

Ocena tveganja za levkemije zaradi nizkofrekvenčnega magnetnega polja pri slovenskih otrocih in mladostnikih

Evaluation of risk of leukaemias for exposure to low frequency magnetic field in Slovenian children and adolescents

Žagar Tina¹, Tomšič Sonja¹, Korat Sara², Oblak Teja¹, Zadnik Vesna^{1,3}

¹Onkološki inštitut Ljubljana, Epidemiologija in register raka, Zaloška cesta 2, 1000 Ljubljana

²Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo,

Katedra za genetiko, biotehnologijo, statistiko in žlahtnjenje rastlin, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

³Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana

Korespondenca: dr. Tina Žagar, univ. dipl. fiz.

E-mail: tzagar@onko-i.si

Poslano / Received: 7.10.2021

Sprejeto / Accepted: 23.10.2021

doi: 10.25670/oi2021-015on

IZVLEČEK

Izhodišča: Raziskave kažejo, da bi lahko nizkofrekvenčno magnetno polje (NF MP) gostote več kot 0,4 μT povečalo tveganje za nastanek otroških levkemij. Raziskali smo to tveganje zaradi izpostavljenosti NF MP zaradi bivanja v bližini daljnovidov in transformatorskih postaj v Sloveniji.

Metode: Iz Registra raka Republike Slovenije smo pridobili georeferencirane podatke za vse otroke in mladostnike, stare 0–19 let, zbolele z levkemijo v letih 2005–2016, ter za referenčno populacijo vseh enako starih otrok in mladostnikov. Razdelili smo jih v pet skupin glede na izpostavljenost NF MP v okolici daljnovidov in transformatorskih postaj. Za oceno izpostavljenosti NF MP smo uporabili modelirane vrednosti na drobni prostorski mreži. Relativno tveganje za levkemije smo ocenili s standardiziranim količnikom incidence. Dodatno smo raziskali časovni trend pojavljanja levkemij v obdobju 1967–2016 ter geografsko razporejanje.

Rezultati: V letih 1967–2016 je za levkemijami zbolelo 841 otrok in mladostnikov (16 na leto). V letih 2005–2016 je velika večina vseh otrok in mladostnikov (99,5 %) v Sloveniji živela na območjih z NF MP, manjšim od 0,1 μT . Med 195 primeri levkemij se je v $0,1 \leq \text{NF MP} < 0,2 \mu\text{T}$ blizu daljnovidov razvrstil eden (SKI = 2,4, IZ: 0,1–13,3), v bližini transformatorskih postaj

pa pet primerov (SKI = 3,0; IZ: 0,97–7,0). V področju gostote NF MP, večje od 0,2 μT , ni bilo zbolelih. Levkemije se niso statistično značilno geografsko razporejale.

Zaključki: V Sloveniji nobenega primera levkemij med slovenskimi otroci in mladostniki, starimi do vključno 19 let, ki živijo v okolici daljnovidov in transformatorskih postaj, ne moremo pripisati vplivu izpostavljenosti NF MP.

Ključne besede: ocena tveganja, otroci, levkemije, nizkofrekvenčno magnetno polje, daljnovodi, transformatorske postaje

ABSTRACT

Introduction: Some studies show that low-frequency magnetic fields (LF-MF) of density more than 0.4 μT could pose higher risk of leukaemias in children. Our aim was to evaluate the risk of leukaemias in children and adolescents, exposed to LF-MF by living near power lines and transformer stations in Slovenia.

Methods: From Slovenian Cancer Registry, the georeferenced data on children and adolescents (aged 0–19 years) with leukaemias and reference population in years 2005–2016 was obtained. Cohorts were distributed into five groups by exposure to LF-MF near power lines and transformer stations. For estimating exposure we used modelled values on a fine spatial grid. The relative risk of leukaemias

mias was estimated by standardised incidence ratio. Additionally we investigated time trends in period 1967–2016 and geographical distribution.

Results: *In 1967–2016, there were 841 children and adolescents with leukaemias (16 per year). In 2005–2016, the majority of population (99.5%) was not exposed to LF-MF higher than $0.1\mu T$. Out of 195 leukaemias, one person lived in area with $0.1 \leq LF-MF < 0.2\mu T$ near power lines ($SIR=2.4$, $CI 0.1-13.3$) and five cases near transformer stations ($SIR=3.0$, $CI 0.97-7.0$). There were no cases of leukemias in the exposure area of LF-MF density more than $0.2\mu T$. There was no significant geographical distribution.*

Conclusions: *In Slovenia, none of the cases of leukaemias in children and adolescents could be attributed to exposure to LF-MF near power lines and transformer stations.*

Keywords: *risk evaluation, children, leukaemias, low frequency magnetic field, power lines, transformer stations*

UVOD

Na nastanek raka lahko vplivajo različni nevarnostni dejavniki (1). Na vznik bolezni vplivajo trajanje in jakost izpostavljenosti, kombinacija dejavnikov ter trajanje od izpostavljenosti (tako imenovana latentna doba), ki kljub temu ne morejo popolnoma pojasniti nastanka bolezni pri posamezniku. Povezavo in vzročnost med posameznim nevarnostnim dejavnikom in določenim rakom raziskujejo epidemiološke študije (2). Ionizirno sevanje je znan nevarnostni dejavnik za razvoj levkemij in raka ščitnice, medtem ko rakotvornost neionizirnega sevanja doslej ni bila znanstveno dokazana (3–5).

Med neionizirna sevanja se uvršča nizkofrekvenčno magnetno polje (NF MP), ki se vzpostavi ob pretoku električnega toka po umetnih virih, kot so visokonapetostni daljnovodi (DV) in transformatorske postaje (TP). Največja gostota NF MP je v neposredni bližini vira in z oddaljenostjo zelo hitro pada (6, 7). Za vire v bližini bivališč slovenska uredba (UL RS 70/1996) predpisuje desetkrat manjšo dopustno gostoto NF MP ($10\mu T$) kot evropska ($100\mu T$), izmerjene vrednosti v bližini daljnovodov pa temu pogoju ustrezajo (6, 7). Kljub temu veliko ljudi izraža strah in zaskrbljenost zaradi morebitnih negativnih učinkov na zdravje, ki bi se lahko pojavili po dolgotrajni izpostavljenosti NF MP (8). Izkazuje se predvsem strah pred povečanim tveganjem raka.

