Translated from English to Slovak - www.onlinedoctranslator.com

Environmental Reviews

OTVORENÝ PRÍSTUP | Recenzia

Vplyv rádiofrekvenčného elektromagnetického poľa na ekosystémy zelených striech: nepreskúmaná téma

Marek Czerwiński[a], **Laura Recuero Virto**[b], **Alain Vian**[c] **a Arno Thielens**[deň]

[a]Katedra vedy o trávnatých porastoch a prírodnej krajine, Poznania University of Life Sciences, ul. Dojazd 11, 60-632 Poznaň, Poľsko; [b]ICN Business School, CEREFIGE, Université de Lorraine, Nancy, Francúzsko; [c]Univerzita v Angers, Inštitút Agro, INRAE, IRHS, SFR QUASAV, F-49000 Angers, Francúzsko; [deň]Iniciatíva pre fotoniku, Centrum pre pokročilú vedu a výskum, Centrum pre absolventov Mestskej univerzity v New Yorku, New York, NY 10030, USA

Korešpondujúci autor: **Marek Czerwiński** (e-mail: marek.czerwinski@up.poznan.pl)

Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026

Abstrakt

V posledných desaťročiach sa technológie mobilnej komunikácie zavádzali nebývalým tempom, čo viedlo k rýchlemu nárastu vystavenia živých organizmov umelým emisiám rádiofrekvenčného elektromagnetického poľa (RF-EMF). Toto vystavenie je zvyčajne oveľa vyššie na strechách v husto obývaných mestských oblastiach, kde sa nachádzajú antény, v porovnaní s úrovňou zeme v tých istých oblastiach. Nedávne zavádzanie bezdrôtovej infraštruktúry na mestských strechách sa časovo zhodovalo s rozširovaním zelených striech v mestách. To naznačuje, že vystavenie rádiofrekvenčnému žiareniu je faktorom, ktorý treba zvážiť pri plánovaní a údržbe zelených striech. V tomto článku hodnotíme úrovne vystavenia RF-EMF na zelených strechách nachádzajúcich sa v blízkosti antén základňových staníc. Na základe tohto hodnotenia predpovedáme potenciálne reakcie na vystavenie rádiofrekvenčnému žiareniu na úrovni populácie aj ekosystému. Vykonali sme štruktúrovaný dvojstupňový prehľad literatúry. V 1. fáze sme vykonali naratívnu syntézu empirických meraní RF-EMF na mestských strechách, pokrývajúcu frekvenčný rozsah 0,7 – 3,8 GHz. Vyhľadali sme v databázach IEEE Xplore, Web of Science a Google a ponechali sme si 20 recenzovaných a inštitucionálnych publikácií obsahujúcich originálne údaje o meraniach publikované od roku 2001. V 2. fáze sme vykonali tematickú syntézu publikovaných dôkazov o biologických a ekologických účinkoch RF-EMF na rastliny a hmyz – — taxonomicky dominantné skupiny v ekosystémoch zelených striech. Prehľadali sme databázy Web of Science, PubMed, Google Scholar a EMF-Portal a našli sme 34 štúdií, ktoré spĺňali kritériá kvality publikácie, presnosti charakterizácie expozície a relevantnosti expozičných podmienok pre podmienky určené v 1. fáze. Tieto dve fázy sú analyticky prepojené: rozsah expozície identifikovaný v prvej fáze definuje hranicu dôkazov pre syntézu bioefektov v 2. fáze. Náš výskum priniesol úplne novú ekologickú interpretáciu dôkazov o fyziologických účinkoch RF-EMF na rastliny. Naznačuje, že chronický stresový signál vyvolaný RF-EMF môže spôsobiť zníženú produkciu semien a posun v alokácii zdrojov smerom k klonálnemu rastu. To môže viesť k nižšiemu náboru sadeníc a zníženej genetickej diverzite, čo môže negatívne ovplyvniť dlhodobú odolnosť ekosystému zelenej strechy. Neexistuje žiadny empirický výskum ani špecifická legislatíva, ktorá by sa zaoberala diskutovanými otázkami.

Kľúčové slová: anténa základňovej stanice, mikrovlny, elektromagnetické žiarenie, ekologické spoločenstvo, vegetácia

1. Úvod

Pestovanie rastlín na strechách je starobylé a siaha prinajmenšom do Babylonu, okolo roku 500 pred Kristom. Zavádzanie zelených striech sa v poslednom čase zrýchlilo, aby sa kompenzovala strata zelených plôch spôsobená rýchlou urbanizáciou na celom svete v posledných desaťročiach. Zelené strechy sa inštalujú na nové aj na rekonštruované staré budovy. Okrem zväčšenia zelených plôch v mestských oblastiach sú environmentálne výhody zelených striech početné, napr. tlmenie dažďovej vody, zníženie spotreby energie v budovách, zlepšenie kvality vody a ovzdušia, zníženie hlukového znečistenia, predĺženie životnosti strechy a zníženie efektu tepelného ostrova v mestách (Vidžajaraghavan 2016). Zelené strechy podporujú biodiverzitu a zvyšujú prepojenie biotopov v mestách, čím pôsobia ako odrazové mostíky pre vysoko mobilné druhy článkonožcov, najmä pre včely a nosatce (Braaker a kol. 2014; Köhler a Ksiazek-Mikenas 2018). Vzhľadom na tieto výhody ponúkajú ekologické, ekonomické a sociálne prínosy. Pozitívne vnímanie krajinnej estetiky sa tiež zvyčajne spája so zelenými strechami (Czemiel Berndtsson 2010).

Tieto zelené strechy sa šíria súbežne s rozsiahlym zavádzaním technológií mobilnej komunikácie na celom svete. To spôsobuje vystavenie živých organizmov človekom vytvoreným vysokofrekvenčným elektromagnetickým poliam (RF-EMP), ktoré sú oveľa vyššie ako úrovne pozadia nevytvorené človekom (Bandara a Carpenter 2018).

Pokiaľ nie sú neľudské druhy rádioaktívne označené transpondérovými zariadeniami komunikujúcimi s GPS — napríklad migračné vtáčie a niektoré druhy hmyzu pohybujúce sa v mestskom prostredí — väčšina neľudských organizmov nie je „aktívna“ používatelia telekomunikačnej siete a sú preto vystavení najmä vystaveniu rádiofrekvenčnému žiareniu smerom nadol, t. j. emisiám alebo vysielaniu zo siete smerom k používateľom. Expozícia v hustej

Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026

mestských oblastiach je vyššia ako vo vidieckych oblastiach kvôli väčšiemu dopytu po komunikáciách (Jalilian a kol. 2019). Ako ukáže naša analýza, historicky je vystavenie RF-EMF v smere zostupného prenosu vyššie na strechách miest, kde sa zvyčajne nachádzajú antény, ako na miestach na úrovni zeme v rovnakej oblasti kvôli blízkosti hlavných zdrojov vystavenia RF v smere zostupného prenosu a šíreniu signálu v priamej viditeľnosti.

Masívne zavádzanie mestských zelených striech na jednej strane a rozširovanie mestských bezdrôtových sietí na strane druhej naznačujú, že biocenózy zelených striech sú často vystavené rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam (RF-EMP), ktoré by mohli mať významné ekologické účinky. V tomto rukopise skúmame túto hypotézu s použitím publikovaných údajov o úrovniach expozície RF-EMP na strechách a súčasných poznatkov o bioúčinkoch RF-EMP. RF-EMP môžu vyvolávať biologické účinky v rôznych úrovniach expozície: tepelné účinky na tkanivá pri vysokých hustotách výkonu a netermálne bunkové stresové reakcie, fyziologické a morfologické zmeny a behaviorálne účinky pri nižších úrovniach. Táto recenzia zohľadňuje obe kategórie, ale s rôznym dôrazom v závislosti od organizmu a kontextu expozície. V prípade rastlín a pozemných organizmov, ktoré sú vystavené chronickej expozícii na úrovniach vo všeobecnosti pod prahmi ohrevu tkanív, sa zameriavame na netermálne molekulárne a bunkové reakcie – produkcia reaktívnych foriem kyslíka (ROS) a signalizácia vápnika – a ich fyziologické, morfologické a populačné dôsledky. V prípade lietajúceho hmyzu, ktorý sa môže priblížiť k prvkom antény na blízko, sa dodatočne zohľadňuje tepelne relevantná lokálna expozícia. V oboch prípadoch sa účinky na individuálnej úrovni hodnotia z hľadiska ich ekologických dôsledkov pre populácie zelených striech a odolnosť ekosystému. Zameriavame sa na frekvencie od 0,7 do 3,8 GHz, pretože ide o dominantný frekvenčný rozsah prispievajúci k expozícii rádiofrekvenčným vlnám v mestskom prostredí, ktorý zodpovedá moderným pásmam mobilných sietí vrátane LTE (4G) a skorých zavádzaní 5G (Christopoulou a kol. 2024; de FH Silva a kol. 2025). Podľa našich najlepších vedomostí neboli doteraz vykonané žiadne publikované analýzy na túto tému.

Táto analýza sa riadi dvojstupňovým rámcom, v ktorom sa každá fáza zaoberá odlišnou výskumnou otázkou a využíva odlišnú metódu syntézy; zistenia z 1. fázy sú predpokladom pre druhú fázu. V 1. fáze charakterizujeme podmienky expozície RF-EMF na mestských strechách. Výskumná otázka znie: aké úrovne hustoty výkonového toku v rozsahu 0,7 – 3,8 GHz možno očakávať na strechách nachádzajúcich sa v mestách? Naším cieľom je určiť pravdepodobný rozsah hodnôt expozície, nie priemernú úroveň expozície v rámci bežnej populácie mestských striech, pretože dostupný súbor meraní môže byť ovplyvnený systematickým výberovým skreslením – štúdie prevažne Nevyhnutne uvádzame strechy vybrané kvôli prítomnosti antény v blízkosti. Riešili sme to naratívnou syntézou empirických nameraných údajov, pretože naratívny prístup je vhodný pre stanovený cieľ. Literatúra bola získaná z IEEE Xplore a Web of Science pomocou štruktúrovaných booleovských dotazov, doplnená predbežným vyhľadávaním Google a sledovaním citácií vpred a vzad identifikovaných článkov. Zahrnuli sme recenzované články a vysokokvalitné inštitucionálne alebo vládne správy, ktoré obsahovali originálne empirické namerané údaje RF-EMF a boli publikované od roku 2001. Splnilo sa dvadsať publikácií. tieto kritériá. V 2. fáze hodnotíme potenciálne ekologické dôsledky úrovní expozície striech identifikovaných pre organizmy na zelených strechách v 1. fáze. Výskumnou otázkou je, vzhľadom na rozsah expozície RF-EMF určený v 1. fáze, aké biologické a ekologické účinky možno očakávať v rastlinných a hmyzích spoločenstvách ekosystémov zelených striech? Túto otázku sme riešili prostredníctvom tematickej syntézy, ktorá čerpá z publikovaných zistení z troch odlišných vedeckých oblastí – biológia RF-EMF, výskum bioefektov RF-EMF, a ekológia zelených striech — a integruje ich do konštrukcie nové ekologické interpretácie, ktoré nie sú dostupné v žiadnom samostatnom zdroji. Zamerali sme sa na rastliny a hmyz, pretože tieto skupiny predstavujú ekologicky najvýznamnejšie biotické zložky ekosystémov zelených striech; dôkazy o iných taxonomických skupinách. Literatúra bola vyhľadávaná v databázach Web of Science, PubMed, Google Scholar a EMF-Portal pomocou booleovských dopytov kombinujúcich termíny pre elektromagnetický zdroj alebo technológiu, biologický alebo ekologický subjekt a biologický proces alebo charakteristiku. Zachovali sme pôvodné štúdie a recenzie, ktoré spĺňali kritériá kvality publikácie, presnosti popisu expozície EMF a súladu expozičných podmienok s rozsahom stanoveným v 1. fáze. Zachovali sme dvadsaťjeden pôvodných štúdií a trinásť recenzií o účinkoch RF-EMF na rastliny alebo hmyz. Túto fázu sme uzavreli naratívnym prehľadom existujúcej legislatívy relevantnej pre ochranu neľudských organizmov v strešných biotopoch pred RF-EMF a krátkou podsekciou o budúcich perspektívach. Úplné podrobnosti o vyhľadávacích reťazcoch, stratégiách špecifických pre databázu, kritériách zaradenia a vylúčenia a extrahovaných premenných pre obe fázy sú uvedené v časti Prístup nižšie.

2. Prístup

2.1. Fázy tejto štúdie

Túto literárnu analýzu sme vykonali podľa pokynov uvedenýchXiao a Watson (2017)Ako už bolo spomenuté, výskum zahŕňal dve rôzne fázy, v ktorých boli použité rôzne výskumné otázky a metódy hodnotenia (pozri nižšie). To sa odráža v rozdelení zistení do dvoch hlavných Podsekcias3.1a 3.2.

V 1. fáze (Pododdiel 3.1), na základe literatúry určujeme úrovne expozície RF-EMF na mestských strechách. Zameriavame sa najmä na strechy, kde je úroveň expozície RF-EMF zvýšená v dôsledku emisie RF žiarenia z telekomunikačných antén umiestnených na susednej budove alebo na tej istej streche. Neodhadujeme priemernú úroveň expozície na priemernej mestskej streche (alebo zelenej streche), pretože väčšina meraní RF-EMF na strechách bola vykonaná s cieľom vyhodnotiť vplyv blízkych telekomunikačných antén, čo zavádza výberové skreslenie. Dá sa však s istotou predpokladať, že významná časť mestských zelených striech je vystavená RF žiareniu generovanému z antén inštalovaných v ich blízkosti; intenzita expozície je len otázkou stupňa. Je to preto, že bezdrôtové komunikačné siete v mestách sú zvyčajne veľmi husté a pretože úroveň expozície RF-EMF nie je štandardným kritériom na identifikáciu a prioritizáciu mestských striech vhodných pre zelené plochy (Silva a kol. 2017;Hong a kol. 2019;Rahman a kol. 2021;Zarie a kol. 2024;Sommese a Diana 2025). Túto časť prehľadu sme vykonali ako textovú

Tabuľka 1. Stručné zhrnutie rešerše literatúry o bioúčinkoch RF-EMF v boolovskej logike.

