

## Kontroverzia vzostupu využívania 5G sietí

### Controversy Surrounding the Rise in Utilization of 5G Networks

Martin Zanovit<sup>1</sup>, Martin Bereta<sup>2</sup>, Lucían Zastko<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Katedra teoretickej elektrotechniky a biomedicínskeho inžinierstva, Fakulta elektrotechniky a informačných technológií, Žilinská univerzita v Žiline, Žilina, Slovenská republika

<sup>2</sup>Katedra rádiologickej techniky, Fakulta zdravotníctva, Katolícka univerzita v Ružomberku, Ružomberok, Slovenská republika

<sup>3</sup>Katedra laboratórných vyšetrovacích metód v zdravotníctve, Fakulta zdravotníctva, Katolícka univerzita v Ružomberku, Ružomberok, Slovenská republika

<sup>4</sup>Oddelenie rádiobiológie, Ústav experimentálnej onkológie, Biomedicínske centrum Slovenskej akadémie vied, Bratislava, Slovenská republika

<https://doi.org/10.54937/zs.2023.15.1.44-48>

#### Abstrakt

Táto prehľadová štúdia sa zaoberá 5G sieťami - ich architektúrou, aplikáciami a využitím a analyzuje najnovšie štúdie opisujúce dopad 5G signálu na zdravie človeka (karcinogénny potenciál a vplyv na fertilitu u človeka v dvoch frekvenčných pásmach). Vo frekvenčnom pásme 450 – 6000 MHz bol realizovaný dostatok štúdií, čo umožňuje vyvodenie parciálnych záverov, avšak vo frekvenčnom pásme 24 – 100 GHz sa výskum nepriaznivých účinkov expozície RF EMP iba rozbieha a zatiaľ ostáva neznámou. Práca sa venuje aj analýze zavedenia nových smerníc a odporúčaní od Medzinárodnej komisie pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP).

**Kľúčové slová:** Mobilná komunikácia. 5G. Karcinogenita. Fertilita.

#### Abstract

This overview study deals with 5G networks - their architecture, applications and use and analyzes the latest studies describing the impact of 5G signal on human health (carcinogenic potential and effect on human fertility in two frequency bands). In the 450 – 6000 MHz frequency band, enough studies have been carried out to allow partial conclusions to be drawn, but in the 24 – 100 GHz frequency band, research on the adverse effects of RF EMP exposure is only beginning and remains unknown. The work also analyzes the introduction of new guidelines and recommendations from the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).

**Keywords:** Mobile communication. 5G. Carcinogenicity. Fertility.

#### Úvod

5G siete patria aktuálne do najnovších technologických progresov mobilných komunikačných sietí. Predstavujú piatu generáciu mobilnej komunikácie, ktorá so sebou nesie veľké množstvo výhod v podobe vyššej prenosovej rýchlosti, použitia prenosového systému MIMO, nižšej latencie či použitia vyšších frekvenčných rozsahov. Pri použití vyšších frekvenčných rozsahov 5G sietí je nutné brať do úvahy zvýšenú mieru expozície elektromagnetickému žiareniu, ktoré Medzinárodná agentúra pre výskum rakoviny (IARC) označila ako potencionálne karcinogénne, čo znamená, že môžu predstavovať významné zdravotné riziká pre človeka.

Aktuálnosť témy je daná narastajúcou popularitou 5G sietí z dôvodu zvyšovania kvality mobilnej komunikácie. Je potrebné predstaviť a objasniť niektoré relevantné fakty vyplývajúce z odborných štúdií, ktoré tak môžu napomôcť k preukázaniu objektívnej skutočnosti pri tak spoločensky kontroverznej téme akou sú 5G siete a ich dopad na zdravie človeka.