Mednarodna agencija za raziskovanje raka (IARC) Svetovne zdravstvene organizacije je leta 2002 uvrstila nizkofrekvenčno magnetno polje v skupino 2B, torej med snovi, ki so morda rakotvorne za človeka (9). Po ponovni presoji leta 2015 je Znanstveni odbor za novougotovljena zdravstvena tveganja Evropske komisije (SCHENIHR) potrdil to povezavo, vendar nove raziskave niso vse potrdile te povezave ali pa je bila povezava statistično šibka (10). Nekatere (vendar ne vse) raziskave so pokazale, da je tveganje morda povečano samo za nastanek otroških levkemij pri dolgotrajni dnevni izpostavljenosti gostoti NF MP, večji od 0,3 oziroma 0,4 μT , odvisno od raziskave (11–14).

Rak pri otrocih in mladostnikih je redka bolezen, saj predstavlja manj kot 1 % vseh rakov v Sloveniji (15). V tej starosti so najpogostejše pojavljajo levkemije, za katere razen izpostavljenosti benzenu in ionizirnemu sevanju nevarnostnih dejavnikov za nastanek ne poznamo dobro (3, 16, 17).

V multidisciplinarni epidemiološki študiji smo želeli raziskati, ali imajo otroci in mladostniki, ki so izpostavljeni nizkofrekvenčnemu magnetnemu polju zaradi bivanja v bližini visokonapetostnih daljnovodov in transformatorskih postaj v Sloveniji, večje tveganje za pojav levkemije.

METODE

Izvedli smo retrospektivno ekološko geografsko študijo v populaciji slovenskih otrok in mladostnikov za obdobje 1967–2016. Iz podatkov Registra raka Republike Slovenije smo v proučevano kohorto vključili populacijo vseh otrok in mladostnikov, starih od vključno 19 let, ki so v obdobju 1967–2016 zboleli za levkemijami, opredeljenimi z diagnozami C91–C95 po MKB-10 (18). Referenčna kohorta je bila populacija vseh otrok in mladostnikov po enakih starostnih skupinah, enakih koledarskih letih in enakih geografskih enotah Slovenije. Dodatne podatke smo pridobili iz baze SI-STAT Statističnega urada Republike Slovenije in Centralnega registra prebivalstva. Naslov stalnega bivališča je služil kot nadomestni kazalnik izpostavljenosti NF MP.

Cilj raziskave je bil čim bolj natančno oceniti tveganje za razvoj levkemije pri otrocih in mladostnikih v Sloveniji, ki so bili izpostavljeni NF MP zaradi bivanja v okolici daljnovodov in transformatorskih postaj.

Raziskava je bila izvedena v okviru projekta Ocena zdravstvenih tveganj zaradi izpostavljenosti otrok virom nizkofrekvenčnih električnih in magnetnih (EM) polj v Sloveniji 2018–2021 (ARRS št. V3-1718 (C)), ki smo ga v sodelovanju izvedli Onkološki inštitut Ljubljana, Inštitut za neionizirna sevanja in Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani.

Časovni trend in geografska razporeditev

V prvem delu raziskave smo raziskali trend incidence levkemij pri otrocih in mladostnikih v 50-letnem obdobju (1967–2016) in morebitne geografske vzorce pojavljanja na območju Slovenije. Časovni trend smo ocenjevali v petih zaporednih desetletnih obdobjih.

Za nepristransko oceno tveganja za nastanek levkemij smo uporabili standardizirani količnik incidence (SKI) (2). Izračunali smo ga kot razmerje med opazovanim in pričakovanim številom primerov bolezni v posamezni skupini za določeno geografsko enoto in časovno obdobje. SKI je enak ena, ko je incidenca v opazovani skupini enaka pričakovani, večji od ena, ko je incidenca večja od pričakovane, in manjši, ko je manjša od pričakovane. Pričakovano število primerov bolezni smo izračunali kot vsoto starostno specifičnih incidenčnih stopenj v referenčni populaciji, pomnoženo s številom prebivalcev v isti starostni skupini (2).

Geografsko razporejanje primerov levkemij po upravnih enotah in desetletnih obdobjih smo raziskali z zemljevidi SKI in jih ocenili vizualno; za zmanjšanje vpliva naključnega razporejanja v geografskem prostoru Slovenije pa smo uporabili še metode prostorskega glajenja. Na neglajenih zemljevidih smo skupke celotnega geografskega območja preverjali s statistiko Moranov I, kjer je vrednost do minus ena pomenila urejen in razpršen vzorec, proti ena pa nakazovanje skupin (19). Za glajenje zemljevidov smo uporabili hierarhični Bayesov model. Skupke smo preverjali z razmerjem natančnosti prostorske in heterogene slučajne komponente τ_s/τ_n , kjer razmerje manj kot ena pomeni, da ima večji pomen prostorska komponenta zaradi manjše variabilnosti in obratno (20).

Dodatno smo geografsko razporejanje primerov levkemij za obdobje 2005–2016 prikazali z glajenjem po metodi lokalno ocenjenega standardiziranega količnika incidence (LOSKI); za zajem smo določili največji premer okna 8000 m in minimalno zajeto število prebivalcev 300 (21).

Analizo trendov smo izvedli z regresijsko analizo v programskem orodju Jointpoint. Preostalo analizo in risanje zemljevidov smo izvedli v programskem jeziku R in orodju RStudio z dodatnimi paketi.