Vyhľadávací komponent	Použité kľúčové slová
Zdroj/technológia RF-EMF	elektromagnetickéALEBOElektromagnetické poleALEBOmikrovlnná rúraALEBOrádiofrekvenčnýALEBO5GALEBOLTEALEBOUMTSALEBOGSMALEBO bezdrôtovýALEBOneionizujúceALEBOWLANALEBOWi-FiALEBO „základňová stanica“ALEBOtelefónALEBOtelefónia
	A
Biologický/ekologický objekt vystavený RF-EMF	ekológ∗ALEBOekosystémALEBObiocenózaALEBObiotopALEBOkomunitaALEBOdruhALEBOrastlinaALEBO bezstavovceALEBOfauna ALEBO FLoraALEBOhubyALEBOhmyzALEBOvčelaALEBOnetopierALEBO FLyALEBOslimákALEBOmäkkýšALEBO háďatkoALEBO baktérieALEBOmikroorganizmusALEBOdivoká zverALEBOopeľovačALEBOsemenoALEBOlistALEBOkoreňALEBO kvetALEBOsadenica ALEBOvegetácia
	A
Biologický alebo ekologický jav, proces alebo charakteristika	odolnosťALEBOrastALEBOklíčenieALEBOvznikALEBO FLmocALEBOreprodukciaALEBOplodnosť ALEBOúmrtnosť ALEBOstratégiaALEBOrozvojALEBOsprávanieALEBOsúťažALEBObiodiverzitaALEBO rozmanitosťALEBOaktivita ALEBOhustotaALEBOnavigáciaALEBOorientáciaALEBOmalformáciaALEBOmigráciaALEBO interakciaALEBOstres

naratívna syntéza a nie prísnejšie meta-zhrnutie, pretože naším cieľom bolo určiť očakávané*rozsah*úrovne expozície RF-EMF na zelených strechách a extrahované údaje nepoužili na štatistickú syntézu (Xiao a Watson 2017).

V 2. fáze (Pododdiel 3.2), využíva podmienky expozície EMP určené v predchádzajúcej fáze na posúdenie potenciálnych účinkov EMP na populácie voľne žijúcich druhov vyskytujúcich sa na zelených strechách, ako aj na fungovanie a odolnosť ekosystémov zelených striech. Naše skúmanie zohľadňuje špecifické abiotické podmienky, ktoré sa vyskytujú na zelených strechách: teplo, sucho, obmedzený dážď so semenami atď. Spomedzi rôznych organizmov zelených striech sa zameriavame na rastliny a hmyz, pretože tieto taxonomické skupiny sú významné pre fungovanie ekosystému zelených striech (MacIvor a Ksiazek 2015;Rowe 2015). Preskúmali sme aj dôkazy o účinkoch na iné organizmy: huby, baktérie a slimáky, ale zistili sme, že nepostačujú na určenie vplyvov na úrovni striech, a preto sme ich vylúčili. Vylúčili sme aj makrofaunu, ako sú vtáky alebo veveričky, so zameraním na najzákladnejšie zložky biocenózy zelených striech. Túto časť sme napísali ako tematickú syntézu (Xiao a Watson 2017), ktorá kombinuje publikované zistenia z rôznych vedeckých oblastí: metrológia EMP, bioefekty EMP a ekológia zelených striech. Naša syntéza stavia na zhromaždených dôkazoch s cieľom vytvoriť nové ekologické interpretácie. Časť zistení uzatvárame naratívnym prehľadom legislatívy, ktorá môže chrániť biotopy zelených striech pred vystavením RF-EMF (Pododdiel 3.3).

2.2. Vyhľadávacie reťazce a stratégia

2.2.1. Literatúra o úrovniach expozície RF-EMF na strechách mestských budov

Vyhľadávanie literatúry sme začali na Googli pomocou širokého výrazu: „elektromagnetická expozícia strecha roof“ s operátorom „filetype:pdf“. Toto prinieslo 1070 výsledkov. Po preskúmaní prvých 10 strán výsledkov vyhľadávania sme našli päť potenciálne relevantných článkov. Potom sme zostavili spresnený výraz: elektromagnetická AND anténa AND budova AND (strecha OR strecha OR balkón OR podlaha OR vonkajšia) OR vertikálna AND (rozloženie OR profil), ktorý sme použili na vyhľadávanie v prehľadoch literatúry na IEEE Xplore a Web of Science. Vyhľadávanie pomocou prvého výrazu vrátilo 76 záznamov na IEEE Xplore a 119 záznamov na Web of Science vrátane 54 duplikátov. Pre zabezpečenie komplexného pokrytia sme doplnili vyhľadávanie v databáze o spätné vyhľadávanie (sledovanie citácií identifikovaných článkov) a dopredné vyhľadávanie (identifikácia novších článkov, ktoré citovali hlavné štúdie). Nakoniec sme zhromaždili 65 potenciálne zaujímavých štúdií.

2.2.2. Literatúra o biologických a ekologických účinkoch

Vykonali sme vyhľadávanie literatúry v štyroch elektronických databázach: Google Scholar, Web of Science, PubMed a EMF-Portal. Stratégia vyhľadávania využívala boolovskú logiku kombinujúcu tri hlavné tematické klastre: (1) elektromagnetický zdroj alebo technológia, (2) biologický alebo ekologický objekt a (3) biologický proces, charakteristika alebo jav (Tabuľka 1).

Vzhľadom na inherentné rozdiely v indexovaní databáz a syntaktických požiadavkách boli špecifické vyhľadávacie reťazce prispôsobené pre každú platformu, pričom sa zachovali tieto základné kombinácie kľúčových slov. Po tomto počiatočnom vyhľadávaní sme odstránili duplikáty spomedzi zozbieraných publikácií a prehľadali sme zozbieranú literatúru spätne aj spätne.

2.3. Skríning citácií na zaradenie

2.3.1. Literatúra o úrovniach expozície RF-EMF na strechách mestských budov

Spomedzi 65 publikácií sme vybrali recenzované články publikované renomovanými vydavateľstvami, vysokokvalitné správy (najmä vládne publikácie) a publikácie medzinárodných vedeckých expertných skupín. Preskúmali sme abstrakty a hlavný text, aby sme vylúčili články a dokumenty bez originálnych údajov o meraniach vystavenia strech RF-EMF. Zamerali sme sa na individuálne empirické skúmania, nie na recenzie. Vylúčili sme články, ktoré boli publikované pred rokom 2001 alebo ktoré neobsahovali empirické údaje o expozícii vo frekvenčnom rozsahu od 0,7 do 3,8 GHz. Nakoniec sme vybrali 20 publikácií. Vo všetkých z nich boli údaje o meraniach zozbierané pomocou profesionálnych, kalibrovaných prístrojov a štandardizovaných metód. Počiatočné vyhľadávanie sa uskutočnilo v júli 2025 a aktualizované v januári 2026.

Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026

Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026

2.3.2. Literatúra o biologických a ekologických účinkoch

Z zozbieranej literatúry sme vybrali dva typy publikácií: originálne štúdie a prehľady. Vylúčili sme práce, ktoré neboli publikované renomovanými vydavateľstvami ako vysokokvalitný výskum. Vylúčili sme aj publikácie, v ktorých podmienky vystavenia EMP neboli presne opísané alebo nezodpovedali typickým parametrom EMP na strechách. Nakoniec sme vybrali 21 originálnych štúdií a 13 prehľadov účinkov EMP na rastliny alebo hmyz.

2.4. Extrakcia údajov

2.4.1. Literatúra o úrovniach expozície RF-EMF na strechách mestských budov

Z zozbieranej literatúry sme extrahovali nasledujúce informácie: scenár elektromagnetickej expozície, úroveň expozície, frekvencia (MHz) a potenciálne dôležité detaily merania. Použili sme mWm^{-2}ako bežná jednotka pre úroveň expozície EMF. Tam, kde autori použili iné jednotky, ako napríklad V m^{-1}, aleboμWm^{-2}, hodnoty sme previedli na bežné jednotky. Extrahované údaje boli prezentované ako tabuľka S.1 v doplnkovom súbore A, aby poskytli prehľad štúdií, ktoré predtým skúmali vystavenie RF-EMF na strechách a vizualizovali ich s cieľom odhaliť bežné vzorce (pozri Zistenia).

2.4.2. Literatúra o biologických a ekologických účinkoch

Z pôvodných výskumných prác sme získali nasledujúce informácie: hustota výkonového toku (mWm^{-2}), frekvencia, čas expozície, typ reakcie, ďalšie informácie o podmienkach expozície, ako napríklad typ štúdie (laboratórna alebo terénna), modulácia EMF a iné environmentálne stresy počas experimentu. Následne sme starostlivo analyzovali zozbierané prehľadové články o účinkoch EMF na rastliny a hmyz, aby sme zistenia zasadili do kontextu a overili ich z hľadiska špecifických meteorologických podmienok, úrovní expozície RF-EMF a taxonomického zloženia ekologických spoločenstiev na zelených strechách.

3. Zistenia

3.1. Úrovne expozície RF-EMF na strechách mestských domov nachádzajúcich sa v blízkosti základňových staníc mobilných telefónov

3.1.1. Podmienky a scenáre vystavenia RF-EMF na strechách

Úrovne vystavenia rádiofrekvenčnému elektromagnetickému poľu na mestských strechách sa môžu výrazne líšiť medzi strechami a tiež v rámci jednej strechy. Úrovne vystavenia RF-EMF na strechách sú primárne ovplyvnené blízkosťou antén základňových staníc mobilných telefónov a iných RF zdrojov (ako sú vysielacie antény), vysielacím výkonom, polohou vzhľadom na primárny radiačný lalok, vyžarovanou frekvenciou a ziskom antény. Zisk je relatívne vysoký pre sektorové (smerové) a... antény, ktoré sa zvyčajne používajú s bunkovými základňovými stanicami, v porovnaní s všesmerovými anténami. To maximalizuje účinnosť prenosu a zlepšuje pokrytie siete, ale zároveň zvyšuje úroveň expozície RF-EMF v hlavnom lúči žiarenia (Briggs a kol. 2012). Vyžarovací diagram smerovej antény pozostáva z hlavného laloku zarovnaného s tzv. osou žiarenia, ako aj z menších bočných lalokov a zadného laloku, ktoré sú v anténnom inžinierstve nežiaduce, ale v praktických anténach sa ťažko eliminujú (Briggs a kol. 2012). Vzhľadom na tento radiačný diagram sa v tomto rukopise zvažujú dva hlavné scenáre vystavenia RF-EMF na streche (Obr. 1). V prvom scenári (A) je uvažovaná strecha vystavená žiareniu hlavného laloku z antény inštalovanej na neďalekej budove. V druhom scenári (B) je uvažovaná strecha vystavená zadnému laloku alebo bočným lalokom produkovaným anténou inštalovanou na okraji tej istej strechy alebo v jeho blízkosti.

Skúmame dva aspekty vystavenia strechy rádiofrekvenčnému elektromagnetickému žiareniu (RF-EMF). Po prvé, porovnávame vystavenie streche v blízkosti antén základňových staníc s vystavením na úrovni zeme. Po druhé, skúmame hustoty výkonového toku strechy rádiofrekvenčného elektromagnetického žiarenia v blízkosti základňových staníc.

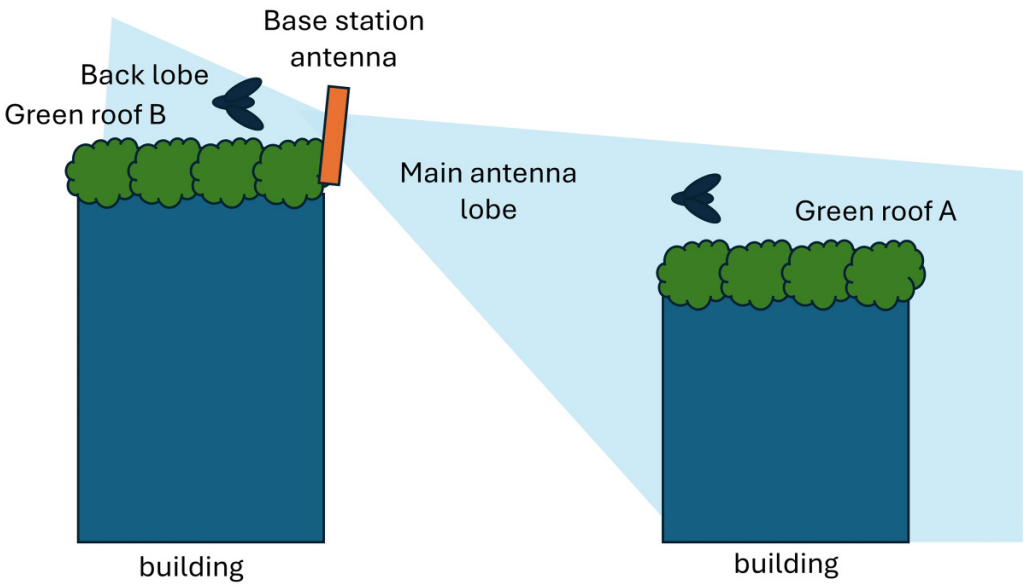
3.1.2. Úrovne RF-EMF na strechách v blízkosti antén základňových staníc v porovnaní s úrovňami zaznamenanými v blízkosti zeme na rovnakom mieste

Náš rešerš literatúry ukazuje, že vysokofrekvenčné elektromagnetické polia na strechách sú oveľa vyššie ako polia na blízkych úrovniach zeme.Buckus a kol. (2017)vo Vilniuse namerali hustotu výkonu vo vzdialenosti 30 m od antény (900/1800/2100 MHz) ako 1 mW/m^2blízko zeme a 149 mW/m^2na streche. Ďalšie merania v tejto štúdii ukázali, že úroveň expozície RF-EMF vo vzdialenosti 35 m od antény 900/1800/2100 MHz bola 0,7 mWm^{-2} vo výške 1,5 m nad zemou a 70 mWm^{-2}pri 16,5 m (Buckus a kol. 2017). Ďalšie dôkazy ukazujú, že vystavenie RF-EMF sa zvyšuje s výškou. Jozef a kol. (2016)aThielens a kol. (2016)preukázali, že vystavenie vzdialenému poľu RF-EMF sa v systéme GSM900 zvyšovalo s výškou nad zemou.García-Cobos a kol. (2023)určili vertikálne rozloženie RF-EMF okolo 13 m vysokej budovy oproti základňovej stanici mobilnej telefónie vzdialenej 40 m, ktorá bola nainštalovaná 17 m nad zemou na susednej streche. Zistili stonásobný rozdiel expozície medzi strechou a zemou pre LTE 800 MHz, 80-násobný pre 900 MHz a 30-násobný pre UMTS 2100 MHz.Silva a kol. (2025)zistila priemernú expozíciu na streche 16,2-krát vyššiu ako na zemi (778 – 3550 MHz), zatiaľ čoChristopoulou a kol. (2024)zistilo sa, že je 16,1-krát vyššia (900 – 3800 MHz). Bergqvist a kol. (2001)uviedli, že vystavenie na strechách, balkónoch a terasách bolo v pásmach 2G (900/1800 MHz) približne o jeden rád vyššie ako vystavenie na úrovni zeme.