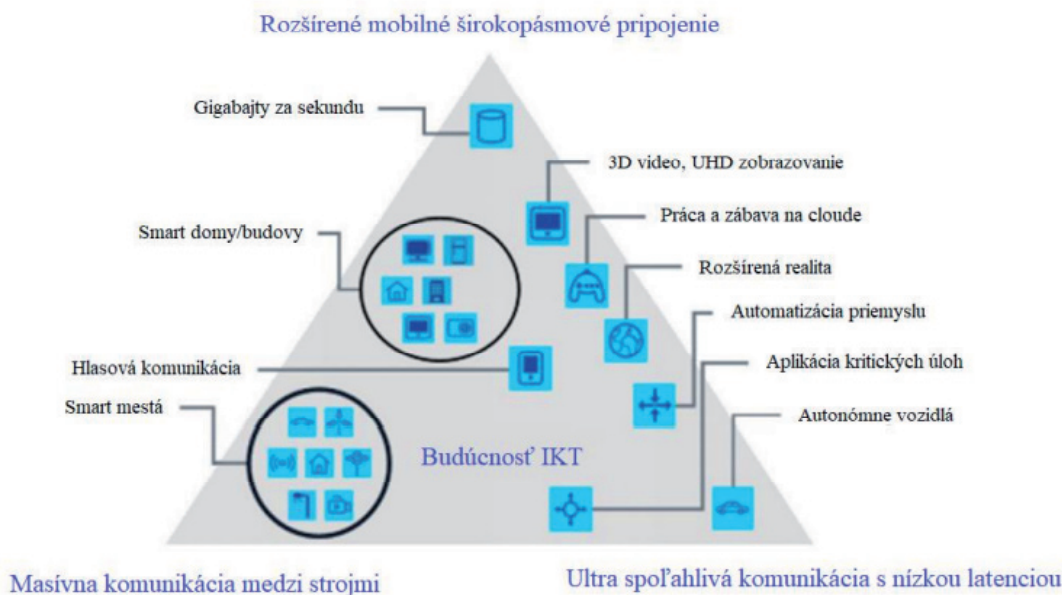
Podstatou práce je predovšetkým charakterizácia 5G sietí - technické špecifikácie, aplikácie a ich využitie v mobilnej komunikácii a predovšetkým sumarizácia informácií o možných rizikách - spojených s expozíciou človeka 5G sieťam. Konkrétne, sumarizácia dostupných informácií o vplyvoch 5G sietí na fertilitu človeka, tiež o ich možnom karcinogénnom potenciáli a reprodukčno-vývinových rizikách - spojených s využívaním 5G sietí vo frekvenciách v rozmedzí 450 – 6000 MHz

a 24 – 100 GHz. Zámerom je aj evaluácia odporúčaní a informácia o zámere aktualizácie smerníc Medzinárodnej komisie pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP) o limitoch expozície elektromagnetickým poliam (EMP) vo frekvenčnom pásme 5G sietí.

Vznik a postupný „boom“ 5G New Radio siete sa výrazne líši od predchádzajúcich generácií - zatiaľ čo predošlé generácie boli využívané najmä pri medziľudskej komunikácii, 5G sieť sa zameriava hlavne na širokospektrálne použitie technológií mobilnej komunikácie, prepojenie a poskytovanie sieťového sveta pre všetkých a všetko, t.j. inteligentné veci, systémy [2].

Obrázku 1 zobrazuje tri hlavné aplikačné scenáre, do ktorých spadajú takmer všetky potenciálne využitia 5G siete [2].

Rozšírené mobilné širokopásmové pripojenie (eMBB) ponúka podobné využitie ako v LTE technológii avšak s omnoho väčším potenciálom - omnoho vyššia prenosová rýchlosť dát, či už ide o maximálny dátový prenos v ideálnych podmienkach, očakávaný prenos dát v reálnych podmienkach alebo v podmienkach slabého pokrytia. V zásade ide o uplatnenie požiadaviek obchodného a spotrebiteľského trhu. Ide napríklad o sťahovanie objemných dát - videá s vysokým rozlíšením v reálnom čase vo vnútornom kancelárskom prostredí, „hotspoty“ v nákupných centrách, verejných podujatiach a hustých verejných častiach miest, poskytnutie konzistentného mobilného pripojenia vo vidieckych oblastiach a verejnej doprave [1].



