnosť elektromagnetického tienenia tkaných textílií na báze uhlíkových priadzí. *J Ind Text*2022; 51: 1143–1160.
98. Ahmad HS, Hussain T, Nawab Y a kol. Vplyv rôznych dielektrických a magnetických nanoplnív na vlastnosti absorpcie mikrovĺn v kompozitných štruktúrach vystužených uhlíkovými vláknami. *Ceram Int*2022; 48: 19882–19890.
99. Wrobel IC, Knockaert J, Mey GD a kol. Tienenie elektromagnetických vĺn vložením vodivých ľahkých materiálov do tkaných záclon. *J Módne technológie a textilné inžinierstvo*2018; s. 4: 1–4.
100. Truhla M. Nová metóda a zariadenie na hodnotenie účinnosti elektromagnetického tienenia textílií. *Text Res J*2016; 86: 44–56. https://doi.org/10.1177/0040517515581587
101. Krishnasamy J, Ramasamy A, Das A a kol. Vplyv textilného poťahu a rozloženia pórov hybridnej tkaniny z uhlíkovej/nehrdzavejúcej ocele/polypropylénu na účinnosť elektromagnetického tienenia. *J Electron Mater*2016; 45: 3087–3100. https://doi.org/10.1007/s11664-016-4391-y
102. Pušić T, Šaravanja B a Malarić K. Elektromagnetické tieniace vlastnosti pleteniny vyrobenej z polyamidových nití potiahnutých striebrom. *Materiály*2021; 14: 12.
103. Kenan Ceven E, Ahmet Karakucuk A a Emir Dirik UY. Hodnotenie účinnosti elektromagnetického tienenia tkanín vyrobených z priadzí obsahujúcich kovový drôt pomocou mobilného meracieho systému. Hodnotenie účinnosti elektromagnetického tienenia vyrobených tkanín. *Priemyselný textil*2017; 68: 289–295. https://doi.org/10.35530/IT.068.04.1372
104. Lou CW, Liu YL, Shiu BC a kol. Príprava a hodnotenie vodivých tkaných textílií zo zmesi polyesteru, bavlny a drôtu na elektromagnetické tienenie. *J Ind Text* 2022; 51: 7104S–7118S. https://doi.org/10.1177/1528083721997184
105. Yu ZC, Yu ZC, He HL a kol. Funkčné vlastnosti a elektromagnetické tieniace správanie elastických osnovných pletenín. *Vlákna Text East Eur*2015; 23: 78–83.
106. Marciniak K, Grabowska KE, Stempień Z, et al. Tienenie elektromagnetického žiarenia viacvrstvovými textilnými súpravami. *Text Res J*2019; 89: 948–958.
107. Taylor P, Yu Z, Zhang J a kol. Stanovenie elektromagnetického tienenia a antibakteriálnych vlastností multifunkčných osnovných pletenín. *J Text Inst* 2014; 106: 37–41.
108. Tunakova V, Tunak M, Bajzik V a kol. Hybridná pletenina na tienenie elektromagnetického žiarenia. *J Eng Fiber Fabr*2020; 15: 1–9.
109. Castano LM a Flatau AB. Vplyv rôznych pletacích štruktúr vodivých priadzí na účinnosť elektromagnetického tienenia. In: *Medzinárodná konferencia o textilnom a pokročilom inžinierstve v Egejskom mori*, 2018, s. 459.
110. Hwang PW, Chen AP, Lou CW a kol. Účinnosť elektromagnetického tienenia a funkcie vodivých tkanín z nehrdzavejúcej ocele/bambusu s aktívnym uhlím. *J Ind Text* 2014; 44: 477–494.
111. Sancak E, Akalin M, Usta İ a kol. Vplyv vlastností tkaniny a vodivého drôtu na účinnosť elektromagnetického tienenia a povrchový odpor prepletených pletenín. *Vlákna Polym*2018; 19: 843–853.
112. Soyaslan DD. Skúmanie vplyvu vodivého množstva na elektromagnetické tienie pletených textílií. *Svetová textová inžinierska technológia J*2018; 4: 31–34.
113. Asghar A, Ahmad MR, Yahya MF a kol. Alternatívny prístup k návrhu vodivých hybridných krycích priadzí pre účinné elektromagnetické tieniace tkaniny. *J Ind Text*2018; 48: 38–57.
114. Ciesielska-wróbel I a Grabowska K. Odhad účinnosti tienenia EMR pletenými štruktúrami. *Vlákna Text East Eur*2012; 2: 53–60.

115. Winterhalter CA, Teverovsky J, Wilson P a kol. Vývoj elektronických textílií na podporu sietí, komunikácie a medicínskych aplikácií v budúcich systémoch ochranného odevu americkej armády. *IEEE Trans Inf Technológia Biomed* 2005; 9: 402–406.