3.1.3. Úrovne expozície RF-EMF na strechách v blízkosti antén základňových staníc

Tabuľka S.1 v doplnkovom súbore A poskytuje prehľad štúdií, ktoré predtým skúmali vystavenie strechám RF-EMF. Hlavné zistenia sme zhrnuli tu.Alanko a kol. (2008)zistili, že úrovne hustoty výkonu

Obr. 1.V tejto štúdii sa skúmali dva hypotetické scenáre expozície (A a B) pre zelené strechy vystavené rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam.



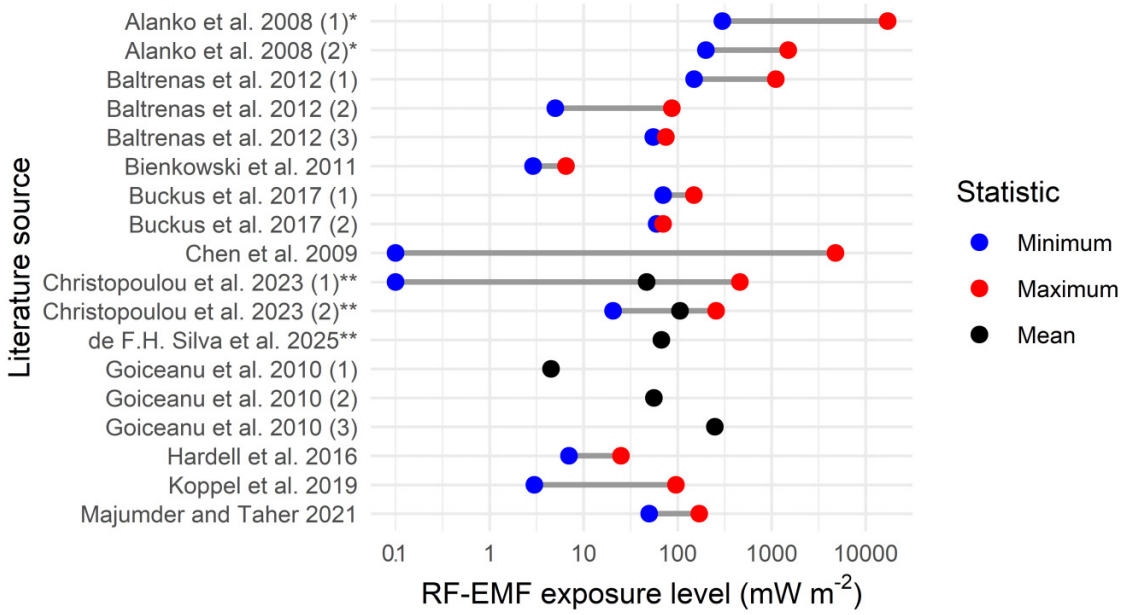
Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026

Na strechách do vzdialenosti 4 m od antén GSM alebo UMTS umiestnených na okraji tejto strechy sa pohybuje niekoľko stoviek až niekoľko tisíc miliwattov na meter štvorcový. Tieto úrovne hustoty výkonu boli vyžarované anténami s celkovým vyžarovaným výkonom v rozmedzí od 0,1 do 6 W a boli zaznamenané predovšetkým v zónach bezpečných z hľadiska žiarenia prístupných pracovníkom aj širokej verejnosti, čo znamená, že pestovanie zelených striech tam tiež nie je obmedzené.Baltrėnas a kol. (2012)ukázali, že úrovne hustoty výkonu na streche pod hlavným lúčom antény základňovej stanice pracujúcej na frekvencii 806–960/1710–2180/1710–2180 MHz, ktorá bola namontovaná na 2,0 m vysokom stožiari, boli typicky približne 100 mWm.$^{-2}$
vo vzdialenosti 30 m od antény. Merania v Štokholme vykonané vo frekvenčnom rozsahu od 100 kHz do 3 GHz ukázali, že priemerná hustota výkonu na strešných balkónoch umiestnených v blízkosti strešnej základňovej stanice sa pohybovala od 1 do takmer 100 mWm^{-2}(Koppel a kol. 2019). Rozsiahly prieskum expozície strechy opísalMajumder a Taher (2021)Tieto merania sa vykonávali na frekvencii od 400 MHz do 3 GHz na 38 strechách budov nachádzajúcich sa v niekoľkých bangladéšskych mestách. Strechy boli náhodne vybrané s podmienkou, že sa v blízkosti nachádzala základňová stanica. Merania sa uskutočnili vo verejne prístupnej („bez žiarenia“) zóne v miestach očakávanej maximálnej expozície. Priemerná úroveň hustoty výkonu na strechách bola 170 mWm.$^{-2}$pre obytné budovy, 100 mWm^{-2}pre administratívne alebo komerčné budovy, 150 mWm^{-2}pre nemocnice a 50 mWm^{-2}pre vzdelávacie budovy. Celkovo citované štúdie ukazujú, že vystavenie RF-EMF na strechách v blízkosti telekomunikačných antén sa značne líši a často dosahuje desiatky miliwattov na meter štvorcový alebo viac (Obr. 2).

Druhým zaujímavým zdrojom informácií o vystavení strechy rádiofrekvenčným elektromagnetickým zložkám (RF-EMF) pochádzajú štúdie skúmajúce hranice zhody antén základňových staníc RF (Thors a kol. 2014). Merania a simulácie pre pásmo 948 – 2170 MHz rozsah ukazujú, že hustota rádiofrekvenčného výkonu pred vysokovýkonnými telekomunikačnými anténami môže presiahnuť 10 000 mW m^{-2}(Gajšek a Šimunić 2006;Saeid 2008;Hamiti a kol. 2016), čo sa považuje za bezpečnostný limit pre širokú verejnosť, aby sa zabránilo akýmkoľvek významným tepelným účinkom z vystavenia RF-EMF v rozsahu 1,5 – 100 GHz (Federálna komisia pre komunikácie (FCC) 1997) alebo 2–300 GHz (ICNIRP 2020). Preto sa často inštaluje značenie alebo fyzické bariéry, aby sa zabránilo vstupu ľudí do takýchto oblastí. Posúdenie tejto prahovej hodnoty pre rastliny a hmyz je ťažké kvôli obmedzenému výskumu a širokej morfologickej a anatomickej variácii medzi druhmi (Brzozek a kol. 2024). Úrovne expozície nad 10 000 mW m^{-2} vyskytujú sa iba vo veľmi krátkych vzdialenostiach pred telekomunikačnými anténami; pre štandardnú anténu s frekvenciou 900 MHz je to 1 – 4 m v závislosti od vyžarovaného výkonu a zisku antény (Gajšek a Šimunić 2006;Saeid 2008;Hamiti a kol. 2016). Iné štúdie o zhode s RF ukazujú, že amplitúdy polí sú oveľa nižšie za anténami základňových staníc ako pred nimi (Thielens a kol. 2013; Thors a kol. 2014), hoci nie zanedbateľne malé, a preto si aj tam stále vyžadujú dodržiavanie predpisov. Tieto zistenia naznačujú, že tepelné účinky sú pravdepodobne marginálne a zriedkavé u rastlín a stacionárnych živočíchov na zelených strechách. Lietajúce bezstavovce sa však môžu dostať do tesnej blízkosti vysielajúcich antén a prijímať tepelne relevantné dávky. Mravce majú tiež tendenciu zhromažďovať sa okolo napájaných elektrických systémov vrátane rádiofrekvenčných vysielačov v dôsledku kontaktu s napájanými vodičmi, po ktorom nasleduje feromónmi sprostredkované prilákanie ďalších mravcov (Slowik a kol. 1996).

Pri interpretácii týchto hodnôt treba mať na pamäti, že vystavenie RF-EMF na strechách sa v priebehu času mení, a to najmä v dôsledku vlhkosti vzduchu, teploty a dennej telekomunikačnej prevádzky (On a kol. 2013; Karadağ a kol. 2016). Zvýšená vlhkosť a dážď spôsobujú útlm signálu, čo môže viesť k vyšším emisiám energie zo základňových staníc, aby sa kompenzovala strata signálu. Naopak, vyššia teplota vzduchu a suché podmienky môžu zlepšiť šírenie rádiového signálu (Yi Lim a kol. 2020).

Obr. 2.Úrovne expozície RF-EMF na mestských strechách v blízkosti antén základňových staníc. Hodnoty boli merané v zónach, ktoré sú podľa vnútroštátnych právnych predpisov považované za bezpečné pre širokú verejnosť, čo naznačuje, že inštalácia zelených striech je povolená. Frekvencie od 0,8 do 3,8 GHz najviac prispeli k celkovej expozícii EMF. Vzdialenosti k anténam sú uvedené v doplnkovom súbore A.*Hodnoty boli zaznamenané s použitím maximálneho nastavenia hold na merači EMF.**V týchto štúdiách boli strechy alebo meracie body vybrané tak, aby odrážali najhoršie možné scenáre expozície.



3.2. Vplyv antropogénnych RF-EMP na biotopy zelených striech

3.2.1. Rastliny

Táto časť je založená na publikovaných dôkazoch o účinkoch RF-EMF na živé organizmy pri úrovni expozície až do niekoľkých desiatok miliwattov na meter štvorcový, čo zodpovedá našim zisteniam v predchádzajúcej časti, ktorá špecifikovala úrovne expozície na mestských strechách v blízkosti telekomunikačných antén. Tieto úrovne opisujú elektromagnetické prostredie rastlín so zelenými strechami počas celého ich života, pretože rastliny sú pripevnené k zemi a ich pohyby (taxíza, tropizmus atď.) alebo rast významne nemenia expozíciu RF-EMF (Čuchlancev 2006).

Rastliny, ktoré poskytujú primárnu produkciu a štrukturálne prostredie pre iné organizmy na zelených strechách, sú podľa nej najpravdepodobnejšou taxonomickou skupinou živých organizmov, ktorá bude trvalo ovplyvňovaná elektromagnetickým žiarením vo frekvenčnom rozsahu mobilnej telefónie.Cucurachi a kol. (2013) Posúdenie potenciálnych účinkov RF-EMF na rastliny pri úrovniach expozície, ktoré sa vyskytujú na strechách, je však náročné, pretože tieto účinky závisia od špecifických parametrov RF-EMF a sú pravdepodobne druhovo špecifické.Senavirathna a Asaeda 2014;Kaur a kol. 2021;Levitt a kol. 2022*b*;Czerwiński a kol. 2023;Pophof a kol. 2023). Napriek tomu je dlhodobo známym faktom, že RF-EMF je skutočným environmentálnym stimulom pre rastliny (Roux a kol. 2008), ktoré môžu reagovať na modulované a nemodulované EMF v rozsahu RF (Senavirathna a Asaeda 2014;Vian a kol. 2016;Halgamuge 2017). Počiatočné mechanizmy reakcie rastlín na RF-EMF, ako ich preskúmalKaur a kol. (2021), zdieľajú spoločné dráhy s rastlinami, ktoré sa reakcie na sucho, teplo a vystavenie UV žiareniu, ktoré predstavujú hlavné environmentálne stresy pre rastliny zelených striech. Toto prekrývanie metabolických dráh je potenciálne dôležité, pretože naznačuje, že RF-EMF aj prirodzené environmentálne stresy môžu prispievať k zapamätávaniu stresu u rastlín zelených striech (ďalšie vysvetlenie tohto procesu nájdete nižšie). PodľaKaur a kol. (2021)RF-EMF môže zmeniť cytozolickú koncentráciu vápnika a expresiu génov súvisiacich s vápnikom a aktivovať produkciu reaktívnych foriem kyslíka (ROS) a metabolizmus vychytávania (Roux a kol. 2008;Kaur a Asthir 2017;Chen a kol. 2022;Sato a kol. 2024). V niekoľkých štúdiách, v ktorých sa vykonávali dlhodobé pozorovania, viedlo RF-EMF k poklesu fotosyntetických pigmentov (Răcuciu a Miclăus 2007;Stefi a kol. 2016,2017*a*, 2017*b*), oneskorená tvorba meristému, zmenená výška rastliny alebo dĺžka koreňa (Sharma a kol. 2009;Halgamuge a kol. 2015; Czerwiński a kol. 2023) a znížené vetvenie (Grémiaux a kol. 2016). O kvantitatívnych vzťahoch medzi reakciou rastlín a podmienkami vystavenia RF-EMF sa však vie len veľmi málo. Zhromaždené dôkazy nepostačujú na definovanie tvaru vzťahu medzi silou reakcie rastlín a hustotou výkonu EMF. Nakoniec sa nepreukázalo, že konečné fyziologické účinky dlhodobého vystavenia RF-EMF sú vždy nepriaznivé pre rastliny a vedú k zhoršeniu stavu rastlín. Analýzy, ktoré hlásia masívne škody na rastlinách v blízkosti antén mobilných telefónov, sú zriedkavé, hoci bezdrôtová infraštruktúra je v mestských oblastiach všadeprítomná. Najčastejšie citovaná správa o takýchto škodách (Waldmann-Selsam a kol. 2016) nepoužíva dizajn štúdie „pred-po-kontrola-dopad“, ale spolieha sa výlučne na pozorovania.

Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026

Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026

Nedávne úvahy o globálnych stratégiách rastlín na zvládanie environmentálnych signálov by mohli tiež naznačiť odlišný, ale doplnkový scenár vplyvu RF-EMP. Keďže vystavenie rastlín RF-EMP sa javí ako chronické na rozdiel od iných environmentálnych stresov, ktoré závisia od sezónnych, denných a meteorologických parametrov, dalo by sa tvrdiť, že RF-EMP by mohli pôsobiť ako „signál pozadia“, ktorý umiestňuje určité metabolické dráhy rastlín (ROS, signalizácia vápnika) do vysokého stavu, čím uľahčuje neskoršie reakcie rastlín na iné environmentálne signály. Mohli by rastliny „vychovávať“ tak, aby efektívnejšie reagovali na neskoršie stresy, dokonca aj inej povahy. Tento jav, známy ako „priming rastlín“ (Hilker a Schmülling 2019) bol dôkladne študovaný na vystavenie studenej plazme (Beckers a Conrath 2007;Adhikari a kol. 2020;Holubová a kol. 2020) a čoraz viac sa považuje za hlavnú súčasť prispôsobenia rastlín nepriaznivým podmienkam (Jacques a kol. 2021). Primácia nielenže spôsobuje molekulárnu „pripravenosť“, ale môže viesť aj k viditeľným vývojovým zmenám, ktoré štrukturálne pripravujú rastlinu na budúce výzvy (Tafforeau a kol. 2004,2006). Nedávne štúdie naznačujú, že priming sa môže prenášať na ďalšie generácie prostredníctvom epigenetických mechanizmov (Sharma a kol. 2022;Gallusci a kol. 2023).

Dalo by sa tvrdiť, že rýchly vývoj bezdrôtových technológií môže byť problémom pre adaptáciu rastlín na tento druh environmentálnych signálov. Bolo to však široko preukázané s použitím rôznych druhov elektromagnetických signálov (Roux a kol. 2006;Vian a kol. 2013;Porcher a kol. 2023, 2024), že rastliny reagujú na elektromagnetické pole pomocou nešpecifickej signálnej dráhy, čo silne naznačuje, že nové druhy elektromagnetických signálov by rastliny považovali za nový druh prepätia bez ohľadu na jeho fyzikálne vlastnosti (frekvencia, amplitúda, modulácia atď.).

3.2.2. Hmyz

Hmyz zohráva v ekosystéme zelenej strechy dôležitú úlohu ako opeľovač, predátor, korisť a rozkladač odpadových materiálov. Zelené strechy, podobne ako záhrady, hostia rozmanitú škálu druhov vrátane lietajúceho, pozemného, vodného, podzemného a po vegetácii lezúceho hmyzu (Sutton 2015*b*). Expozícia RF-EMP tých druhov, ktoré sa nachádzajú na zemi alebo rastlín na zelenej streche, je pravdepodobne veľmi podobná RF-EMP opísaným vyššie. Absorpcia RF-EMP ako funkcia frekvencie sa samozrejme bude výrazne líšiť od iných druhov (Thielens a kol. 2018,2020). Vodný a pôdny hmyz bude pravdepodobne vystavený menšiemu žiareniu kvôli tieneniu pôdou a vodou. Absorpčná rezonancia tohto hmyzu sa posúva k nižším frekvenciám v porovnaní s jeho lietajúcimi náprotivkami (De Borre a Thielens 2025). Lietajúci hmyz na zelenej streche nie je obmedzený na plochu strechy, a preto sa môže objaviť v blízkosti a v hlavnom laloku antén základňových staníc inštalovaných v blízkosti strechy. Nedávny výskum ukázal, že hmyz dokáže pomerne efektívne absorbovať vysokofrekvenčné elektromagnetické pole (až 25 % vyžarovaného výkonu), najmä pri frekvenciách nad 6 GHz v blízkosti antén (Toribio a Thielens 2025). Expozícia RF-EMF môže u hmyzu vyvolať dielektrické zahrievanie a toto zahrievanie sa môže využiť na spôsobenie úmrtnosti hmyzu (Thielens 2021; Pophof a kol. 2023). Súčasný nedostatočný Stanovenie prahových hodnôt expozície RF-EMF, ktoré vedú k špecifickej úrovni zvýšenia telesnej teploty alebo následnej úmrtnosti, je obmedzené (Thielens 2021;Pophof a kol. 2023).Pophof a kol. (2023) ukazujú, že takéto prahové hodnoty sa nachádzajú na vyšších úrovniach špecifickej absorpcie (SAR) pre menšie stavovce, ale nie je jasné, či sa to vzťahuje aj na bezstavovce.

Štúdie, ktoré využívajú expozície RF-EMF v rovnakom ráde ako tie, ktoré sa nachádzajú na strechách, skúmali zmeny správania, vývojové účinky, neurostimuláciu a potenciálne genetické následky a mnohé štúdie zistili účinky (Vanbergen a kol. 2019; Thielens 2021;Pophof a kol. 2023). Avšak podľaThielens (2021) Väčšina štúdií v tejto oblasti čelí metodologickým problémom, ako je absencia dozimetrie, meraní teploty alebo kontrolných skupín, čo sťažuje posúdenie, či tieto účinky boli tepelne vyvolané alebo nie.Vanbergen a kol. (2019) preskúmali štúdie o elektromagnetickej expozícii hmyzu a nenašli dôkazy o behaviorálnych účinkoch na rádiové frekvencie. Ich záver bol v rozpore s predchádzajúcou prehľadovou štúdiouCucurachi a kol. (2013), ktorý označil behaviorálne účinky vystavenia RF-EMP u včiel medonosných ako jedno z výnimočných zistení o vystavení hmyzu RF-EMP, pre ktoré existujú dôkazy.Treder a kol. (2023) zistili, že žiarenie s frekvenciou 2,4 a 5,8 GHz ovplyvňuje schopnosť včiel medonosných hľadať potravu. V inej štúdiiTreder a kol. (2025)ukázali, že to isté žiarenie znižuje mieru návštevnosti kvetov opeľovaním hmyzom, najmä čmeliakmi. Autori predpokladajú, že umelo vytvorené rádiofrekvenčné elektromagnetické polia narúšajú magnetorecepciu a elektrorecepciu u včiel. Keďže včely sú nevyhnutné pre sexuálne rozmnožovanie niektorých rastlín zelených striech, najmä strukovín, tieto behaviorálne účinky predstavujú ďalšiu cestu, ktorou môžu rádiofrekvenčné elektromagnetické polia ovplyvňovať ekosystémy zelených striech.

Okrem toho akýkoľvek vplyv zistený u včiel medonosných a čmeliakov by mohol byť dôležitým ukazovateľom iných opeľovačov a lietajúceho hmyzu obývajúceho zelené strechy. Relevantná je tu aj štúdiaLázaro a kol. (2016), citovaný Vanbergen a kol. (2019)aPophof a kol. (2023)ako presvedčivý dôkaz o vplyve vystavenia RF-EMF na početnosť a rozmanitosť hmyzích opeľovačov.Lázaro a kol. (2016)zistili určité vplyvy na početnosť voľne žijúcich opeľovačov vrátane včiel, pestreniek, múch, chrobákov a ôs v Grécku. Počet odchytených jedincov sa u niektorých druhov zvyšuje, ale u iných druhov sa znižuje. Tieto vplyvy záviseli od taxónu a lokality, ale vyžadujú si väčšiu pozornosť, pokiaľ ide o zelené strechy, ktoré na svoj rast vyžadujú množstvo opeľovačov.

Vzhľadom na obmedzený počet vysokokvalitných štúdií, ktoré skúmajú bezstavovce vystavené RF-EMF, niekoľko prehľadov dospelo k záveru, že je náročné vyvodiť definitívne závery k tejto téme (Vanbergen a kol. 2019;Thielens 2021). Pophof a kol. (2023)dospeli k podobným záverom a poznamenali, že entomologický radar sa už niekoľko desaťročí používa na monitorovanie včiel medonosných bez akýchkoľvek nepriaznivých účinkov. Prehľady však Levitt a kol. (2022*a*)aThill a kol. (2024), pričom uznávajú nedostatky viacerých štúdií a nezrovnalosti medzi expozíciami RF-EMF používanými v laboratórnych podmienkach a prostredím, pripisujú väčšiu istotu, že s expozíciou hmyzu RF-EMF sú spojené netermálne, nepriaznivé biologické účinky.

Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026

Vyššie uvedené odseky poskytujú prehľad nášho súčasného chápania expozície hmyzu na zelených strechách rádiofrekvenčným elektromagnetickým lúčom. Súčasný prechod bezdrôtových technológií na vyššie frekvencie by mohol zmeniť profily absorpcie rádiofrekvenčných elektromagnetických lúčov u hmyzu, keďže nové antény sa stávajú bežnejšími v blízkosti alebo na zelených strechách. Niektoré štúdie preukázali, že absorpcia rádiofrekvenčných lúčov je nižšia pri frekvenciách pod 6 GHz (kde pracuje väčšina v súčasnosti nainštalovaných antén základňových staníc) ako pri vyšších frekvenciách, kde sa antény základňových staníc v súčasnosti rozmiestňujú v husto osídlených mestských oblastiach. To sa týka vzdušných (Thielens a kol. 2018,2020;De Borre a kol. 2021) a hmyz žijúci na zemi (Jeladze a kol. 2025).

3.2.3. Odolnosť ekosystému zelenej strechy

V predchádzajúcich podsekciách sme preskúmali literatúru o vplyvoch RF-EMP na taxóny, ktoré sú základnými biotickými zložkami ekosystému zelenej strechy. Tieto taxonomické dôkazy vyvolávajú širšie otázky o vplyvoch RF-EMP na odolnosť ekosystému zelenej strechy. Na tieto otázky, žiaľ, nemôžeme poskytnúť definitívnu odpoveď kvôli nedostatku empirických štúdií o biologickej reakcii na RF-EMP na úrovni ekologických spoločenstiev. Takmer všetok výskum biologických vplyvov RF-EMP sa zameral na jednotlivé druhy a tieto výsledky sa nedajú ľahko interpretovať z hľadiska širších ekologických interakcií (Czerwiński a kol. 2020). Na druhej strane, dosiahnutie ekologickej odolnosti je kľúčovou výzvou pri navrhovaní a údržbe zelených striech, čo zdôrazňuje dôležitosť ďalšieho výskumu v tejto oblasti. V tejto práci špekulujeme o vplyvoch vystavenia RF-EMF na odolnosť biotopov zelených striech a navrhujeme základný rámec pre budúci výskum s cieľom identifikovať a kvantifikovať takéto vplyvy.

Sutton (2015)*a*)opisuje odolnosť zelených striech ako ich schopnosť udržiavať ekologické funkcie, ako je chladenie, manažment dažďovej vody a biodiverzita, napriek premenlivosti prostredia a narušeniam. Tieto narušenia môžu byť prírodné, ako je sucho, vysoké teploty, silné zrážky, alebo spôsobené človekom, ako je odburiňovanie alebo kosenie (Carlisle a Piana 2015). Strata odolnosti zelenej strechy, podobne ako v každom ekosystéme, môže viesť k úplnému prechodu na alternatívny, menej rozmanitý stav (Scheffer a kol. 2001). Odolná zelená strecha zachováva rozmanitosť hmyzu vrátane opeľovačov, ako sú včely a motýle, ako aj predátorov, ako sú lienky a kobylky. Má stabilný a funkčný pôdny mikrobióm vrátane prospešných húb a baktérií, ktoré podporujú kolobeh živín, odolnosť voči chorobám a zdravie rastlín (Fulthorpe a kol. 2018;Hoch a kol. 2019). Odolnosť zahŕňa aj udržiavanie mechanizmov šírenia semien a samoopravy, ako je prirodzené opätovné vysievanie a symbióza, vďaka čomu je ekosystém poloautonómny (Best a kol. 2015;Cook-Patton 2015).

Dôkazy uvedené v predchádzajúcich častiach naznačujú, že potenciálne účinky RF-EMF na odolnosť zelených striech by sa mali primárne skúmať v rastlinných populáciách. Kľúčovým aspektom týchto účinkov je stresová reakcia rastlín, ktorá je dobre zdokumentovaná vo vedeckom výskume. Táto reakcia môže mať kaskádovité účinky na úrovni ekologického spoločenstva alebo ekosystému.

Biochemické a fyziologické reakcie rastlín na RF-EMF sa podobajú reakciám na iné abiotické stresy, ako je silné UV žiarenie alebo sucho. Je tiež všeobecne známe, že biochemické signály rastlín z environmentálneho stresu (ROS, Ca^{2+}) poháňajú fenotypové zmeny rastlín, aby sa prispôsobili tomuto stresu (Šaar-Moše a kol. 2019;Mittler a kol. 2022;Sharma a kol. 2022). Rozsah fenotypových adaptácií je určený fenotypovou plasticitou rastlín (Des Marais a Juenger 2010; Lodeyro a kol. 2021) a epigenetické modifikácie (Begcy a Dresselhaus 2018;Gallusci a kol. 2023). Chronické stresové signály v rastlinách vedú k pomalšiemu rastu, zníženej produkcii semien a zvýšenému prideľovaniu zdrojov na klonálny rast (de Paula a kol. 2012; Herben a kol. 2015;Das a kol. 2022). Cieľom tejto stratégie je udržať pretrvávajúcu lokálnu populáciu, keď je prežitie sadeníc nízke, čo odráža kompromisy medzi prežitím a reprodukciou (van Zandt a kol. 2003;Herben a kol. 2015). Plastické reakcie môžu zahŕňať aj zmenené načasovanie reprodukcie, pričom niektoré druhy odkladajú ukladanie zdrojov, iné sa rozmnožujú skôr pri vysokom riziku úmrtnosti (Callahan 2005;Rankenberg a kol. 2021).