Tveganje levkemije glede na izpostavljenost nizkofrekvenčnemu magnetnemu polju

V drugem delu smo raziskali tveganje za nastanek levkemij glede na izpostavljenost NF MP na območju daljnovodov in transformatorskih postaj v krajšem, 12-letnem obdobju (2005–2016), saj za zgodnejša leta ni georeferenciranih podatkov koordinat bivališča. Obe kohorti otrok in mladostnikov smo razvrstili po kategorijah izpostavljenosti gostotam NF MP glede na njihovo stalno bivališče. Analizo smo naredili ločeno za visokonapetostne daljnovode (DV) (110, 220 in 400 kV) in transformatorske postaje (TP) (6, 7, 22).

Vrednosti gostote NF MP, ki nastaja na območju navedenih virov, smo razporedili v pet kategorij izpostavljenosti ($< 0,1 \mu\text{T}$; $0,1-0,2 \mu\text{T}$; $0,2-0,3 \mu\text{T}$; $0,3-0,4 \mu\text{T}$ in $\geq 0,4 \mu\text{T}$). Vrednost gostote NF MP v bližini vseh obstoječih transformatorskih postaj in visokonapetostnih daljnovodov v Sloveniji so izračunali na Inštitutu za neionizirna sevanja (INIS) (7, 22). Uporabili so inovativen model ocenjevanja NF MP na 10-krat 10-metrski prostorski mreži z upoštevanjem nazivne napetosti posameznega daljnovođa ter njihovo medsebojno prekrivanje. Izračunane vrednosti so validirali z izmerjenimi ob rednem obratovalnem monitoringu. V raziskavi smo vsakemu otroku in mladostniku na podlagi točkovnih koordinat njihovega bivališča (upoštevali smo centroid bivališča, saj nismo poznali dejanske velikosti objekta) po metodi najbližjih sosedov pripisali evklidsko razdaljo do najbližje točke na tej drobni prostorski mreži in s tem določili kategorijo izpostavljenosti NF MP (7, 22, 23).

Za različne kategorije izpostavljenosti NF MP v okolici DV in TP smo določili SKI in pripadajoči 95-odstotni interval zaupanja. Analizo in risanje zemljevidov smo izvedli v programskem jeziku R in orodju RStudio z dodatnimi paketi in shape files.

REZULTATI

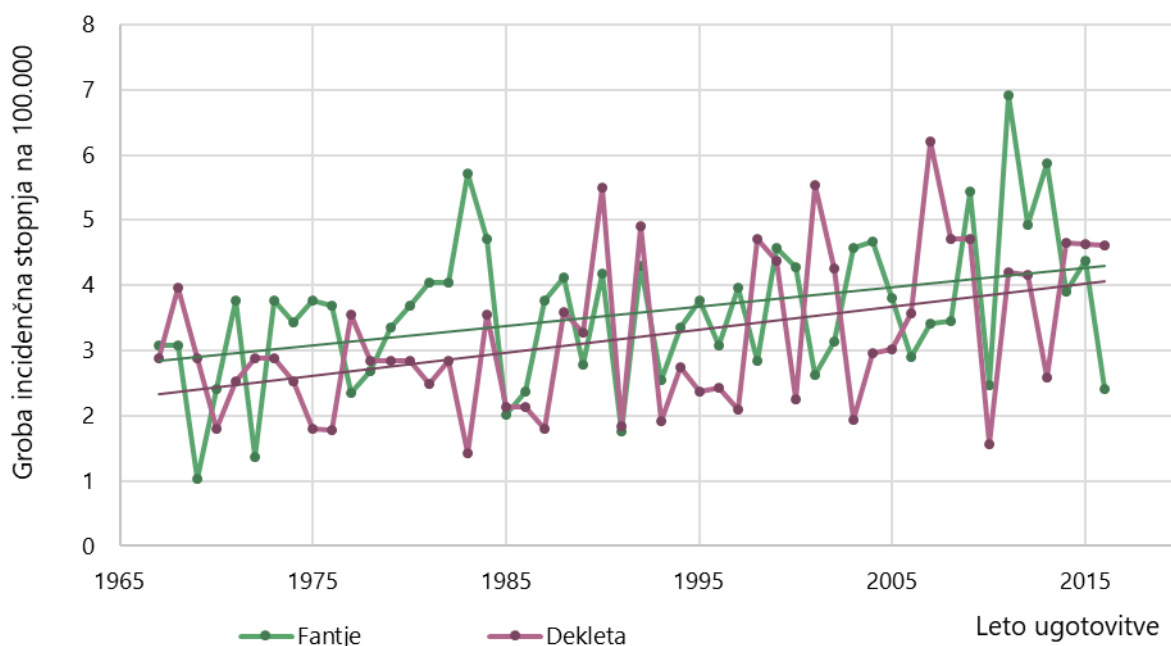
Časovni trend in geografska razporeditev

Register raka je od leta 1967 do 2016 zabeležil 841 primerov levkemij pri otrocih in mladostnikih, ki so bili ob diagnozi boleznih stari do vključno 19 let. Večina levkemij glede na MKB-10 so bile akutne limfoblastne levkemije, njihov delež pa se je z 38 % v obdobju 1967–1976 povečal na 75 % po letu 1987.