Obr. 1 5G aplikačný scenár

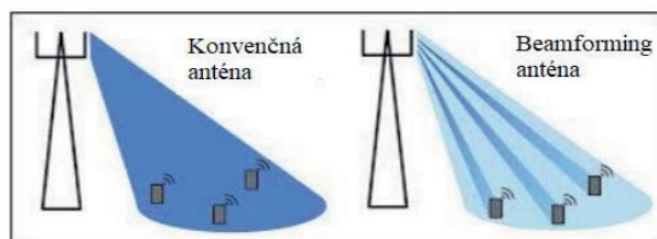
Ďalšou aplikáciou je masívna komunikácia medzi strojmi (mMTC), tiež známa pod názvom internet vecí. Oba tieto pojmy predstavujú bezdrôtovú komunikáciu medzi autonómnymi strojovými zariadeniami bez priamej ľudskej interakcie. Do tohto spektra spadajú široké možnosti využitia, ako bezdrôtové sledovanie zariadení, hlásenie fyzickej polohy tovaru v sklade, vozidiel doručovacieho systému, atď. Ďalším využitím sú bezdrôtové senzory, ako napríklad bezpečnostné kamery spúšťané pohybom, senzory prostredia, tenzometre pre mosty a iné inžinierske stavby. Aplikácia mMTC nachádza uplatnenie aj v elektronickom zdravotníctve – monitorovanie telesnej teploty, krvného tlaku, hladiny glukózy, atď.

Ultra spoľahlivá komunikácia s nízkou latenciou (URLLC) - známa aj ako kritická komunikácia je založená na nízkej latencii v spojení s veľmi vysokou spoľahlivosťou. Predošlé generácie ako LTE disponujú vysokou spoľahlivosťou a sú plne dostačujúce pre mobilnú konverzáciu, avšak pre modernejšie technológie, ktoré si vyžadujú okamžitú spätnú reakciu (rádovo do 10 ms) ich môžeme považovať za nedostačujúce. Ďalším príkladom, plne využívajúcim potenciál URLLC je bezdrôtová chirurgia na diaľku, resp. diaľkové ovládanie robotických nástrojov chirurgom, ktorá si vyžaduje extrémnu spoľahlivosť s minimálnou latenciou. Hoci takáto aplikácia bola úspešne prevedená, stále ide len o koncept, ktorý bude realizovateľný pri masívnejšom zavedení 5G siete verejnosti. Ďalšími príkladmi využitia 5G siete v medicíne sú bioelektronická medicína, osobné zdravotné systémy, telemedicína, prepojenie ambulancií zahrňujúce AR/VR, atď. 5G technológia URLLC ponúka najväčšiu zmenu v porovnaní s LTE sieťou z dôvodu širokého spektra využitia a technických požiadaviek, ktoré sa tak dostávajú až za hranicu súčasného spotrebiteľského trhu [2].

### Technické špecifikácie 5G siete

Medzinárodná telekomunikačná únia (ITU) zverejnila výkonnostné a servisné požiadavky pre systém 5G siete, ktoré sú zhrnuté v Tabuľke 1. Tabuľka uvádza základné parametre 5G siete v porovnaní s LTE-Advanced, pričom si môžeme všimnúť a porovnať výrazný technologický posun a dizajnové ciele, ktoré sú pri 5G sieti oveľa väčšie [2].

Uvádzané rýchlosti prenosu dát sú aplikovateľné len za ideálnych podmienok - napr. ak je prijímaný signál veľmi silný a šírka pásma veľmi veľká. Na zobrazenie reálnych čísel sa preto používa ako ukazovateľ rýchlosti dátového prenosu typická spektrálna účinnosť, ktorá vyjadruje kapacitu jednej bunky na jednotku šírky pásma v jednotkách  $\text{bitov}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Hz}^{-1}$ . Dôležitým parametrom, ktorý si vyžaduje a zabezpečuje plynulý chod URLLC aplikácie je latencia užívateľskej roviny (UP), ktorá dosahuje hodnoty 0.5 ms a spoľahlivosť UP zabezpečujúca doručenie paketov v čase, ktorá je na úrovni 99.99 %. Je treba poznamenať, že kritériom na vytvorenie a aplikáciu 5G siete na danú oblasť nie je splnenie všetkých požiadaviek. Napríklad požiadavka na vysokú spoľahlivosť a nízku latenciu sú relevantné len pre aplikácie URLLC, zatiaľ čo rýchlosť prenosu dát a energetická účinnosť súvisia predovšetkým pre aplikácie eMBB [2].