Stresom vyvolané primingové a plastické reakcie môžu v krátkodobom horizonte zvýšiť odolnosť populácie tým, že pomáhajú rastlinám lepšie tolerovať opakované stresové udalosti (Thellier a kol. 2000; Kaur a kol. 2021;Sharma a kol. 2022). Táto stresová pamäť môže hrať dôležitú úlohu pre rastliny zelených striech, pretože intenzita abiotických stresov a narušení v prostredí zelených ~~striech~~ – nadmerné slnečné žiarenie, silný vietor a silné dažde – — je často vyššie ako blízko zeme (Najlepšie et al. 2015). Posun smerom k pomalšiemu rastu a nepohlavnému rozmnožovaniu však môže znížiť genetickú diverzitu a nábor sadeníc, čím sa oslabí dlhodobý potenciál obnovy populácie po narušení (Nawaz a kol. 2023).

Táto teória, keď sa prenesie na úroveň ekosystému, naznačuje, že chronický stresový signál v rastlinách, ako je napríklad signál vyvolaný RF-EMF, môže zvýšiť krátkodobú odolnosť ekosystému voči environmentálnym poruchám a stresom, ale to môže časom negatívne ovplyvniť dopĺňanie semien a genetickú diverzitu, čo spôsobí, že ekosystémy sa spomalia a budú menej prispôsobivé budúcim stresom a poruchám.

Empirické skúmanie vplyvov RF-EMF na odolnosť zelenej strechy by sa malo zamerať na funkčné vlastnosti rastlín, a nie na druhy, pretože funkčný prístup je oveľa účinnejší pri štúdiu vlastností ekosystémov (Carlisle a Piana 2015). Ekologické procesy, ktoré riadia ekosystémy zelených striech, sa často podobajú procesom, ktoré riadia mesické a suché trávnaté porasty, ruderálne alebo orné spoločenstvá burín alebo iné rastlinné spoločenstvá zložené z graminoidov a bylín, ktorým chýba prirodzené prepojenie s podzemnou vodou (Sutton a Lambrinos 2015). Potenciálne účinky RF-EMF na odolnosť zelenej strechy je preto možné kvantifikovať pomocou podobných metód a ekologických indikátorov, ktoré sa používajú na skúmanie účinkov RF-EMF v týchto bylinných spoločenstvách na úrovni terénu. Súbor týchto indikátorov bol navrhnutý a otestovanýCzerwiński a kol. (2020, 2023) Spomedzi týchto charakteristík sú najrelevantnejšie z hľadiska odolnosti zelenej strechy výška rastlinného krytu, suchá hmotnosť nadzemnej a podzemnej biomasy, počet kvetov alebo plodov na rastlinu, čas kĺčenia a kvitnutia a frekvencia návštev kvetov opeľujúcim hmyzom.

Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026

3.3. Regulačné limity RF-EMF na strechách

Podľa našich vedomostí sa na neľudské organizmy na strechách nevzťahuje žiadna právna ochrana pred vystavením RF-EMF. Existujúce smernice sa zameriavajú iba na tepelné účinky na ľudské zdravie a definujú dve kategórie: vystavenie pracovníkov v práci a vystavenie verejnosti bežnej populácie. V tomto rámci možno strechy považovať za pracovisko alebo verejný priestor. Legislatíva týkajúca sa limitov vystavenia RF-EMF je často založená na podobných smerniciach Medzinárodnej komisie pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP) a Inštitútu elektrotechnických a elektronických inžinierov (IEEE) (ICNIRP 1998,2020;Svetová zdravotnícka organizácia 2017;IEEE 2019). Od roku 2000 niektoré krajiny, regióny a mestá prijali prísnejšie limity ako Smernice NIRP alebo IEEE. Napríklad limit expozície pri frekvencii 900 MHz je 4500 mWm^{-2} podľa ICNIRP, ale bol 100 mWm^{-2} pred príchodom 5G do Bruselu (obytné priestory), Talianska (vnútorné/vonkajšie obytné priestory), Litvy (verejne prístupné priestory) a Poľska (GSMA 2014).

Bezpečnostné perimetre sa zvyčajne zriaďujú okolo základňových staníc antén, aby sa udržala verejná expozícia pod normatívnymi prahovými hodnotami (Agence National des Fréquences 2019). Keď sa na strechy so staršími technológiami pridávajú emisie 5G, môže byť potrebné znížiť spotrebu energie, aby sa obvod udržal v rámci hraníc strechy, najmä pri prísnejších národných predpisoch (Törnevik 2017;Medzinárodná telekomunikačná únia 2019;Lewicki 2020). Toto je viac obmedzujúce v husto obývaných mestách a v niektorých krajinách viedlo k uvoľneniu limitov expozície (Recuero Virto a kol. 2024). Okrem toho sa často volí špecifické umiestnenie antény – na stenách, vysokých vežiach alebo okrajoch striech – na zníženie vystavenia pracovníkov a širokej verejnosti rádiofrekvenčnému elektromagnetickému žiareniu.

Ako už bolo uvedené, prahové hodnoty expozície podľa ICNIRP alebo reštriktívnejších modelov sa týkajú iba tepelnej bezpečnosti ľudí. ICNIRP vychádzala z predpokladu, že ochrana ľudí nepriamo chráni rastliny a zvieratá (Pophof a kol. 2023). V roku 2021 ICNIRP vytvorila skupinu na posúdenie vplyvov na životné prostredie pomocou vysokokvalitných štúdií a na vyhodnotenie, či smernice pre expozíciu ľudí primerane chránia voľne žijúce zvieratá. Výsledok je podmienený dvoma hlavnými faktormi. Po prvé, tepelné (a netepelné) limity závisia od druhu. Po druhé, hoci existuje značné množstvo experimentálnej literatúry o účinkoch RF-EMF na neľudské druhy, veľká časť z nej sa opiera o laboratórne modely pôvodne vyvinuté na extrapoláciu ľudského zdravia; naopak, terénne ekologické štúdie za reálnych podmienok expozície zostávajú pomerne obmedzené (Karipidis a kol. 2021;Levitt a kol. 2022*a*). Okrem toho súčasné rámce pre preskúmanie dôkazov kladú väčší dôraz na štúdie spĺňajúce špecifické metodologické kritériá, pričom potenciálne vylučujú alebo znižujú dôležitosť literatúry o expozícii s nízkou intenzitou, ktorá uvádza účinky blízke úrovniam pozaďového prostredia (Levitt a kol. 2025). Prebehli diskusie o zosúladení práce ICNIRP s rámcami pre ionizujúce žiarenie (van Rongen 2014). Napríklad zásada „tak nízkej, ako je rozumne dosiahnuteľné“ (ALARA) od Medzinárodnej komisie pre rádiologickú ochranu (ICRP) môže byť relevantná (MKRP 2014). ICRP presadzuje optimalizáciu dávok na základe environmentálnych, ekonomických a spoločenských hľadísk.

Stručne povedané, neexistuje žiadna špecifická legislatíva na ochranu rastlín a zvierat na zelených strechách. Rastliny na zelených strechách sú chránené iba vtedy, ak sa nachádzajú v oblastiach, na ktoré sa vzťahujú zákony o ľudskom zdraví, a iba ak sa prahové hodnoty expozície určené pre ľudí ukážu ako účinné aj pre rastliny a zvieratá. Prahové hodnoty pre tepelnú bezpečnosť ľudí sa pravdepodobne nezhodujú s prahovými hodnotami relevantnými pre neľudské organizmy kvôli ich veľmi odlišnej fyziológii.

3.4. Budúce perspektívy

Výsledky nášho výskumu naznačujú potrebu empirických štúdií o vplyve vystavenia RF-EMP na ekosystémy zelených striech. Takéto štúdie by sa mali zamerať predovšetkým na populácie rastlín vystavené nepretržitej expozícii RF-EMP počas najmenej dvoch rokov. Toto predĺžené obdobie expozície je nevyhnutné na identifikáciu možných účinkov RF-EMP na regeneráciu populácií rastlín zo semien. Budúce štúdie by mali tiež posúdiť, či chronická expozícia RF-EMP synergicky interaguje s inými mestskými stresormi, ako sú teplo, sucho alebo znečistenie ovzdušia. Je tiež potrebný ďalší výskum vplyvu RF-EMP na senzorickú ekológiu včiel, aby sa objasnili základné mechanizmy a posúdil skutočný rozsah tohto vplyvu. Ďalšou dôležitou témou, ktorá presahuje rozsah tohto rukopisu, ale vyžaduje si vedeckú pozornosť, sú účinky RF-EMP na vtáky na zelených strechách. Vtáky môžu byť dôležitými vektormi šírenia semien rastlín a niektorých arbuskulárnych mykoríznych húb medzi zelenými strechami (McGuire a kol. 2015). Zelené strechy vytvárajú ďalšie biotopy a odrazové mostíky pre vtáky v mestách vrátane vzácnych a chránených druhov (Fernandez-Cañero a Gonzalez-Redondo 2010).

Výskum vplyvov RF-EMF na ekosystémy zelených striech môže nadobúdať čoraz väčší význam v dôsledku rýchlej expanzie miest a digitalizácie. Podľa Organizácie Spojených národov sa očakáva, že do roku 2050 bude takmer 68 % svetovej populácie žiť v mestských oblastiach (Náš svet v dátach 2026), zatiaľ čo mestá sa súčasne vyvíjajú smerom k modelom „inteligentných miest“, ktoré sa spoliehajú na hustú digitálnu infraštruktúru, umelú inteligenciu, systémy internetu vecí a všadeprítomné bezdrôtové pripojenie na riadenie dopravy, energie, komunikácie a verejných služieb (UNDP 2021). Očakáva sa, že nasadenie technológií 5G a budúcich 6G ďalej zvýši hustotu strešných antén a malých buniek v mestskom prostredí, pretože bezdrôtové systémy s vyššou frekvenciou vyžadujú priestorovo koncentrovanejšiu infraštruktúru (Medzinárodná telekomunikačná únia 2023).

4. Závery

Ekosystémy zelených striech nachádzajúce sa v blízkosti antén základňových staníc môžu byť vystavené zvýšeným úrovniam rádiofrekvenčného elektromagnetického žiarenia (RF-EMF). Vyplýva to z našej analýzy v 1. fáze, ktorá ukazuje, že hustota výkonového toku na mestských strechách v blízkosti anténnych inštalácií konzistentne spadá do rozsahu, ktorý sa prekrýva s úrovňami expozície používanými v empirických štúdiách, ktoré uvádzajú biologické účinky na rastliny a hmyz. Tieto úrovne sú podstatne vyššie ako úrovne na úrovni zeme v rovnakých mestských oblastiach. Akákoľvek potenciálna reakcia rastlín na vystavenie rádiofrekvenčnému elektromagnetickému žiareniu je obzvlášť dôležitá, pretože rastliny sú základnou zložkou ekosystému zelenej strechy. Tieto reakcie možno zhruba rozdeliť do dvoch kategórií. Prvá kategória zahŕňa reakcie.

Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026

ktoré boli konzistentne hlásené s použitím rôznych výskumných protokolov a laboratórnych zariadení a u rôznych druhov, a teda podporené najpočetnejšími vedeckými dôkazmi. Zahŕňajú molekulárne, bunkové a fyziologické stresové účinky. Konkrétne najreprodukovateľnejšími reakciami sú zvýšená produkcia reaktívnych foriem kyslíka (ROS) a zmeny cytozolického vápnika (Ca^{2+}) signalizácia, pričom obe sú zavedenými markermi abiotického stresu v rastlinách. Druhá kategória zahŕňa reakcie podložené fragmentárnejšími, a teda menej presvedčivými dôkazmi. Táto kategória zahŕňa priame morfologické účinky, ako sú znížené fotosyntetické pigmenty, oneskorená tvorba meristému a kratšie korene alebo stonky. Ekologická teória naznačuje, že reakcie rastlín prvej kategórie môžu mať významné dôsledky pre rastlinné spoločenstvá alebo ekosystémy. Mechanistický reťazec funguje nasledovne: chronické ROS a Ca^{2+} Stresové signály riadia fenotypové adaptácie, ktoré sú dobre zdokumentované v literatúre o strese rastlín. Tieto adaptácie zahŕňajú pomalší rast a podporujú klonálnu reprodukciu na úkor produkcie semien, čo odráža kompromis v alokácii zdrojov: pri pretrvávajúcom strese sa investície do vegetatívneho rozmnožovania zvyšujú na úkor pohlavného rozmnožovania, ktoré si vyžaduje väčšie energetické výdavky a je menej spoľahlivé, keď je prežitie sadeníc nízke. To môže viesť k nižšiemu nárastu počtu sadeníc – — kvôli sexu- Uálna reprodukcia je primárnym zdrojom nových genotypov v populácii— — znížená genetická diverzita—— pretože klonálne vlastnosti Agácia produkuje geneticky identické potomstvo, čím postupne zužuje genofond – – a nakoniec sa znížila odolnosť ekosystému. Genetická diverzita podporuje adaptačnú schopnosť rastlinných populácií voči narušeniam prostredia; jej zníženie spôsobuje, že ekosystém sa pomalšie zotavuje z udalostí, ako je sucho alebo extrémne teploty – — poruchy, ktoré sa častejšie vyskytujú na zelených strechách ako na úrovni terénu.