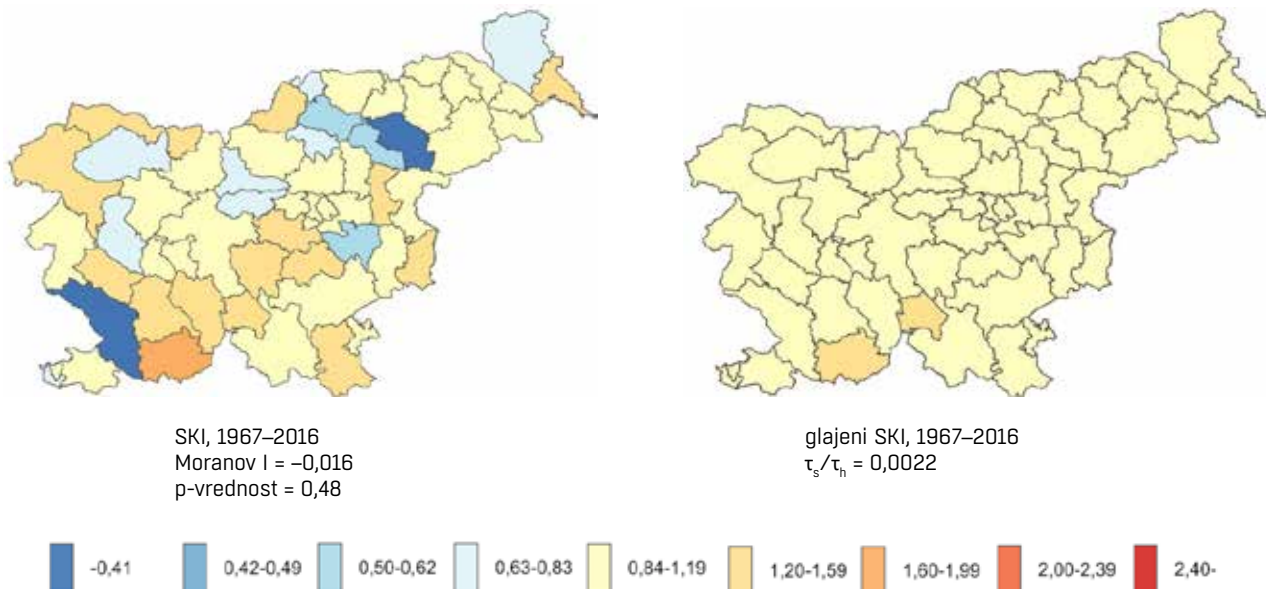
Incidenca levkemij je bila približno 16 na leto. Povprečna letna sprememba v grobi incidenčni stopnji na 100.000 prebivalcev je v 50 letih enakomerno statistično značilno rasla pri fantih in dekletih za povprečno 1 % na leto (slika 1). Pri obeh spolih skupaj je statistično značilna linearna rast 0,94 % na leto (95 % IZ je 0,48–1,141). V zadnjem desetletnem obdobju (2007–2016) je groba incidenčna stopnja levkemij tako znašala 4,3/100.000; izmed vseh otrok in mladostnikov, starih 0–19 let v tem obdobju, je eden od 23.400 zbolel za levkemijo. Geografsko razporejanje neglajenega in glajenega SKI levkemij v Sloveniji ni bilo statistično značilno v nobenem desetletnem obdobju, na zemljevidu (slika 2) pa v tem prispevku prikazujemo le za celotno obdobje 1967–2016.

Metoda LOSKI temelji na georeferenciranih točkovnih podatkih, zato je tako pridobljen zemljevid veliko bolj podroben od običajnih prikazov bremena bolezni in razkriva lokalne vzorce, ki pripomorejo, da lahko prepoznamo območja, za katera so potrebne nadaljnje raziskave. Na zemljevidu levkemij pripravljenih z metodo LOSKI pri otrocih in mladostnikih, starih do 19 let (slika 3), je glajenje prisotno v manjši meri, saj zaradi majhnega števila prebivalcev že en primer raka premakne vrednost SKI v neki mrežni točki z blizu nič (temno zelena barva na zemljevidu) na vrednost, ki označuje veliko tveganje (temno rjava barva na zemljevidu). Vendar zaradi metodologije priprave zemljevida območij LOSKI z majhno ali veliko vrednostjo SKI ne moremo interpretirati kot območja z nizkim/visokim tveganjem, temveč gre za klasični primer problema majhnih števil.

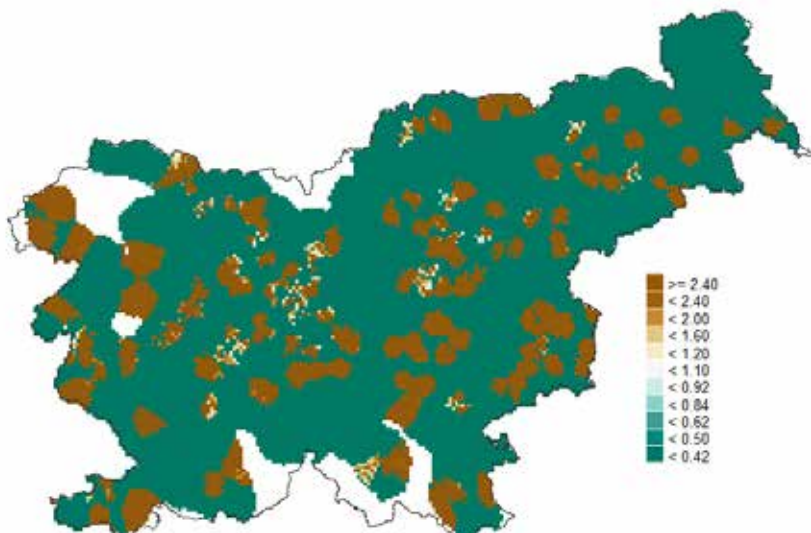
Slika 1: Groba incidenčna stopnja otrok in mladostnikov, starih 0–19 let, s prikazanim linearnim trendom zbolelih za levkemijo po spolu (letna sprememba pri fantih 0,9 % in dekletih 1,0 %, $p < 0,05$) in letu ugotovitve v Sloveniji v letih 1967–2016.



Slika 2: Otroci in mladostniki (starost 0–19 let), zboleli za levkemijo, po upravnih enotah v Sloveniji v letih 1967–2016. Na levi strani so nezglajene vrednosti standardiziranega količnika incidence (SKI) s statistiko Moranov I in pripadajočo p-vrednostjo. Na desni strani so vrednosti, zglajene z geografskim Bayesovim hierarhičnim modelom, z razmerjem med variabilnostjo prostorsko odvisne in heterogene komponente (τ_s/τ_h).



Slika 3: Lokalno ocenjeni standardizirani količnik incidence (LOSKI) za levkemije pri otrocih in mladostnikih (starost 0–19 let) v Sloveniji v letih 2005–2016. Pogoji za najmanjše število prebivalcev v premikajočem se oknu je 300, zgornji omejitveni velikosti okna je 8.000 m.