Obr. 2 Beamforming

Frekvenčné rozsahy pre mobilnú komunikáciu 5G sa vo všeobecnosti rozlišujú na dve základné pásma [2]:

- Frekvenčné pásmo 1 (FR1): 410 – 7125 MHz
- Frekvenčné pásmo 2 (FR2): 24.25 – 52.6 GHz

FR1 zahŕňa frekvencie predošlých sietí od 2G po 4G a taktiež nízko-frekvenčné rozsahy 5G siete, ktoré sú charakteristické veľkým dosahom a dobrou penetráciou rádiových prekážok. FR2 predstavuje úplne nové spektrum pre mobilnú sieť. Vlny tohto typu sú určené na krátky rádiový dosah a disponujú výrazne zhoršenou penetráciou cez prekážky [2].

Na území Slovenskej Republiky Úrad pre reguláciu elektronických komunikácií a poštových služieb prideliť mobilným operátorom výstavbu 5G sietí v pásme 700 MHz, 3.4 – 3.8 GHz a od prvého polroka 2022 prideliť tiež frekvenčné

pásmo 1500 MHz a 26 GHz, pričom mobilní operátori môžu trvalo využívať v 5G sieti aj ďalšie frekvencie, ktoré sa používajú pre 2G, 3G alebo 4G siete - na základe technologickej neutrality [2].

Tabuľka 1 Technické výkonnostné požiadavky 5G siete

Parametre	LTE-Advanced	5G	Aplikácie pre 5G
Rýchlosť prenosu dát	500 Mb/s (UL) 1000 Mb/s (DL)	10 Gb/s (UL) 20 Gb/s (DL)	eMBB
Typická spektrálna účinnosť	0.7 – 2.25 bitov s <sup>-1</sup> · Hz <sup>-1</sup> (UL) 1.1 – 3 bitov s <sup>-1</sup> · Hz <sup>-1</sup> (DL)	1.6 – 6.75 bitov s <sup>-1</sup> · Hz <sup>-1</sup> (UL) 3.3 – 9 bitov s <sup>-1</sup> · Hz <sup>-1</sup> (DL)	eMBB
Energetická účinnosť	n/a	Maximalizované	eMBB
Latencia UP	5 ms	0.5 ms	URLLC
Spoľahlivosť	n/a	99.99 %	URLLC

## Expozícia človeka 5G sieťam - potenciálne zdravotné riziká

Súčasná aplikácia mobilnej 5G siete ponúka výrazne rýchlejšie širokopásmové pripojenie, širšiu škálu použitia a tým aj rozsiahlejšie využitie mobilných dát. S novými technickými inováciami ako prenosový systém za použitia antén s Massive MIMO, „beamforming“ alebo použitie nových frekvenčných rozsahov sa očakáva výraznejšia konverzia vo vystavovaní ľudí a životného prostredia elektromagnetickým poliam [3].

V rámci FR1 boli doteraz či už epidemiologicky alebo experimentálne vykonané štúdie a vyvedené rôzne biologické závery vrátane možných karcinogénnych účinkov a účinkov na reprodukciu/vývin. FR2 (spoločne s vyššími frekvenciami) neboli doposiaľ dostatočne preskúmané. Medzinárodná agentúra pre výskum rakoviny (IARC) označila rádiový frekvenčný (RF) EMP ako „možný karcinogén pre ľudí“, zaradila ho do 2B skupiny a odporučila limity expozície RF spektra na prioritné prehodnotenie [3].

RF EMP a ich netepelné účinky na ľudské alebo zvieracie tkanivá vo väčšine dostupnej literatúry, štúdií a odborných článkov preukazujú potenciálnu škodlivosť [3]. Napriek tomu medzinárodné organizácie ako Svetová zdravotnícka organizácia, ITU a Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP) uvádzajú, že zatiaľ neexistuje zreteľná príčinná korelácia medzi expozíciou EMP generovaného RF zdrojmi, ktoré spadajú pod maximálne limity expozície a vzniku biologických účinkov na ľudské telo. Pri vyhodnocovaní štúdií a hodnotení rizík sme sa zamerali len na netepelné účinky RF EMP.