V prípade hmyzu obmedzené dôkazy ukazujú, že RF-EMF pri frekvenciách nad 6 GHz vedie k zvýšenej absorpcii energie v dôsledku rezonančných efektov veľkosti tela a že vystavenie žiareniu s frekvenciou 2,4 a 5,8 GHz sa spája so zhoršenou schopnosťou návratu domov u včiel medonosných a so zníženou návštevnosťou kvetov čmeliakmi. Keďže včely opeľujú niektoré druhy rastlín na zelených strechách, tieto behaviorálne účinky predstavujú ďalšiu dráhu, ktorou môžu RF-EMF ovplyvniť fungovanie ekosystému zelených striech, nezávisle od priamych účinkov na rastliny.

Vo všeobecnosti náš výskum naznačuje, že RF-EMF z antén základňových staníc by sa malo považovať za významný environmentálny faktor v týchto biotopoch. Tento záver spája dve fázy nášho preskúmania: Fáza 1 stanovuje, že zelené strechy v blízkosti antén pravidelne zažívajú úrovne RF-EMF v biologicky relevantnom rozsahu a fáza 2 stanovuje, že tento rozsah je dostatočný na vyvolanie molekulárnych a fyziologických stresových reakcií u rastlín a zmien správania u hmyzu prostredníctvom netermálnych mechanizmov, ktoré súčasné bezpečnostné normy nie sú navrhnuté tak, aby ich detekovali alebo obmedzili. Neexistuje však žiadny empirický výskum, ktorý by sa priamo zaoberal touto hypotézou pre jedinečné prostredia— zelených striech – vysoko uzavreté ekosystémy s potenciálne vysokými expozíciami RF- konkrétne zákony nechránia neľudské orgány- izmy na strechách alebo inde.

Poďakovania

Publikáciu spolufinancoval poľský minister vedy a vysokého školstva v rámci Stratégie Poznańskej univerzity biologických vied na roky 2024 – 2026 v oblasti zlepšovania vedeckého výskumu a vývoja v prioritných výskumných oblastiach. Autori použili na parafrázovanie a opravu pravopisu a gramatiky program Claude Sonnet 4.6 (Anthropic). Všetok obsah bol skontrolovaný a overený autormi, ktorí preberajú plnú zodpovednosť za integritu práce.

Informácie o článku

Historické dátumy
Prijaté: 6. marca 2026
Schválené: 26. mája 2026
Prijatý rukopis online: 9. júna 2026 Verzia záznamu online: 22. júla 2026

Autorské práva
© 2026 Autori. Toto dielo je licencované podLicencia Creative Commons Attribution 4.0 International(CC BY 4.0), ktorá povoľuje neobmedzené použitie, distribúciu a reprodukciu v akomkoľvek médiu za predpokladu, že sú uvedení pôvodní autori a zdroj.

Dostupnosť údajov

Údaje získané alebo analyzované počas tejto štúdie sú uvedené v plnom rozsahu v publikovanom článku a jeho doplnkových materiáloch.

Informácie o autorovi

ORCID autora

Marek Czerwińskihttps://orcid.org/0000-0001-8570-9307

Príspevky autorov

Konceptualizácia: MC, LRV
Vyšetrovanie: MC, LRV, AT
Dohľad: MC
Vizualizácia: MC, AT
Písanie – pôvodný návrh: MC, LRV, AV, AT
Písanie – kontrola a úprava: MC, LRV, AV, AT

Protirečiace záujmy

Autori vyhlasujú, že neexistujú žiadne konkurenčné záujmy.

Doplnkový materiál

Doplňujúce údaje sú k dispozícii v článku na adresehttps: // doi.org/10.1139/er-2026-0053.

Referencie

Adhikari, B., Adhikari, M., Ghimire, B., Adhikari, BC, Park, G. a Choi, EH 2020. Priming semien studenou plazmou moduluje rast, redox homeostázu a stresovú reakciu indukciou reaktívnych foriem v paradajkách (*Solanum lycopersicum*). Biológia voľných radikálov. Med.**156**: 57–69. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2020.06.003.

Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026

Agence National des Fréquences. 2019. Modelizácia miest radioélectriques et des périmètres de sécurité pour le public. Vodiaca technika, ANFR. doi:https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/expace/Guide-perimetres-securite-DR-17-6.pdf. Alanko, T., Hietanen, M. a Nandelstadh, P. von. 2008. Pracovné vystavenie RF poliam z antén základňových staníc na strechách. Ann. Telecommun.–Ann. Télécommun.**63**(1): 125–132. doi:10.1007/s12243-007-0001-6.

Baltrėnas, P., Buckus, R. a Vasarevičius, S. 2012. Výskum a hodnotenie Stanovenie parametrov intenzity elektromagnetických polí vytváraných anténami mobilnej komunikácie. J. Environ. Eng. Landsc. Manag. **20**(4): 273–284. doi:10.3846/16486897.2012.738680.

Bandara, P. a Carpenter, DO 2018. Planétne elektromagnetické znečisteniecia: je čas zhodnotiť jej vplyv. Lancet Planet. Zdravie,**2**(12): e512–e514. doi:10.1016/S2542-5196(18)30221-3.

Beckers, GJ a Conrath, U. 2007. Príprava na odolnosť voči stresu: od z laboratória do terénu. Curr. Opin. Plant Biol.**10**(4): 425–431. doi:10.1016/j.pbi.2007.06.002.

Begcy, K. a Dresselhaus, T. 2018. Epigenetické reakcie na abiotické stresy počas reprodukčného vývoja obilnín. Plant Reprod. **31**(4): 343–355. doi:10.1007/s00497-018-0343-4.

Bergqvist, U., Friedrich, G., Hamnerius, Y., Martens, L., Neubauer, G., Thuoczy, G. a kol. 2001. Základňové stanice mobilných telekomunikácií— — vystavenie elektromagnetickým poliam. Správa o krátkodobej misii v rámci COST 244bis. Dostupné odhttps://paginas.fe.up.pt/~ee00052 / Krátkodobá_misia.pdf.

Best, BB, Swadek, RK a Burgess, TL 2015. Pôdna zeleň strechy. *V*Ekosystémy zelených striech. *Upravi*RK Sutton. Springer International Publishing, kapitola. s. 139–174. doi:10.1007/978-3-319-14983-7_6.

Braaker, S., Ghazoul, J., Obrist, MK a Moretti, M. 2014. Biotopy konekológia formuje mestské spoločenstvá článkonožcov: kľúčová úloha zelených striech. Ekológia,**95**(4): 1010–1021. doi:10.1890/13-0705.1.

Briggs, D., Beale, L., Bennett, J., Toledano, MB a de Hoogh, K. 2012. Geografický model hustoty rádiofrekvenčného výkonu v okolí stožiarov mobilných telefónov. Sci. Total Environ.**426**: 233–243. doi:10,1016/j.scitotenv.2012.03.066.

Brzozek, C., Mate, R., Bhatt, CR, Loughran, S., Wood, AW a Karipidis, K. 2024. Skúmanie vplyvu antropogénnych rádiofrekvenčných elektromagnetických polí na živočíchy a rastliny v životnom prostredí: analýza zo systematickej mapy. Int. J. Environ. Stud.**81**(5): 2343–2358. doi:10.1080/00207233.2024.2375861.

Buckus, R., Strukčinskienė, B., Raistenskis, J., Stukas, R., Šidlauskienė, A., Čerkauskienė, R. a kol. 2017. Technický prístup k hodnoteniu emisií rádiofrekvenčného žiarenia zo základňových staníc mobilnej telefónie. Int. J. Environ. Res. Public Health,**14**(3): 244. doi:10.3390/ijerph14030244.

Callahan, HS 2005. Využitie umelého výberu na pochopenie plastových rastlín fenotypy1. Integr. Porovnávacia biológia**45**(3): 475–485. doi:10.1093/icb/45. 3.475 .

Carlisle, S. a Piana, M. 2015. Zostava rastlín na zelenej streche a dynamiku. *V*Ekosystémy zelených striech. *Upravi*RK Sutton. Springer International Publishing, kapitola. s. 285–310. doi:10.1007/978-3-319-14983-7_12.

Chen, Z., Dong, Y. a Huang, X. 2022. Reakcie rastlín na UV-B žiarenie: signalizácia, aklimatizácia a tolerancia stresu. Biológia stresu,**2**(1): 51. doi: 10.1007/s44154-022-00076-9.

Christopoulou, MI, Kyritsi, T., Yalofas, A., Koutounidis, D. a Karabetsos, E. 2024. Spustenie siete 5 G NR v Grécku: predbežné merania úrovní vystavenia elektromagnetickým poliam na strechách budov in situ a monitorovacou sieťou. Bioelektromagnetika,**45**(4): 193–199. doi:10. 1002/bem.22502.

Čuchlantsev, AA 2006. Mikrovlnná rádiometria vegetačných porastov. Springer, Dordrecht. Dostupné odhttps://link.springer.com/book/10.1007%2F1-4020-4682-0.

Cook-Patton, SC 2015. Biodiverzita rastlín na zelených strechách. *V*Zelená strecha ekosystémy. *Upravi*RK Sutton. Springer International Publishing, kapitola. s. 193–209. doi:10.1007/978-3-319-14983-7_8. Cucurachi, S., Tamis, WLM, Vijver, MG, Peijnenburg, WJGM, Bolte, JFB a de Snoo, GR 2013. Prehľad ekologických účinkov rádiofrekvenčných elektromagnetických polí (RF-EMF). Environ. Int.**51**: 116–140. doi:10.1016/j.envint.2012.10.009.

Czemiel Berndtsson, J. 2010. Výkonnosť zelenej strechy smerom k manažmentu- Vplyv množstva a kvality odtokovej vody: prehľad. Ekol. Eng.**36**(4): 351–360. doi:10.1016/j.ecoleng.2009.12.014.

Czerwiński, M., Januszkiewicz,Ł.,Vian, A. a Lázaro, A. 2020. Vplyv bioaktívneho žiarenia mobilnej telefónie na úrovni rastlinného spoločenstva – — možné mechanizmy a ukazovatele účinkov. Ecol. Indic.**108**: 105683. doi:10.1016/j.ecolind.2019. 105683.

Czerwiński, M., Vian, A., Woodcock, BA, Goliński, P., Recuero Virto, L. a Januszkiewicz,Ł.2023. Ovplyvňujú elektromagnetické polia používané v telekomunikáciách druhy voľne rastúcich rastlín? Štúdia kontrolného vplyvu vykonaná v teréne. Ecol. Indic.**150**: 110267. doi:10.1016/j.ecolind.2023,110267.

Das, R., Biswas, S., Das, R. a Biswas, S. 2022. Vplyv abiotických dôraz na produkciu a kvalitu semien. *V*Aktualizácie biológie semien. IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.106045.

De Borre, E. a Thielens, A. 2025. Dozimetria elektromagnetického žiarenia postoj vodného životného štádia Aedes aegypti. *V*Zborník zo sympózia Medzinárodnej spoločnosti pre aplikovanú výpočtovú elektromagnetiku (ACES) z roku 2025. str. 1–2. Dostupné nahttp://hdl.handle.net /1854/LU-01JS213ECEN7E7GWC2SMYSE1KB[prístup 13. júna 2025]. doi:10.23919/ACES66556.2025.11052596.

De Borre, E., Joseph, W., Aminzadeh, R., Müller, P., Boone, MN, Josipovic, I. a kol. 2021. Vystavenie rádiofrekvenčnému žiareniu komára žltej zimnice (*A. aegypti*) od 2 do 240 GHz. PLoS výpočtová technika. Biol.**17**(10.): e1009460. doi: 10.1371/časopis.pcbi.1009460.

de FH Silva, RQ, Rodrigues, MEC, Pinheiro, FSR, da Silva, GS, da C., a kol. 2025. Nový prístup k hodnoteniu vystavenia rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam v budovách v blízkosti telekomunikačnej infraštruktúry. Sci. Total Environ.**992**: 179853. doi:10.1016/j.scitotenv.2025,179853.

de Paula, RC, de Paula, NF a Marino, CL 2012. Šľachtiteľská trvalka druhy pre abiotický stres. *V*Šľachtenie rastlín na toleranciu voči abiotickému stresu. *Upravi*R. Fritsche-Neto a A. Borém. Springer, Berlín, Heidelberg. s. 157–172. doi:10.1007/978-3-642-30553-5_10.

Des Marais, DL a Juenger, TE 2010. Pleiotropia, plasticita a vývoj tolerancie rastlín voči abiotickému stresu. Ann. NY Acad. Sci. **1206**(1): 56–79. doi:10.1111/j.1749-6632.2010.05703.x.

FCC. 1997. Hodnotenie súladu s usmerneniami FCC pre ľudské exvystavenie rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam. *V*Úrad pre inžinierstvo a technológie Federálnej komunikačnej komisie. Dostupné odhttps://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technolog y/Documents/bulletins/oet65/oet65.pdf.

Fernandez-Cañero, R., and Gonzalez-Redondo, P. 2010. Zelené strechy ako biotop pre vtáky: prehľad. J. Anim. Vet. Adv.**9**(15): 2041–2052. doi:10.3923/javaa.2010.2041.2052.

Fulthorpe, R., MacIvor, JS, Jia, P. a Yasui, S.-LE 2018. Zelená strecha mikrobióm: zlepšenie prežitia rastlín pre poskytovanie ekosystémových služieb. Front. Ecol. Evol.**6**.doi:10.3389/fevo.2018.00005.

Gajšek, P. a Šimunić, D. 2006. Pracovná expozícia základňovým staniciam – súlad so smernicou EÚ 2004/40/ES. Int. J. Occup. Saf. Ergon. **12**(2): 187–194. doi:10.1080/10803548.2006.11076680.

Gallusci, P., Agius, DR, Moschou, PN, Dobránszki, J., Kaiserli, E., a Martinelli, F. 2023. Hlboko v epigenetických spomienkach stresovaných rastlín. Trends Plant Sci.**28**(2): 142–153. doi:10.1016/j.tplants.2022.09. 004.

García-Cobos, FJ, Paniagua-Sánchez, JM, Gordillo-Guerrero, A., Marabel-Calderón, C., Rufo-Pérez, M. a Jiménez-Barco, A. 2023. Osobný expozimeter spojený s dronom ako systém na meranie elektromagnetických polí prostredia. Environ. Res.**216**: 114483. doi: 10.1016/j.envres.2022.114483.