Tveganje levkemije glede na izpostavljenost nizkofrekvenčnemu magnetnemu polju

Razvrstitev prebivalcev in zbolelih za levkemijo po kategorijah izpostavljenosti NF MP prikazujemo v tabeli 1. Večina otrok in mladostnikov, zbolelih za levkemijo v obdobju 2005–2016, se je uvrstila v najnižjo kategorijo NF MP < 0,1 μ T. Le en mladostnik (0,5 % vseh) z levkemijo je bil izpostavljen gostoti NF MP 0,1–0,2 μ T na območju 110-kilovoltnega daljnovođa. V okolici transformatorskih postaj je bilo pet otrok in mladostnikov (2,6 %), zbolelih za levkemijo, ki so bili vsi izpostavljeni gostoti NF MP 0,1–0,2 μ T. V celotnem obdobju 1967–2016 ni bilo primerov levkemij v kategoriji izpostavljenosti z višjo gostoto NF MP pri obeh vrstah virov.

V populaciji vseh otrok in mladostnikov do dopolnjenega 19. leta starosti v obdobju 2005–2016 velika večina ni živela v bližini virov NF MP. Na območju izpostavljenosti NF MP več kot 0,3 μ T se razvršča 0,14 % oziroma le 0,09 % otrok v območja z več kot 0,4 μ T, če upoštevamo sočasni vpliv vseh 110-, 220- in 400-kilovoltnih daljnovođov. V okolici transformatorskih postaj pa je delež otrok s prebivališčem na območju z NF MP več kot 0,3 μ T 1,4 % (oziroma 0,6 %, če se omejimo le na območje z več kot 0,4 μ T). Transformatorske postaje so gosteje umeščene v urbana okolja, zato ne presenečajo večji deleži otrok v višjih kategorijah.

V tabeli 2 smo prikazali relativno tveganje za levkemije po vseh kategorijah izpostavljenosti. V kategoriji NF MP 0,1–0,2 μ T je bil razvrščen le en zboleli za levkemijo s stalnim prebivališčem v bližini 110 kV. Izračunan SKI za to kategorijo v okolici daljnovođov je 2,4 (95 % IZ je 0,1–13,3). V okolici transformatorskih postaj pa se je v isto drugo kategorijo razvrstilo pet primerov levkemij; SKI je 3,0 (95 % IZ je 0,97–6,99). Noben primer levkemij ni bil razvrščen v višje kategorije ne v okolici daljnovođov in ne v okolici transformatorskih postaj.

RAZPRAVA

Levkiemije so najpogostejši raki pri otrocih in mladostnikih, vendar nevarnostni dejavniki za njihov nastanek niso popolnoma razjasnjeni (3, 16). Nekatere raziskave so pokazale, da se morda lahko poveča tveganje za razvoj levkemij pri dolgotrajni dnevni izpostavljenosti nizkofrekvenčnemu magnetnemu polju, večjem od 0,3 oziroma 0,4 μ T, odvisno od raziskave (11–14). V naši raziskavi smo želeli opredeliti, kakšno tveganje za nastanek levkemij imajo otroci in mladostniki, stari do vključno 19 let, ki so bili izpostavljeni NF MP v bližini daljnovođov in transformatorskih postaj v Sloveniji v obdobju 1967–2016.

Populacijski podatki Registra raka Republike Slovenije za celotno 50-letno obdobje kažejo, da so levkemije pri otrocih in mladostnikih redka bolezen z letnim pojavljanjem manj kot 6 primerov na 100.000 prebivalcev. Z različnimi metodami smo potrdili povprečno letno rast grobe incidenčne stopnje levkemij za povprečno 1 % (z 2,8 v obdobju 1967–1976 na 4,3 na 100.000 prebivalcev v obdobju 2007–2016), kar ugotavljajo tudi druge raziskave (24, 25). Med možnimi razlogi za rast strokovnjaki raziskujejo povezavo s socioekonomskim statusom staršev, kasnejšo izpostavljenostjo okužbam v otroštvu, mešanje populacij in drugo, vendar dokazov ni (24, 26, 27).

V celotnem 50-letnem obdobju nismo dokazali statistično značilnega geografskega razporejanja relativnega tveganja za levkemije pri otrocih in mladostnikih, opažene razlike v tveganju so naključne. Z zemljevidom LOSKI za obdobje 2007–2016 smo prikazali razporeditev primerov levkemij po območju Slovenije in hkrati učinkovito zakrili občutljive osebne podatke, vendar o samem razporejanju tveganja nismo mogli sklepati zaradi klasičnega problema majhnih števil (21, 23).

Raziskave ugotavljajo, da je izpostavljenost otrok višjim gostotam NF MP verjetno manjša od 2 % populacije (28, 29). Za Slovenijo je bila v preteklosti podana ocena, da je gostoti NF MP, večji od 0,4 μ T, izpostavljen do največ 1 % otrok (30). V naši raziskavi smo z inovativnim modelom ocenjevanja NF MP na drobni prostorski

Tabela 1: Razvrstitev populacije otrok in mladostnikov v primerjavi z otroki in mladostniki (v oklepaju), zbolelimi za levkemijo, v starosti 0–19 let, po petih kategorijah izpostavljenosti nizkofrekvenčnemu magnetnemu polju v okolici daljnovođov in transformatorskih postaj v Sloveniji v letih 2005–2016.

Vir/gostota NF MP	< 0,1 μ T	0,1–0,2 μ T	0,2–0,3 μ T	0,3–0,4 μ T	\geq 0,4 μ T	Skupaj
visokonapetostni daljnovođi	639.197 (194)	1322 (1)	727 (0)	302 (0)	579 (0)	642.127 (195)
transformatorske postaje	626.387 (190)	7038 (5)	115 (0)	4891 (0)	3696 (0)	642.127 (195)

Opomba: NF MP – nizkofrekvenčno magnetno polje.