Štúdie boli rozdelené do 2 skupín:

- Epidemiologické aj experimentálne štúdie hodnotiace RF účinky na zdravie v FR1 od 450 až 6000 MHz
- Epidemiologické aj experimentálne štúdie hodnotiace RF účinky na zdravie v FR2 od 24 až 100 GHz

Prvá skupina zahŕňa štúdie a dáta aj z predošlých generácií mobilnej komunikácie a to 2G až 4G siete. Druhá skupina zahŕňa frekvencie, ktoré sú nové v rámci IKT s vyššou energiou, no zároveň nižšou penetráciou do tkaniva [3].

Obe tieto skupiny boli posudzované samostatne pomocou metódy *scoping review*. Táto metóda má za úlohu kategorizovať,

respektíve zoskupiť existujúce vedecké dôkazy v danej oblasti z hľadiska kvality, povahy, pôvodu, atď. Takéto vyhodnotenie sa koná transparentne, reprodukovateľne a rigorózne. Autori použili metodický rámec nazývaný „Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses for Scoping Review“. Táto metodológia spočíva v nezávislosti posudzovania každej skupiny posudzovateľov vrátane diskusie a dosiahnutia konsenzu medzi recenzentmi [3].

Každá štúdia bola posúdená ako adekvátna/neadekvátna. Neadekvátne štúdie sú také, ktoré sú ovplyvnené veľkými kvalitatívnymi alebo kvantitatívnymi obmedzeniami, napríklad nedostatočnou časovou expozíciou, málopočetnou vzorkou alebo nevhodnou analýzou, a takéto štúdie nie sú platné pre ďalšie podrobenie sa špecifikácii nepriaznivých účinkov. Adekvátne štúdie nepodliehajú žiadnym kvalitatívnym alebo kvantitatívnym obmedzeniam a delia sa pri celkovom konečnom hodnotení na pozitívne, nejednoznačné alebo negatívne, z ktorých sa vyvodí konečné závery. Pozitívne štúdie alebo štúdie s dostatočným dôkazom predstavujú štatisticky významné zvýšenie špecifickej patológie v súvislosti s expozíciou RF EMP, nejednoznačné alebo obmedzené štúdie vyjadrujú nepriaznivý účinok, ktorý je preukázaný iba marginálnym nárastom spôsobeným náhodnosťou či zaujatosťou, a preto nie sú štatisticky významné pre celkové hodnotenie a nakoniec sú to negatívne štúdie - neposkytujúce žiadne dôkazy, údaje o prítomnosti špecifických patológií súvisiacich s expozíciou RF EMP [3].

## Karcinogenita

Pri zameraní sa na karcinogenitu je dôležité zvážiť potenciálnu chybovosť hlavne pri epidemiologických štúdiách. Preto sa každá štúdia hodnotila na základe informatívnosti. To znamená, že sa hľadali skutočné súvislosti medzi jedincami a vznikom nádorových ochorení. Fundamentálne body informatívnosti zahŕňajú - dostatočnú veľkosť populačnej vzorky, dostatočný čas plynúci od expozície až po meranie výsledku, konkrétnosť expozície (veľkosť intenzity, frekvencia, čas). Taktiež pri zisťovaní ľudských karcinogénov sa uplatnila biologická pravdepodobnosť. Za irelevantné štúdie alebo nedostatočné sa považovali také, ktoré mali príliš krátky priebeh, málo pokusných jedincov, slabé prežívanie. Za kľúčovú referenciu sa prijal súbor štúdií, ktoré sa nachádzajú v literatúre IARC Monografia 102 a, kde sa skúmala karcinogenita *in vitro*



aj *in vivo* v rozsahu od 30 kHz do 300 GHz. Ďalšie štúdie boli pridané z databáz PubMed a EMF Portal. [3].

Čo sa týka karcinogenity v epidemiologických štúdiách v FR1 - identifikovalo 155 článkov. 135 článkov bolo z Monografie 102 a z nich sa len prebrali konečné závery. Z ostatných 20 článkov, ktoré vznikli od roku 2011 a boli podrobené hodnoteniu, bolo 11 adekvátnych [3].