116. Maghrabi HA, Vijayan A, Wang L a kol. Návrh bezšvových pletených odevov na ochranu pred žiarením s technológiou 3D skenovania tela. *Procedia Technol* 2015; 20: 123–132.
117. Taylor P, Soyaslan D, Çömlekçi S a kol. Stanovenie elektromagnetického tienenia hladkého pletenia a rebrových štruktúr 1X1 s koaxiálnym testovacím prípravkom podľa normy ASTM D4935. *J Text Inst* 2010; 101: 37–41.
118. Maity S, Singha K, Debnath P a kol. Textílie v ochrane pred elektromagnetickým žiarením. *J Saf Eng* 2013; 2: 11–19.
119. Abbas A, Ahmad HS, Rashid MH a kol. Tepelná charakterizácia prepojených štrukturálnych hybridizácií; de novo prístup k návrhu pre orchestrovaný výkon. *Program pre tepelnú vedu a inžinierstvo* 2023; 38: 101658.
120. Abdulla R, Delihasanlar E, Kizilcay Abdulla FG a kol. Charakterizácia elektromagnetického tienenia vodivých pletenín. *Prog Electromagnetic Res M* 2017; 56: 33–41.
121. Louris E, Sfiroera E, Priniotakis G a kol. Hodnotenie faktora ochrany pred ultrafialovým žiarením (UPF) rôznych štruktúr pletených tkanín. In: (UNIWA) Univerzita Washingtonu (ed.) *Medzinárodná konferencia o textilnom a pokročilom inžinierstve v Egejskom mori*, Mytiléna, ostrov Lesbos, Grécko, 2018, s.5.
122. Taylor P, Çeken F, Kayacan Ö a kol. Vlastnosti elektromagnetického tienenia niektorých vodivých pletenín vyrobených na jednoduchom alebo dvojitom ihlovom lôžku plochého pletacieho stroja. *J Text Inst* 2011; 103: 37–41.
123. Yin J, Ma W, Gao Z a kol. Prehľad elektromagneticky tieniacej tkaniny, tkaniny absorbujúcej vlny a tkaniny priehľadnej pre vlny. *Polyméry* 2022; 14: 1–18.
124. Xiao H, Shi MW, Wang Q a kol. Elektromagnetické tieniace a reflexné vlastnosti elektromagnetických textílií s pórmi, planárnymi periodickými jednotkami a priestorovými štruktúrami. *Text Res J* 2014; 84: 1679–1691.
125. Šafárová V. a Militky J. Ľahké a flexibilné konštrukcie na tienenie elektromagnetického rušenia – súčasný stav. In: *38. medzinárodná konferencia o telekomunikáciách a spracovaní signálov 2015, TSP* 2015, 2015, s. 257–261.
126. Ceken F, Pamuk G, Kayacan O a kol. Elektromagnetické tieniace vlastnosti hladkých pletenín obsahujúcich vodivé priadze. *J Eng Fiber Fabr* 2012; 7: 81–87.
127. Rajendrakumar K a Thilagavathi G. Štúdia o vplyve konštrukčných parametrov pletenín na báze kovového drôtu/jadra spriadanej priadze na elektromagnetické tienenie. *J Ind Text* 2013; 42: 400–416.
128. Yu Z, He H, Han Y a kol. Spracovanie a elektromagnetické tieniace vlastnosti multifunkčnej kovovej kompozitnej pleteniny používanej ako ponožky. *Webová konferencia MATEC* 2016; 67: 0–5.
129. Gokarneshan N, Varadarajan B, Sentil kumar CB a kol. Technické úplety pre všestranné technické aplikácie: niektoré poznatky o nedávnych výskumoch. *J Ind Text* 2012; 42: 52–75.
130. Zhu XY. Štúdia vodivosti osnovy a útku pleteniny odolnej voči žiareniu. *Eseje z vedeckých výskumov* 2014; 9: 407–409.
131. Mohamed AA, Ezzat M, Abdel Megeid Z a kol. Vhodnosť vodivej pleteniny na snímanie ľudského dýchania. *J Sci Res Sci* 2016; 33: 359–369.
132. Palanisamy S, Tunakova V a Militky J. Vláknité štruktúry pre elektromagnetické tienenie – porovnanie rôznych materiálov a textilných štruktúr. *Text Res J* 2018; 88: 1992–2012.
133. Kumar BG, Rosunee S a Bradshaw M. Meranie účinnosti elektromagnetického tienenia 1×1 hladké pletené látky. *Int J Oblečenie Vedecké technológie* 2017; 29: 525–538.
134. Palanisamy S, Tunakova V, Militky J a kol. Vplyv obsahu vlhkosti na elektromagnetickú tieniacu schopnosť nevodivých textilných štruktúr. *Vedecký zástupca* 2021; 11: 110.