Tabela 2: Standardizirani količnik incidence za levkemije pri otrocih in mladostnikih (starost 0–19 let) z intervalom zaupanja v dveh kategorijah izpostavljenosti nizkofrekvenčnemu magnetnemu polju v okolici daljnovođov in transformatorskih postaj v Sloveniji v letih 2005–2016.

Vir/gostota NF MP	< 0,1 μ T	0,1–0,2 μ T
visokonapetostni daljnovođi	1,0 (I:E = 194:194,1) (95 % IZ 0,9–1,2)	2,4 (I:E = 1:0,4) (95 % IZ 0,1–13,3)
transformatorske postaje	0,99 (I:E = 190:191,4) (95 % IZ 0,85–1,14)	3,00 (I:E = 5:1,7) (95 % IZ 0,97–6,99)

Opombe: NF MP – nizkofrekvenčno magnetno polje, I – opazovano število primerov levkemij v populaciji, E – pričakovano število primerov levkemij v populaciji, IZ – interval zaupanja.

mreži in z georeferenciranjem bivališč ter virov elektroenergetskega omrežja na območju Slovenije zelo natančno določili izpostavljenost NF MP pri otrocih in mladostnikih, starih do 19 let, v obdobju 2005-2016, ki živijo v bližini daljnovodov in transformatorskih postaj (22, 23).

Ugotovili smo, da kar 99,5 % oziroma 97,5 % vseh otrok in mladostnikov ni živel v takšni bližini daljnovodov in transformatorskih postaj, da bi se uvrstili v kategorijo izpostavljenosti več kot 0,1 μ T NF MP. Ugotovitev se sklada z ocenami drugih raziskav (28, 29). V območju morebiti rakotvorne gostote NF MP v okolici daljnovodov je bilo v naši kohorti vseh otrok in mladostnikov vsaj eno leto izpostavljenih zgolj 0,14 % otrok in mladostnikov, v območju NF MP, večjega od 0,4 μ T, pa 0,09 % vseh.

Ker se otroci in mladostniki daljši čas zadržujejo v vzgojno-izobraževalnih zavodih, smo v raziskavi dodatno opredelili izpostavljenost NF MP v vseh 1883 vzgojno-izobraževalnih zavodih v Sloveniji leta 2019 (23). Ugotovili smo, da je gostota izpostavljenosti NF MP za vse zavode, manjša od 0,1 μ T.

Po teoretičnih ocenah bi v Sloveniji lahko izpostavljenosti NF MP pripisali zgolj kakšen primer otroške levkemije na več let (30). V naši raziskavi smo relativno tveganje za levkemije pri otrocih in mladostnikih, starih 0-19 let, lahko analizirali za 12-letno obdobje (2005-2016), saj za zgodnejša leta ni bilo na voljo georeferenciranih podatkov. V okolici daljnovodov (kombinacija 110, 220 in 400 kV) se je le en otrok z levkemijo uvrstil v kategorijo gostote NF MP med 0,1 in 0,2 μ T. En primer levkemije je tako »prestavil« vse prebivalce iz te skupine z relativnega tveganja nič na relativno tveganje več kot ena. Čeprav se zdi vrednost relativnega tveganja za izpostavljene primere levkemij visoka, je interval zaupanja pri vseh širok in nikjer ni statistično značilen; obenem ne moremo izmeriti 0,4 ali 1,7 človeka, navedena v pričakovanem številu primerov. Enako velja za pet primerov levkemij v bližini TP iz iste kategorije izpostavljenosti; tu je primerov malo več, saj so transformatorske postaje bolj gosto umeščene na bivalnih območjih (6, 7). V naši raziskavi smo ugotovili, da je bila večina otrok in mladostnikov, zbolelih za levkemijo, izpostavljenih NF MP najnižje kategorije gostote. Prav tako ni bilo nobenega primera levkemij v področju gostote NF MP, ki so morebiti rakotvorne. Zato nismo mogli ugotavljati morebitnega trenda tveganja z večanjem gostote izpostavljenosti.

V naši raziskavi nobenega primera levkemij v proučevani populaciji torej ne moremo pripisati izpostavljenosti NF MP. Relativno tveganje za levkemije se pri otrocih in mladostnikih, ki živijo v okolici daljnovodov in transformatorskih postaj, ne razlikuje od povprečnega tveganja v splošni populaciji. Naše ugotovitve so v skladu z drugimi podobnimi raziskavami, ne moremo pa neposredno primerjati rezultatov z drugimi raziskavami zaradi drugačne (po našem mnenju boljše) metodologije ocene izpostavljenosti, razdalje do virov in odsotnosti primerov v kategoriji morebiti rakotvorne izpostavljenosti NF MP (29, 31, 32). K nastanku levkemij pri otrocih in mladostnikih verjetno prispevajo drugi nevarnostni dejavniki, ki še niso razjasnjeni ali pa se ne razporejajo prostorsko, na njihovo ugotavljanje pa lahko vplivajo tudi moteči dejavniki v razmerju do razdalje ali časovnega obdobja (16, 17, 30, 33).

Prednosti raziskave

Ključna prednost naše raziskave je bila, da smo vključili populacijske podatke Registra raka Republike Slovenije, ki je tudi mednarodno priznan kot zanesljiv vir podatkov o zbolelosti za rakom (34). S tem smo se izognili študiji primerov in kontrol ter hkrati pristranosti izbora in udeležbe (2, 14). Pristranosti razvrščanja smo se izognili s tem, da smo tako primere raka kot splošno prebivalstvo razvrstili po enakih kategorijah gostote izpostavljenosti

NF MP. Obenem smo prvič združili tri vire točkovnih podatkov z največjim možnim naborom na najmanjšem prostorskem nivoju in v tako dolgem časovnem obdobju.