Pri týchto epidemiologických štúdiách bola populačná vzorka vystavená RF EMF v pracovnom prostredí, zo zdrojov vo všeobecnom prostredí, napríklad rádiové BSC a pri používaní bezdrôtových mobilných telefónov, čo bol aj najrozsiahlejší zdroj študovanej expozície [3]. Pri vyhodnotení týchto štúdií spoločne so štúdiami v Monografii 102 IARC a dodatkami ostatných štúdií autori dospeli k tvrdeniu, že existujú obmedzené dôkazy o karcinogenite spojenej s RF žiarením u ľudí a boli pozorované pozitívne súvislosti medzi expozíciou RF žiarením z bezdrôtových telefónov o frekvencii 450–6000 MHz a vznikom gliómu a akustického neurómu. Avšak dôkazy nepovažovali za dostatočne silné na to, aby sa vytvorila priama súvislosť [3].

Čo sa týka karcinogenity v epidemiologických štúdiách v FR2 - identifikovali sa iba 3 adekvátne články. Dva články boli zahrnuté v Monografii 102 IARC. Všetky články boli hodnotené ako negatívne a nepreukázali žiadnu jasnú súvislosť medzi expozíciou RF EMF a vznikom nádorových ochorení.

Čo sa týka karcinogenity v experimentálnych štúdiách v FR1 identifikovaných bolo 50 článkov. 43 článkov bolo z Monografie 102. Ostatných 7 článkov, ktoré vznikli od roku 2011 a boli podrobené hodnoteniu, bolo adekvátnych [3]. Pri vyhodnotení týchto experimentálnych štúdií na myšiach a potkanoch autori dospeli k záveru, že existuje dostatočný dôkaz o súvislosti expozície RF EMF a ich karcinogenity pri frekvenciách 450–6000 MHz. Pri týchto štúdiách sa ešte zistilo, že pozorovanie nádorov centrálného a periférneho nervového systému u potkanov má špecifický význam, pretože podporuje závery epidemiologických štúdií [3]. Pri skúmaní karcinogenity v experimentálnych štúdiách v FR2 neexistuje žiadna dostupná literatúra, a preto nemožno vyvodit' žiadne závery [3].

## Reprodukcia a vývin

Pri zameraní sa na reprodukciu a vývin neexistuje žiadny adekvátny, aktuálny a väčší prehľad štúdií, preto autori do hodnotenia zahrnuli všetky štúdie od roku 1945 do 2020. Čo sa týka experimentálnych štúdií na zvieratách, vybrali sa len informatívne štúdie, upriamené na sledovanie rôznych vývinových patológií v rámci endokrinných disruptorov, reprodukcie žien, mužov a celkového reprodukčného systému [3].

Pri sledovaní nepriaznivých reprodukčných/vývinových účinkov v epidemiologických štúdiách v FR1 sa identifikovalo 26 štúdií. Články v Monografii 102 od IARC sa nezahrnuli, keďže nepriaznivým reprodukčným/vývinovým účinkom sa táto práca nevenuje. Z 26 štúdií spadali všetky do tohto frekvenčného pásma, pričom dve štúdie sa zahrnuli aj do vyššieho frekvenčného pásma [3].

Pri týchto štúdiách boli populačné vzorky exponované RF žiarením v pracovnom prostredí alebo zo zdrojov ako - rádiové BSC vo všeobecnom prostredí alebo pôsobením bezdrôtových mobilných telefónov. Z 26 štúdií bolo 16 adekvátnych. V týchto 16 štúdiách sa sledoval pokles kvality spermy, riziko potratu u žien, predčasný alebo potermínový pôrod, rast plodu, jazykové,

komunikačné, behaviorálne a kognitívne problémy [3].