Grémiaux, A., Girard, S., Guérin, V., Lothier, J., Baluška, F., Davies, E., et al. 2016. Vystavenie elektromagnetickému poľu s nízkou amplitúdou a vysokou frekvenciou spôsobuje oneskorený a znížený rast u Rosa hybrida. J. Plant Physiol. **190**: 44–53. doi:10.1016/j.jplph.2015.11.004.

GSMA. 2014. Ekonomický dopad prísnejších limitov elektromagnetických polí na zavádzanie výpočtov mobilných širokopásmových sietí z Talianska a Poľska (Príloha k: Ľubovoľné limity vystavenia rádiovým frekvenciám: Vplyv na zavádzanie siete 4 G). Publikácie GSMA, Londýn, Spojené kráľovstvo. Dostupné na http://www.gsma.com/about-us/regions/europe/wp-content/up loads/2014/11/Arbitrary-Radio-Frequencyexposure-limits_Impact-on - 4G-siete-nasadenie_Príloha_FINAL.pdf.

Halgamuge, MN 2017. Prehľad: expozícia slabému rádiofrekvenčnému žiareniu- určite z žiarenia mobilných telefónov na rastliny. Elektromagnetická biológia. Med. **36**(2): 213–235. doi:10.1080/15368378.2016.1220389

Halgamuge, MN, Yak, SK a Eberhardt, JL 2015. Znížený rast Sadenice sóje po vystavení slabému mikrovlnnému žiareniu z mobilného telefónu a základňovej stanice GSM 900. Bioelektromagnetika,**36**(2): 87–95. doi:10.1002/BEM.21890.

Hamiti, E., Ibrani, M., Ahma, L., Shala, V. a Halili, R. 2016. Com- Paratívna analýza úrovní vystavenia elektromagnetickému poľu a určenie minimálnych bezpečných vzdialeností od základňových staníc mobilných telefónov v mestských oblastiach. Program Elektromagnetický výskum M.**50**: 117–128. doi:10.2528/PIERM16072506.

He, QQ, Yang, WC a Hu, YX 2013. Presná metóda odhadu EM žiarenie zo základňovej stanice GSM. Prog. Electromagn. Res. M.**34**: 19–27. doi:10.2528/PIERM13091301.

Herben, T., Šerá, B. a Klimešová, J. 2015. Klonálny rast a sexuálna reprodukcia: kompromisy a environmentálne obmedzenia. Oikos,**124**(4): 469–476. doi:10.1111/oik.01692.

Hilker, M. a Schmülling, T. 2019. Stresová stimulácia, pamäť a signifikácia nálenie v rastlinách. Prostredie rastlinnej bunky.**42**(3): 753–761. doi:10.1111/ks 13526.

Hoch, JMK, Rhodes, ME, Shek, KL, Dinwiddie, D., Hiebert, TC, Gill, AS a kol. 2019. Pôdne mikrobiálne spoločenstvá sú spojené so zložením rastlinných spoločenstiev a prispievajú k ekosystémovým službám na mestských zelených strechách. Front. Ecol. Evol.**7**.doi:10.3389/fevo.2019.00198. Holubová, Ľ., Kyzek, S., Ďurovcová, I., Fabová, J., Horváthová, E., Ševčovičová, A. a Gálová, E. 2020. Netermálna plazma— — nový zelený základný náter pre rastliny? Int. J. Mol. Sci.**21**(24): 9466. doi:10. 3390/ijms21249466.

Hong, W., Guo, R. a Tang, H. 2019. Posúdenie potenciálu a implementácia stratégia rozvoja pre ozelenenie striech vo vysoko urbanizovaných oblastiach: prípadová štúdia v meste Šen-čen v Číne. Mestá,**95**: 102468. doi:10.1016/j.cities. 2019.102468.

ICNIRP. 1998. Pokyny pre obmedzenie vystavenia časovo premenlivým elektrickým, magnetické a elektromagnetické polia (do 300 GHz). Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením. Zdravotná fyzika.**74**(4): 494–522.

ICNIRP. 2020. Pokyny na obmedzenie vystavenia elektromagnetickým poliam (100 kHz až 300 GHz). Zdravotná fyzika.**118**(5): 483–524. doi:10.1097/HP. 0000000000001210.

ICRP. 2014. Ochrana životného prostredia v rôznych expozičných situáciách- ácie. Publikácia ICRP 124. Výr. ICRP,**43**(1):. Dostupné odhttps: // www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20124IEEE.

2019. Norma IEEE pre úrovne bezpečnosti s ohľadom na ľudské vystavenie elektrickým, magnetickým a elektromagnetickým poliam, 0 Hz až 300 GHz. IEEE Std C95.1-2019 (revízia IEEE Std C95.1-2005/ Zahŕňa IEEE Std C95.1-2019/Cor 1-2019). str. 1–312. doi:10. 1109/ IEEESTD.2019.8859679.

Medzinárodná telekomunikačná únia. 2019. Odporúčanie. K.Sup14 (09/19): vplyv limitov vystavenia RF-EMF, ktoré sú prísnejšie ako smernice ICNIRP alebo IEEE na zavádzanie mobilných sietí 4 G a 5 G. Odporúčanie. Dostupné od https://www.itu.int/rec/T-REC-K.Sup14-201909-I.

Medzinárodná telekomunikačná únia. 2023. Odporúčanie ITU-R M.2160-0: rámec a celkové ciele budúceho rozvoja IMT do roku 2030 a neskôr. Odporúčanie. Dostupné od https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2160-0-202311-I/en.

Jacques, C., Salon, C., Barnard, RL, Vernoud, V. a Prudent, M. 2021. Pamäť stresu zo sucha na úrovni rastlinného cyklu: prehľad. Rastliny (Bazilej),**10**(9): 1873. doi:10.3390/rastliny10091873.

Jalilian, H., Eeftens, M., Ziaei, M. a Röösli, M. 2019. Verejná expozícia k rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam v každodennom mikroprostredí: aktualizovaný systematický prehľad pre Európu. Environ. Res.**176**: 108517. doi:10.1016/j.envres.2019.05.048.

Jeladze, V., Nozadze, T., Partsvania, B., Thielens, A., Shoshiashvili, L., a Gogoladze, T. 2025. Numerická dozimetria špecifickej absorpcie hmyzu vystaveného elektromagnetickým poliam s diaľkovým rádiofrekvenčným spektrom. Int. J. Radiat. Biol.**101**(3): 327–340. doi:10.1080/09553002.2024. 2442693.

Joseph, W., Aerts, S., Vandenbossche, M., Thielens, A. a Martens, L. 2016. Merací systém založený na drone na hodnotenie vystavenia rádiofrekvenčnému žiareniu. Bioelektromagnetika,**37**(3): 195–199. doi: 10.1002/ bém.21964.

Karadağ, T., Yüceer, M. a Abbasov, T. 2016. Rozsiahle meranie- Analýza, analýza a modelovanie úrovní elektromagnetického žiarenia v blízkosti základňových staníc GSM/UMTS v mestskej oblasti. Radiat. Prot. Dosim.**168**(1): 134–147. doi:10.1093/rpd/ncv008.

Karipidis, K., Brzozek, C., Bhatt, CR, Loughran, S. a Wood, A. 2021. Aké existujú dôkazy o vplyve antropogénnych rádiofrekvenčných elektromagnetických polí na zvieratá a rastliny v životnom prostredí? Systematický mapový protokol. Environ. Evid.**10**(1): 39. doi:10. 1186/ s13750-021-00252-w.

Kaur, G. a Asthir, B. 2017. Molekulárne reakcie na stres zo sucha v rastliny. Biol. Rastlina.**61**(2): 201–209. doi:10.1007/s10535-016-0700-9.

Kaur, S., Vian, A., Chandel, S., Singh, HP, Batish, DR a Kohli, RK 2021. Citlivosť rastlín na vysokofrekvenčné elektromagnetické žiarenie: bunkové mechanizmy a morfologické zmeny. Rev. Environ. Sci. Biotechnol.**20**(1): 55–74. doi:10.1007/ s11157-020-09563-9.

Köhler, M. a Ksiazek-Mikenas, K. 2018. Kapitola 3.14— — zelené strechy ako biotopy pre biodiverzitu. *V*Stratégie založené na prírode pre udržateľnosť miest a budov. *Upravil*G. Pérez a K. Perini. Butterworth-Heinemann. s. 239–249. doi:10.1016/B978-0-12-812150-4.00022-7.

Koppel, T., Ahonen, M., Carlberg, M., Hedendahl, LK a Hardell, L. 2019. Rádiofrekvenčné žiarenie z blízkych základňových staníc mobilných telefónov – porovnanie prípadov jedného bytu s nízkou a jedného bytu s vysokou expozíciou. Oncol. Lett.**18 rokov**(5): 5383–5391. doi:10.3892/ol.2019.10899.

Lázaro, A., Chroni, A., Tscheulin, T., Devalez, J., Matsoukas, C. a Petanidou, T. 2016. Elektromagnetické žiarenie mobilných telekomunikačných antén ovplyvňuje početnosť a zloženie voľne žijúcich opeľovačov. J. Insect Conserv.**20**(2): 315–324. doi:10.1007/ s10841-016-9868-8.

Levitt, BB, Lai, HC a Manville, AM 2022a. Účinky neionizujúcich látok elektromagnetické polia na flóru a faunu, 2. časť, vplyvy: ako druhy interagujú s prírodnými a človekom vytvorenými elektromagnetickými polími. Rev. Environ. Health. **37**(3): 327–406. doi:10.1515/reveh-2021-0050.

Levitt, BB, Lai, HC a Manville, AM 2022b. Účinky neionizujúcich látok elektromagnetické polia na flóru a faunu, časť 3. Normy expozície, verejná politika, zákony a budúce smerovanie. Rev. Environ. Health,**37**(4): 531–558. doi:10.1515/reveh-2021-0083.

Levitt, BB, Lai, HC, Manville, AM a Scarato, T. 2025. Flóra a fauna: ako neľudské druhy interagujú s prírodnými a človekom vytvorenými elektromagnetickými políciami na úrovni ekosystémov a odporúčania verejnej politiky. Front. Verejné zdravie,**13**Hranice. doi:10.3389/ fpubh.2025.1693873. Lodeyro, AF, Krapp, AR a Carrillo, N. 2021. Fotosyntéza a Redoxná signalizácia chloroplastov v dobe globálneho otepľovania: tolerancia stresu, aklimatizácia a vývojová plasticita. J. Exp. Bot.**72**(16): 5919–5937. doi:10.1093/jxb/erab270.

MacIvor, JS a Ksiazek, K. 2015. Bezstavovce na zelených strechách. *V*Zelená strešné ekosystémy. *Upravil*RK Sutton. Springer International Publishing, kapitola. s. 333–355. doi:10.1007/978-3-319-14983-7_14.

Majumder, MMK a Taher, KA 2021. Výzvy žiarenia z telekomunikačné inštalácie v Bangladéši. *V*Medzinárodná konferencia o informačných a komunikačných technológiách pre trvalo udržateľný rozvoj (ICICT4SD) 2021. s. 395–399. doi:10.1109/ ICICT4SD50815.2021.9396880.

McGuire, KL, Payne, SG, Orazi, G. a Palmer, MI 2015. Baktérie a huby v ekosystémoch zelených striech. *V*Ekosystémy zelených striech. *Upravil* RK Sutton. Springer International Publishing, kapitola. s. 175–191. doi: 10.1007/978-3-319-14983-7_7.

Mittler, R., Zandalinas, SI, Fichman, Y. a Van Breusegem, F. 2022. Signalizácia reaktívnych foriem kyslíka v stresových reakciách rastlín. Nat. Rev. Mol. Cell Biol.**23**(10): 663–679. doi:10.1038/s41580-022-00499-2Nawaz, M., Sun, J., Shabbir, S., Khattak, WA, Ren, G., Nie, X. a kol. 2023. Prehľad stratégií rastlín na odolnosť voči biotickým a abiotickým environmentálnym stresorom. Sci. Total Environ.**900**: 165832. doi:10.1016/ j.scitotenv. 2023,165832.

Náš svet v dátach. 2026. Mestská populácia. Svetová banka na základe údajov. z Divízie OSN pre populáciu (2026). *V*Ukazovatele svetového rozvoja 125. Dostupné zhttps://ourworldindata.org/urbanization. Pophof, B., Henschenmacher, B., Kattnig, DR, Kuhne, J., Vian, A. a Ziegelberger, G. 2023. Biologické účinky rádiofrekvenčných elektromagnetických polí nad 100 MHz na faunu a flóru: správa z workshopu. Health Phys.**124**(1): 31–38. doi:10.1097/HP.0000000000001625.