Za vire v elektroenergetskem omrežju v Sloveniji smo natančno ocenili NF MP (6, 7). Poleg visokonapetostnih daljnovodov smo ocenili izpostavljenost še za 17.500 transformatorskih postaj, ki so tudi pomemben vir NF MP, saj so lahko umeščene tik ob bivališčih ali na samih objektih (6, 7). Za oceno smo uporabili inovativen, natančen model na fini prostorski mreži, ki je bolj zanesljiv kot približki izpostavljenosti, ki so jih uporabljale preostale raziskave (na primer evklidska oddaljenost od vodnikov, vprašalniki idr.) (35-37). Hkrati so bile izračunane vrednosti validirane z izmerjenimi.

Bivališče kot nadomestni kazalnik izpostavljenosti NF MP je pri otrocih bolj zanesljiv kot pri odraslih, saj se večino dneva zadržujejo v bližini doma in bližnji okolici. Poleg tega se manj selijo. Dodatno smo preverili tudi lokacije vzgojno-izobraževalnih ustanov. Običajno je pri študijah vpliva nevarnostnih dejavnikov na pojavljanje raka treba paziti na morebitne pristranosti zaradi neupoštevanja dolge latentne dobe, saj incidenca levkemij doseže vrh pri 3 letih starosti (15).

Omejitve raziskave

Ključna omejitev naše raziskave je majhno število primerov levkemij med otroki in mladostniki, česar statistične metode ne morejo izničiti. Zato smo pri izračunu relativnega tveganja dobili zelo široke intervale zaupanja – izračunani SKI niso statistično značilni.

Relativno tveganje za nastanek levkemij smo lahko analizirali za 12-letno obdobje, in ne za daljši čas, saj pred tem ni na voljo georeferenciranih podatkov. V analizi smo upoštevali podatke o stalnem prebivališču prebivalcev do starosti 19 let za vsako vključeno koledarsko leto posebej, nismo pa mogli pridobiti podatkov o vseh morebitnih selitvah posameznika znotraj koledarskega leta in pred letom 2005. Obenem nismo imeli podatkov o njihovi dnevni mobilnosti (21, 23).

ZAKLJUČEK

V Sloveniji nobenega primera levkemij pri otrocih in mladostnikih, starih do vključno 19 let, v analiziranem obdobju 2005-2016 ne moremo pripisati vplivu izpostavljenosti nizkofrekvenčnim magnetnim poljem v okolici daljnovodov in transformatorskih postaj. Velika večina slovenske splošne populacije otrok in mladostnikov, starih do vključno 19 let, ni izpostavljenih pomembni gostoti nizkofrekvenčnih magnetnih polj kljub pogostosti virov.

LITERATURA

1. Lewandowska AM, Rudzki M, Rudzki S, Lewandowski T, Laskowska B. Environmental risk factors for cancer – review paper. *Ann Agric Environ Med* 2019;26(1):1–7. doi: 10.26444/aaem/94299.
2. Dos Santos Silva I. *Cancer epidemiology: principal and methods*. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 1999.
3. Jin MW, Xu SM, An Q, Wang P. A review of risk factors for childhood leukemia. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2016;20(18):3760–3764. PMID 27735044.
4. Iglesias ML, Schmidt A, Ghuzlan AA, Lacroix L, Vathaire F, Chevillard S, et al. Radiation exposure and thyroid cancer: a review. *Arch Endocrinol Metab* 2017;61(2):180–187. doi: 10.1590/2359-3997000000257.
5. Miah T, Kamat D. Current Understanding of the Health Effects of Electromagnetic Fields. *Pediatr Ann* 2017;46(4):e172–e174. doi: 10.3928/19382359-20170316-01.
6. Gajšek P, Valič B. Električna in magnetna polja – visokonapetostni daljnovodi. Ljubljana: Inštitut za neionizirna sevanja, 2018.
7. Valič B, Gajšek P. Povprečne vrednosti magnetnega polja na območju Slovenije zaradi obratovanja VN daljnovodov. V: 15. konferenca slovenskih elektrotehnikov CIGRE–CIRED. Laško: Slovensko združenje elektroenergetikov, 2021.
8. European Commission. Special Eurobarometer 272a: Electromagnetic fields [poročilo na internetu]. Pridobljeno 7.10.2021 s spletne strani: https://ec.europa.eu/health/ph_determinants/environment/EMF/eb272a_en.pdf.
9. IARC Working group on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Nonionizing radiation, part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. V: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon: International agency for research on cancer, 2002:80:1–395.
10. SCENIHR. Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF), 2015 [poročilo na internetu]. Pridobljeno 7.10.2021 s spletne strani: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf.
11. Bunch KJ, Keegan TJ, Swanson J, Vincent TJ, Murphy MF. Residential distance at birth from overhead high-voltage powerlines: childhood cancer risk in Britain 1962–2008. *Br J Cancer* 2014;110:1402–1408. doi: 10.1038/bjc.2014.15.
12. Swanson J, Bunch KJ. Reanalysis of risks of childhood leukaemia with distance from overhead power lines in the UK. *J Radiol Prot* 2018;38:N30–N35. doi: 10.1088/1361-6498/aac89a.
13. Zhao G, Lin X, Zhou M, Zhao J. Relationship between exposure to extremely low-frequency electromagnetic fields and breast cancer risk: a meta-analysis. *Eur J Gynaecol Oncol* 2014;35:264–269. PMID: 24984538.
14. Kheifets L, Crespi CM, Hooper C, Cockburn M, Amoon AT, Vergara XP. Residential magnetic fields exposure and childhood leukemia: a population-based case-control study in California. *Cancer Causes Control* 2017;28:1117–1123. doi: 10.1007/s10552-017-0951-6.
15. Zadnik V, Primic Žakelj M, Lokar K, Jarm K, Ivanuš U, Žagar T. Cancer burden in Slovenia with the time trends analysis. *Radiol Oncol* 2017;51:47–55. doi: 10.1515/raon-2017-0008.
16. Schüz J, Erdmann F. Environmental exposure and risk of childhood leukemia: an overview. *Arch Med Res* 2016;47:607–614. doi: 10.1016/j.arcmed.2016.11.017.
17. Patel DM, Jones RR, Booth BJ, Olsson AC, Kromhout H, Straif K, et al. Parental occupational exposure to pesticides, animals and organic dust and risk of childhood leukemia and central nervous system tumors: Findings from the International Childhood Cancer Cohort Consortium (I4C). *Int J Cancer* 2020;146(4):943–952. doi: 10.1002/ijc.32388.
18. Zadnik V, Žagar T. SLORA: Slovenija in rak [datoteka podatkov]. Epidemiologija in register raka. Onkološki inštitut Ljubljana, 2021. Pridobljeno 2019–2021 s spletne strani: <https://www.slora.si/>.
19. Waller LA, Gotway CA. *Applied spatial statistics for public health data*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.
20. Zadnik V. Geografska analiza vpliva socialno-ekonomskih dejavnikov na incidenco raka v Sloveniji v obdobju 1995–2002: doktorska disertacija. Ljubljana: Medicinska fakulteta, 2006.
21. Žagar T, Zadnik V, Primic Žakelj M. Local standardized incidence ratio estimates and comparison with other mapping methods for small geographical areas using Slovenian breast cancer data. *Journal of applied statistics* 2011;38:2751–2761. doi.org/10.1080/02664763.2011.570314.
22. Valič B, Košir A, Gajšek P, Kotnik T. Izpostavljenost otrok, ki bivajo v bližini VN daljnovodov in transformatorskih postaj, magnetnemu polju. V: 15. konferenca slovenskih elektrotehnikov CIGRE–CIRED. Laško: Združenje slovenskih elektroenergetikov, 2021.
23. Žagar T, Zadnik V, Tomšič S, Korat S, Lokar K, Mihor A et al. Geografska analiza bremena raka v Sloveniji s poudarkom na bližini visokonapetostnih daljnovodov, kablovodov in transformatorskih postaj z oceno tveganja. Zaključno poročilo raziskave. Ljubljana: Epidemiologija in register raka Republike Slovenije, Onkološki inštitut Ljubljana, 2021.
24. Shah A, Coleman MP. Increasing incidence of childhood leukaemia: a controversy re-examined. *Br J Cancer* 2007;97(7):1009–1012. doi.org/10.1038/sj.bjc.6603946.
25. Steliarova Foucher E, Fidler MM, Colombet M, Lacour B, Kaatsch P, Pineros M, et al. Changing geographical patterns and trends in cancer incidence in children and adolescents in Europe, 1991–2010 (Automated Childhood Cancer Information System): a population-based study. *Lancet Oncol* 2018;19(9):1159–1169. doi: 10.1016/S1470-2045(18)30423-6.
26. McNally RJ, Eden TO. An infectious aetiology for childhood acute leukaemia: a review of the evidence. *Br J Haematol* 2004;127(3):243–63. doi: 10.1111/j.1365-2141.2004.05166.x.
27. Kroll ME, Stiller CA, Murphy MF, Carpenter LM. Childhood leukaemia and socioeconomic status in England and Wales 1976–2005: evidence of higher incidence in relatively affluent communities persists over time. *Br J Cancer* 2011;105(11):1783–7. doi: 10.1038/bjc.2011.415.