Expozícia RF EMF najviac ovplyvnila početnosť a motilitu spermií, integritu DNA, životaschopnosť spermií a ich morfológiu. Autori vyhodnotili, že existuje dostatok dôkazov o asociácii medzi expozíciou RF EMF a nepriaznivým vplyvom na plodnosť u mužov. Pri expozícii tehotných žien, ktoré počas tehotenstva intenzívne používali mobilné telefóny sa zhodnotilo, že existuje možný súvis medzi potratmi alebo predčasnými pôrodnami u žien s vystavovaním embrya/plodu počas tehotenstva RF EMF. Tento súvis je však obmedzený a nepostačuje na definitívne potvrdenie tejto súvislosti. Pri nežiadúcich účinkoch na vývin potomkov sa skúmali problémy so správaním a motorickými, kognitívnymi a jazykovými ochoreniami. Pri týchto štúdiách boli výsledky zmiešané a nepresvedčivé. Preto sa zhodnotilo, že asociáciu nemožno ani vylúčiť, no ani potvrdiť [3]. Ako už bolo spomenuté vyššie pri sledovaní nepriaznivých reprodukčných/vývinových účinkov v epidemiologických štúdiách vo FR2 sa identifikovali len 2 štúdie [3]. Štúdie pozostávali z populačných vzoriek, ktoré boli vystavované RF žiarením v pracovnom vojenskom prostredí. Výsledky preukázali dostatočné dôkazy o nepriaznivých účinkoch na mužskú plodnosť a tiež obmedzené dôkazy o vývinových účinkoch u potomkov exponovaných vojenských pracovníkov, no pre malé množstvo dostupných štúdií tieto výsledky nemožno zohľadniť v celkovom vyhodnotení a výsledok bol preto neklasifikovaný [3].

Pri sledovaní nepriaznivých reprodukčných/vývinových účinkov v experimentálnych štúdiách v FR1 sa identifikovalo 39 štúdií, z ktorých 37 bolo adekvátnych [3]. Štúdie boli zamerané na pozorovanie nepriaznivých účinkov na reprodukčný systém mužov a žien, endokrinných disruptorov a vývin patológií. Pre dosiahnutie štatisticky spoľahlivého výsledku sa predpokladalo použitie aspoň 10 zvierat v rámci štúdie [3]. Výsledky pri tomto pozorovaní boli zmiešané a dôkazy o možnej súvislosti vývinových nežiadúcich účinkov pri vystavovaní RF EMF boli obmedzené [3]. Pri identifikácii nepriaznivých reprodukčných/vývinových účinkov v experimentálnych štúdiách v FR2 neboli zaznamenané žiadne štúdie, a preto nemožno vyvodit' závery z tohto frekvenčného pásma [3].

## Celková evaluácia

### Karcinogenita

- 450 – 6000 MHz - pri konečnom zhodnotení epidemiologických a experimentálnych štúdií autori konštatovali, že expozícia RF EMF pri týchto frekvenciách môže byť so značnou pravdepodobnosťou asociovaná so vznikom nádorových ochorení u človeka,
- 24 – 100 GHz - nebol uskutočnený dostatok adekvátnych štúdií pre vyvodenie záverov .

### Reprodukčné/vývinové účinky

- 450 – 6000 MHz - pri konečnom zhodnotení epidemiologických a experimentálnych štúdií autori konštatovali, že expozícia RF EMF pri týchto frekvenciách jednoznačne ovplyvňuje mužskú plodnosť, pravdepodobne ovplyvňuje ženskú plodnosť a vývin embryí, plodov a novorodencov,
- 24 – 100 GHz - nebol uskutočnený dostatok adekvátnych štúdií pre vyvodenie záverov.

## Odporúčania ICNIRP

Odporúčania ICNIRP z roku 1998 sú momentálne základom pre medzinárodnú politiku týkajúcu sa limitov expozície RF EMP a väčšina krajín EÚ, vrátane Slovenskej republiky sa riadi limitmi na základe týchto odporúčaní. Záverom mnohých odborných hodnotení, vrátane Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) je, že neexistujú žiadne zdravotné riziká pri dodržiavaní limitov uvádzaných v odporúčaní ICNIRP (1998) [4].

Na základe nových vedeckých poznatkov o možných zdravotných rizikách spájaných s RF EMP (vrátane ich netermálnych účinkov) ICNIRP zverejnila v roku 2020 v odbornom časopise *Health Physics* aktualizáciu smerníc z roku 1998. Je však potrebné poznamenať, že nová smernica od ICNIRP (2020), ktorá zohľadňuje viacero štúdií od WHO, Swedish Radiation Safety Authority a European Commission Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks vydala stanovisko, že jediné podložené nepriaznivé účinky na zdravie človeka pri expozícii RF EMP sú nervová stimulácia a zmeny v permeabilite bunkových membrán z dôvodu zvýšenej teploty. Nové smernice priniesli niekoľko zlepšení v oblasti ochrany zdravia a poskytujú podrobnejšie usmernenia pre aplikáciu systému ochrany zdravia, ktoré neboli zohľadnené v usmerneniach ICNIRP (1998) [4].