Porcher, A., Girard, S., Bonnet, P., Rouveure, R., Guérin, V., Paladian, F., a Vian, A. 2023. Netermálna elektromagnetická expozícia s frekvenciou 2,45 GHz

Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026

spôsobuje rýchle zmeny v metabolizme Arabidopsis thaliana. J. Plant Physiol.**286**: 153999. doi:10.1016/j.jplph.2023.153999.
Porcher, A., Wilmot, N., Bonnet, P., Procaccio, V. a Vian, A. 2024. Zmeny v génovej expresii po vystavení rastlín arabidopsis thaliana nanosekundovým impulzom elektromagnetického poľa s vysokou amplitúdou. Bioelektromagnetika,**45**(1): 4–15. doi:10.1002/bem.22475Răcuciu, M. a Miclăus, S. 2007. Nízkoúrovňové elektromagnetické vyžarovanie s frekvenciou 900 MHz vplyv poľa na rastlinné tkanivo. Rom. J. Biophys.**17**: 149–156. Rahman, MM, Shams, S. a Pengiran Ismail, PHRI 2021. Zelená strecha dodatočná montáž: prípadová štúdia. Int. J. Integr. Eng.**13**(7): 81–88. doi:10.30880/ijie.2021.13.07.010.
Rankenberg, T., Geldhof, B., Veen, H. van, Holsteens, K., Poel, BV de a Sasidharan, R. 2021. Odolnosť rastlín voči abiotickému stresu závislá od veku. Trends Plant Sci.**26**(7): 692–705. doi:10.1016/j.tplants.2020.12.016.
Recuero Virto, L., Czerwiński, M. a Froidevaux, J. 2024. význam legislatívnych opatrení pre rádiofrekvenčné elektromagnetické polia (RF-EMF) s nástupom 5G: Empirická analýza s celosvetovým prierezovým súborom údajov. Analýza rizika.**44**(9): 2046–2088. doi:10.1111/risa. 14298.
Roux, D., Vian, A., Girard, S., Bonnet, P., Paladian, F., Davies, E. a Ledoigt, G. 2006. Elektromagnetické polia (900 MHz) vyvolávajú konzistentné molekulárne reakcie v rastlinách rajčiaka. Physiol. Plant.**128** (2): 283–288. doi:10.1111/j.1399-3054.2006.00740.x.
Roux, D., Vian, A., Girard, S., Bonnet, P., Paladian, F., Davies, E., a Ledoigt, G. 2008. Vysokofrekvenčné (900 MHz) elektromagnetické pole s nízkou amplitúdou (5 V m-1): skutočný environmentálny stimul, ktorý ovplyvňuje transkripciu, transláciu, vápnik a energetický náboj v paradajke. Planta,**227**(4): 883–891. doi:10.1007/ s00425-007-0664-2.

Rowe, B. 2015. Dlhodobé spoločenstvá rastlín na strechách.*V*Zelená strecha ekosystémy.*Upravil*RK Sutton. Springer International Publishing, kapitola. s. 311–332. doi:10.1007/978-3-319-14983-7_13.
Saeid, SH 2008. Teoretický odhad úrovní hustoty výkonu okolo základňové stanice mobilných telefónov. J. Sci. Technol.**13**(2): 3-16.
Sato, H., Mizoi, J., Shinozaki, K. a Yamaguchi-Shinozaki, K. 2024. Komplexné reakcie rastlín na sucho a tepelný stres v dôsledku klimatických zmien. Plant J.**117**(6): 1873–1892. doi:10.1111/tpj.16612
Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, JA, Folke, C. a Walker, B. 2001. Katastrofické zmeny v ekosystémoch. Príroda,**413**(6856): 591–596. doi:10.1038/35098000.
Senavirathna, MD a Asaeda, T. 2014. Význam mikrovĺn v životnom prostredí a jeho vplyv na rastliny. Environ. Rev.**22**(3): 220–228. doi:10.1139/er-2013-0061.
Shaar-Moshe, L., Hayouka, R., Roessner, U. a Peleg, Z. 2019. Fenotypické a metabolická plasticita formuje stratégie životného cyklu v kombináciách abiotických stresov. Plant Direct,**3**(1): e00113. doi: 10.1002/pld3. 113.
Sharma, M., Kumar, P., Verma, V., Sharma, R., Bhargava, B. a Irfan, M. 2022. Pochopenie pamäťovej stresovej reakcie rastlín pre odolnosť voči abiotickému stresu: molekulárne poznatky a perspektívy. Plant Physiol. Biochem. **179**: 10–24. doi:10.1016/j.plaphy.2022.03.004.
Sharma, VP, Singh, HP, Kohli, RK a Batish, DR 2009. Mobilný telefón Žiarenie inhibuje rast koreňov Vigna radiata (mungo fazule) vyvolaním oxidačného stresu. Sci. Total Environ.**407**(21): 5543–5547. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.07.006.
Silva, CM, Flores-Colen, I. a Antunes, M. 2017. Postupný prístup k hodnoteniu potenciálu modernizácie zelených striech v mestských oblastiach: prípadová štúdia Lisabonu, Urban For. Urban Green.**25**: 120–129. doi:10.1016/j.ufug.2017.04.018.
Slowik, TJ, Thorvilson, HG a Green, BL 1996. Červený importovaný oheň Reakcia mravcov (hymenoptera: formicidae) na prúd a vodivý materiál aktívnych elektrických zariadení. J. Econ. Entomol.**89**(2): 347–352. doi: 10.1093/jee/89.2.347.
Sommese, F. a Diana, L. 2025. Holistický rámec pre ne- Implementácia zelených striech na existujúcich budovách: prípadová štúdia v stredomorskom podnebí Neapola. Stavba. Životné prostredie.**274**: 112811. doi: 10.1016/j.buildenv.2025.112811.
Stefi, AL, Margaritis, LH a Christodoulakis, NS 2016. Účinok neionizujúceho žiarenia na pestovaných rastlinách Arabidopsis thaliana (Col.). Flóra,**223**: 114–120. doi:10.1016/j.flora.2016.05.008.
Stefi, AL, Margaritis, LH a Christodoulakis, NS 2017a. Účinok neionizujúce žiarenie na vystavenej kukurici pestovanej v laboratóriu (*Zea mays*L.) rastliny. Flóra,**233**: 22–30. doi:10.1016/j.flora.2017.05.008.
Stefi, AL, Margaritis, LH a Christodoulakis, NS 2017b. Po- matematika dlhodobého vystavenia neionizujúcemu žiareniu na laboratórne pestovaných borovicových rastlinách (*Pinus halepensis*M.). Flóra,**234**: 173–186. doi:10.1016/j.flora.2017.07.016.
Sutton, RK 2015a. Úvod do ekosystémov zelených striech.*V*Zelená strecha ekosystémy.*Upravil*RK Sutton. Springer International Publishing, kapitola. s. 1–25. doi:10.1007/978-3-319-14983-7_1.
Sutton, RK a Lambrinos, J. 2015. Ekosystémy zelených striech: súhrn- Mária a syntéza.*V*Ekosystémy zelených striech.*Upravil*RK Sutton. Springer International Publishing, kapitola. s. 423–440. doi:10.1007/978-3-319-14983-7_17.
Sutton, RK (*Redaktor*) 2015b. Ekosystémy zelených striech. 1. vyd. Springer, Čam.
Tafforeau, M., Verdus, M.-C., Norris, V., White, GJ, Cole, M., Demarty, M. a kol. 2004. Citlivosť rastlín na elektromagnetické žiarenie s nízkou intenzitou 105 GHz. Bioelektromagnetika,**25**(6): 403–407. doi:10. 1002/bem.10205.
Tafforeau, M., Verdus, MC, Norris, V., Ripoll, C. a Thellier, M. 2006. Pamäťové procesy v reakcii rastlín na signály z prostredia. Rastlina. Signál. Správanie.**1**(1): 9–14. doi:10.4161/psb.1.1.2164. Thellier, M., Le Sceller, L., Norris, V., Verdus, MC a Ripoll, C. 2000. Diaľkový prenos, ukladanie a vybavovanie morfogenetických informácií v rastlinách. Existencia akejsi primitívnej rastlinnej „pamäte“. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences – Séria III – Sciences de la Vie.**323**(1): 81–91. doi:10.1016/s0764-4469(00)00108-6
Thielens, A. 2021. Vplyvy 5G na životné prostredie: prehľad literatúry účinky vystavenia stavovcov, bezstavovcov a rastlín iným ako človek rádiofrekvenčnému elektromagnetickému poľu. Európska parlamentná výskumná služba sekretariátu Európskeho parlamentu, Brusel. doi:10.2861/318352.
Thielens, A., Bell, D., Mortimore, DB, Greco, MK, Martens, L. a Joseph, W. 2018. Vystavenie hmyzu rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam od 2 do 120 GHz. Sci. Rep.**8**(1): 3924. doi: 10.1038/ s41598-018-22271-3.
Thielens, A., Greco, MK, Verloock, L., Martens, L. a Joseph, W. 2020. Vystavenie západných včiel medonosných rádiofrekvenčnému elektromagnetickému poľu. Sci. Rep.**10**(1): 461. doi:10.1038/s41598-019-56948-0.
Thielens, A., Vanveerdeghem, P., Van Torre, P., Gängler, S., Röösli, M., Rogier, H. a kol. 2016. Osobný, distribuovaný expozimeter: postup návrhu, kalibrácie, validácie a aplikácie. Senzory,**16**(2): 180. doi: 10.3390/s16020180.
Thielens, A., Vermeeren, G., Kurup, D., Joseph, W. a Martens, L. 2013. Hranice zhody pre antény základňových staníc s viacerými frekvenciami v troch smeroch. Bioelektromagnetika,**34**(6): 465–478. doi:10.1002/bem.21778.
Thill, A., Cammaerts, M.-C. a Balmori, A. 2024. Biologické účinky elektromagnetických polí na hmyz: systematický prehľad a metaanalýza. Rev. Environ. Health,**39**(4): 853–869. doi:10.1515/reveh-2023-0072.
Thors, B., Thielens, A., Fridén, J., Colombi, D., Törnevik, C., Vermeeren, G. a kol. 2014. Posúdenie zhody rádiofrekvenčného elektromagnetického poľa viacpásmových a MIMO vybavených rádiových základňových staníc. Bioelektromagnetika,**35**(4): 296–308. doi:10.1002/bem.21843Toribio, D. a Thielens, A. 2025. Rádiofrekvenčné elektromagnetické pole expozícia hmyzu vo vzdialenosti 10 cm od antény. IEEE Antény Wirel. Propag. Lett.**24**(2): 414–418. doi:10.1109/LAWP.2024.3501977Törnevik, C. 2017, 5. decembra. Vplyv limitov EMF na sieť 5G. zavedenie. Varšava.
Treder, M., Glück, M., Anglicko, SJ a Traynor, KS 2025. Rádiofre- Frekvenčné elektromagnetické polia znižujú návštevnosť kvetov čmeliakmi. Životné prostredie. Znečistenie.**384**: 126836. doi:10.1016/j.envpol.2025.126836.
Treder, M., Müller, M., Fellner, L., Traynor, K. a Rosenkranz, P. 2023. Definované vystavenie kolónií včiel medonosných simulovaným rádiofrekvenčným elektromagnetickým poliam (RF-EMF): negatívne účinky na schopnosť navádzania včiel, ale nie na vývoj alebo dlhovekosť plodu. Sci. Total Environ. **896**: 165211. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.165211Rozvojový program OSN. 2021. Príručka o inteligentných mestských inováciách. UNDP. Dostupné odhttps: //www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2021-11/UNDP-Handbook-on-Smart-Urban-Innovations-V2.pdf.
van Rongen, E. 2014. Princípy radiačnej ochrany: Podobnosti a rozdiely medzi ionizujúcim a neionizujúcim žiarením. Ženeva, Švajčiarsko.

Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026

van Zandt, PA, Tobler, MA, Mouton, E., Hasenstein, KH a Mopper, S. 2003. Pozitívne a negatívne dôsledky slanosti pre rast a reprodukciu klonálnej rastliny Iris hexagona. J. Ecol. **91**(5): 837–846. doi:10.1046/j.1365-2745.2003.00806.x. Vanbergen, AJ, Potts, SG, Vian, A., Malkemper, EP, Young, J. a Tscheulin, T. 2019. Riziko antropogénneho elektromagnetického žiarenia (EMR) pre opeľovače: Medzery v dôkazoch a poznatkoch. Sci. Total Environ.**695**: 133833. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.133833Vian, A., Davies, E. a Bonnet, P. 2013. Medzibunková komunikácia v rastliny: dôkaz signálu generovaného EMF, ktorý vyvoláva lokálne a systémové transkripčné reakcie v paradajkách. *V*Diaľková systémová signalizácia a komunikácia v rastlinách. *Upravil*F. Baluška. Springer Berlin Heidelberg, Berlín, Heidelberg. s. 309–321. doi:10.1007/978-3-642-36470-9_16.

Vian, A., Davies, E., Gendraud, M. a Bonnet, P. 2016. Odpovede rastlín vysokofrekvenčným elektromagnetickým poliam. Biomed. Res. Int.**2016**: 1. doi:10.1155/2016/1830262.

Vijayaraghavan, K. 2016. Zelené strechy: kritický pohľad na úlohu komunálnych komponenty, výhody, obmedzenia a trendy. Obnoviť. Udržať. Energetická rev. **57**: 740–752. doi:10.1016/j.rser.2015.12.119.

Waldmann-Selsam, C., Balmori-de la Puente, A., Breunig, H. a Balmori, A. 2016. Rádiofrekvenčné žiarenie poškodzuje stromy v okolí základňových staníc mobilných telefónov. Sci. Total Environ.**572**: 554–569. doi:10,1016/j.scitotenv.2016.08.045PMID:27552133.

Svetová zdravotnícka organizácia. 2017. Limity expozície pre rádiofrekvenčné žiarenie polia (verejné) –— údaje podľa krajiny. Svetová zdravotnícka organizácia. Dostupné schopný zhttps://apps.who.int/gho/data/view.main.EMFLIMITSPUBRÁDIOFREKVENCIA[prístup 18. marca 2025].

Xiao, Y. a Watson, M. 2017. Pokyny k vykonávaniu systémového prehľad atickej literatúry. *V*Časopis pre plánovanie vzdelávania a výskumu. SAGE Publications, Sage CA, Los Angeles, CA. doi:10.1177/0739456X17723971.

Yi Lim, NC, Yong, L., Su, HT, Yu Hao Chai, A., Vithanawasam, CK, potom, YL a Siang Tay, F. 2020. Prehľad vplyvov teploty a vlhkosti na RF signály. *V*2020 13. medzinárodná inžinierska konferencia UNIMAS (EnCon). s. 1–8. doi:10.1109/EnCon51501.2020.9299327. Zarie, E., Sepehri, B., Adibhesami, MA, Pourjafar, MR, a Karimi, H. 2024. Stratégia pre poskytnutie tretieho rozmeru mestským verejným zeleným priestorom: prípadová štúdia Qasrodasht, Shiraz. Nature-Based Sol.**5**: 100102. doi:10.1016/j.nbsj.2023.100102.

Environ. Rev. Stiahnuté z cdnsciencepub.com používateľom 188.167.251.119 dňa 01.09.2026