28. Crespi CM, Swanson J, Vergara XP, Kheifets L. Childhood leukemia risk in the California Power Line Study: magnetic fields versus distance from power lines. *Environ Res* 2019;171:530–535. doi: 10.1016/j.envres.2019.01.022.
29. Salvan, A, Ranucci A, Lagorio S, Magnani C. Childhood leukemia and 50 Hz magnetic fields: findings from the Italian SETIL case-control study. *Int J Environ Res Public Health* 2015;12:2184–2204. doi.org/10.3390/ijerph120202184.
30. Zadnik V, Tomšič S. Epidemiologija rakov, povezanih z različnimi vrstami sevanj. V: Sevanja in rak. XXVII. Seminar »In memoriam dr. Dušana Reje«. Ljubljana: Zveza slovenskih društev za boj proti raku, Onkološki inštitut Ljubljana, Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2019: 98–100.
31. Crespi CM, Vergara XP, Hooper C, Oksuzyan S, Wu S, Cockburn M, et al. Childhood leukaemia and distance from power lines in California: a population-based case-control study. *Br J Cancer* 2016;115:122–128. doi: 10.1038/bjc.2016.142.
32. Pedersen C, Brauner EV, Rod NH, Albbieri V, Andersen CE, Ulbak K, et al. Distance to high-voltage power lines and risk of childhood leukemia – an analysis of confounding by and interaction with other potential risk factors. *PLoS One* 2014;9(9):e107096. doi: 10.1371/journal.pone.0107096.
33. Roman E, Lightfoot T, Picton S, Kinsey S. Childhood Cancers. In: Thun M, Linet MS, Cerhan JR, Haiman CA, Schottenfeld D, eds. *Cancer Epidemiology and Prevention 4th Edition*. New York: Oxford University Press, 2018.
34. Žagar T, Primic Žakelj M, Zadnik V. Pretok in uporaba informacij v Registru raka - najstarejšem zdravstvenem registru v Sloveniji. *Bilten: ekonomika, organizacija, informatika v zdravstvu* 2007;23:105–110.
35. Zhang Y, Lai J, Ruan G, Chen C, Wang DW. Meta-analysis of extremely low frequency electromagnetic fields and cancer risk: a pooled analysis of epidemiologic studies. *Environ Int* 2016;88:36–43. doi: 10.1016/j.envint.2015.12.012.
36. Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY, Valjus JE, Jarvinen PJ, Heikkila KV, et al. Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *BMJ* 1993;307(6909):895–9. doi: 10.1136/bmj.307.6909.895.
37. Amoon AT, Crespi CM, Ahlbom A, Bhatnagar M, Bray I, Bunch KJ, et al. Proximity to overhead power lines and childhood leukaemia: an international pooled analysis. *Br J Cancer* 2018;119:364–373. doi: 10.1038/s41416-018-0097-7.

© Avtor(ji). To delo je objavljeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva 4.0.

© The author(s). This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

B better meds

Optimizirajte ravnanje z zdravili v vaši bolnišnici.

MEDS. BETTER. CARE