Hlavné zmeny sa týkajú expozície EMP nad 6 GHz čím zohľadňujú technologický vývoj v RF EMP, ako napríklad využívanie 5G sietí. Ďalšie zmeny sa týkajú zabezpečenia ochrany celého tela a jeho častí pred lokálnou expozíciou (<6 minút). Zmenilo sa priemerné množstvo tkaniva, ktoré sa zohľadňuje pri meraní hodnoty SAR. Zahrnulo sa väčšie spektrum frekvencií a zvýšil sa čas pri meraní expozície RF EMP celého tela na 30 minút. Taktiež sa zmenila priemerná plocha lokálnej výkonovej hustoty pre lepšiu premenu na jednotku SAR. Čo sa týka vyšších frekvencií nad 6 GHz - znížil sa limit maximálnej novej expozície osoby v porovnaní s pôvodnými obmedzeniami. Ďalšie menšie zmeny v usmerneniach zahŕňajú dodatočné prostriedky na posúdenie súladu s usmerneniami a presnejšiu špecifikáciu spôsobu hodnotenia komplikovaných expozičných scenárov [4].

Nakoniec ICNIRP v novej smernici dôrazne odporúča krajinám aktualizovať vnútroštátne predpisy a zosúladiť ich s novou smernicou ICNIRP (2020) [4].

## Záver

Literatúra doposiaľ neobsahuje žiadne adekvátne štúdie, pomocou ktorých by sa radikálne vylúčilo riziko vzniku nádorových ochorení a nežiaducich účinkov na reprodukciu a vývin, spájaných s expozíciou 5G sieťam alebo by vylučovali možnosť niektorých synergických interakcií medzi 5G a inými frekvenciami, ktoré sa už aktívne používajú. Uvedené má za následok, že zavedenie 5G je spájané s neistotou, týkajúcou sa vzniku možných zdravotných problémov a tiež komplikuje predpovedanie/monitorovanie reálnej expozície obyvateľstva - tieto značné medzery v poznatkoch odôvodňujú výzvu na moratórium pre 5G, iniciovanú poprednými odborníkmi, pokiaľ nebude uskutočnený robustný a primeraný výskum možných zdravotných dopadov na ľudskú populáciu.

## Financovanie

Táto prehľadová štúdia bola podporená projektom VEGA grant č. 2/0140/23.

## Zoznam bibliografických odkazov:

1. Rokita E, Tatón G, Lech R, et al. Pole elektromagnetyczne a człowiek: o fizyce, biologii, medycynie, normach i sieci 5G. Warszawa, Polska: Instytut Łączności; 2019.
2. Zanovit M. Kontroverzia vzostupu využívania 5g sietí. Bakalárska práca [online]. 2022. <https://opac.crzp.sk/?fn=detailBiblioForm&sid=A8C5898CD77493B3E4FF3B491516>. Accessed May 7, 2022.
3. Belpoggi F, et al. Health impact of 5G, Study for the Panel for the Future of Science and Technology, Panel for the Future of Science and Technology. Brussels, Belgium: European Parliamentary Research Service, Scientific Foresight Unit; 2021[online] [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/690012/EPRS\\_STU\(2021\)690012\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/690012/EPRS_STU(2021)690012_EN.pdf)
4. ICNIRP International EMF Exposure Guidelines [online]. 2021. <https://www.gsma.com/publicpolicy/resources/emf-exposure-guidelines>

## Kontakt:

Bc. Martin ZANOVIT  
Katedra teoretickej elektrotechniky a biomedicínskeho inžinierstva  
Fakulta elektrotechniky a informačných technológií  
Žilinská univerzita v Žiline  
010 01 Žilina  
Slovenská republika  
e-mail: zanovit1@stud.uniza.sk