

ELEKTROMAGNETNA POLJA – ZDRAVJE IN OKOLJE

Odgovorno upravljanje problematike elektromagnetnih polj (EMP) pri umeščanju elektroenergetskih objektov v prostor

Peter Gajšek, Tadej Kotnik



Znanstvena monografija
Elektromagnetna polja – zdravje in okolje

ODGOVORNO UPRAVLJANJE PROBLEMATIKE ELEKTROMAGNETNIH POLJ
(EMP) PRI UMEŠČANJU ELEKTROENERGETSKIH OBJEKTOV V PROSTOR

Izdajatelj: Inštitut za neionizirna sevanja in projekt FORUM EMS
Urednika: doc. dr. Peter Gajšek, prof. dr. Tadej Kotnik
Recenzija: doc. dr. Damijan Škrk, prof. dr. Maja Čemažar,
Oblikovanje: Egist Zagoričnik
Naslovnica: © 2022 Envato Elements Pty Ltd.

Elektronska izdaja
Ljubljana, september 2022

©Vse pravice pridržane. Noben del te monografi je ne sme biti reproduciran, shranjen ali z drugimi sredstvi (elektronskim, mehanskim, s fotokopiranjem, skeniranjem) kakorkoli spremenjen brez predhodnega pisnega soglasja Inštituta za neionizirna sevanja (INIS).

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani
COBISS.SI-ID 118255875
ISBN 978-961-92727-8-7 (Inštitut za neionizirna sevanja, PDF)



ZNANSTVENA MONOGRAFIJA
ELEKTROMAGNETNA POLJA – ZDRAVJE IN OKOLJE

PETER GAJŠEK, TADEJ KOTNIK

**ODGOVORNO UPRAVLJANJE
PROBLEMATIKE
ELEKTROMAGNETNIH POLJ (EMP)
PRI UMEŠČANJU
ELEKTROENERGETSKIH
OBJEKTOV
V PROSTOR**



Vsebina

Predgovor	9
1 Izpostavljenost električnim in magnetnim poljem	15
1.1 Uvod	15
1.2 Ocena izpostavljenosti	16
1.3 Sklepne ugotovitve	33
1.4 Literatura	35
2 Biofizikalni mehanizmi interakcij EMP	39
2.1 Uvod	39
2.2 Znanstvena verjetnost mehanizma	40
2.3 Inducirana električna polja in tokovi	42
2.3.1 Viri električnega šuma	44
2.3.2 Prag za vzdraženje mieliniziranih živcev	46
2.4 Sile na magnetne delce	48
2.5 Prosti radikali	48
2.6 Posredni mehanizmi	49
2.7 Zaključek	50
2.8 Literatura	51

3 Biološki učinki EMP	53
3.1 Katere biološke vplive EMP lahko pričakujemo?	53
3.2 Vplivi na nastanek raka	54
3.3 Nevrodegenerativne bolezni	57
3.4 Kardiovaskularne bolezni	58
3.5 Reproduktivni sistem	59
3.6 Genomska nestabilnost	60
3.7 Terapevtske aplikacije EMP nizkih frekvenc	61
3.8 Zaključek	62
3.9 Literatura	62
4 Vplivi nizkofrekvenčnih EMP na zdravje	65
4.1 Uvod	65
4.2 Epidemiološke raziskave	67
4.3 Vrzeli v znanju in omejitve	76
4.4 Opredelitev izpostavljenosti	76
4.5 Moteči dejavniki	77
4.6 Omejitve	77
4.7 Literatura	78
5 Ocena tveganja za zdravje – načela in ugotovitve	81
5.1 Uvod	81
5.2 Ocena tveganja za zdravje	83
5.3 Zaključek in odprta vprašanja	91
5.4 literatura	94
6 Mejne vrednosti izpostavljenosti EMP	97
6.1 Uvod	97
6.2 Izhodišča za določitev mejnih vrednosti	98
6.3 Mejne vrednosti NF EMP	101
6.4 Pomen mednarodnih smernic ICNIRP	103
6.5 Stanje v državah članicah EU	105
6.6 Stanje v Sloveniji	109
6.7 Literatura	111

7 Ocenjevanje skladnosti	113
7.1 Ocenjevanje skladnosti	113
7.2 Vplivna območja	119
7.3 E-karta NF MP	125
7.4 Literatura	127
8 Proces umeščanja in načrtovanja daljnovodov v prostoru	129
8.1 Uvod	129
8.2 Umeščanje, načrtovanje in dovoljevanje gradnje DV	130
8.3 Problemi pri umeščanju VN DV v prostor	138
8.4 Rešitve	148
8.5 Zaključek	172
8.6 Literatura	173
9 Uvajanje načela previdnosti	175
9.1 Uvod	175
9.2 Preventivni ukrepi – splošna načela	176
9.3 Razumevanje načela previdnosti v luči dogodkov iz preteklosti	182
9.4 Vloga deležnikov pri iskanju rešitev	184
9.5 Sklep	200
9.6 Literatura	201
10 Pomen komuniciranja	205
10.1 Uvod	205
10.2 Komuniciranje tveganj	206
10.3 Zaznavanje tveganj	209
10.4 Komuniciranje z javnostmi	213
10.5 Zaključek	218
10.6 Literatura	219

11 Ukrepi za zmanjšanje EMP v okolici elektroenergetskih objektov	221
11.1 Uvod	221
11.2 Nadzemni visokonapetostni daljnovodi	224
11.3 Podzemni kablovodi	235
11.4 Transformatorske postaje	238
11.5 Zaključek	240
11.6 Literatura	243
12 Stališča ključnih mednarodnih organizacij glede EMP in zdravstvenih tveganj	245
13 Slovarček izrazov	249
O avtorjih	255



Predgovor

Peter Gajšek, Tadej Kotnik

urednika

Javno elektroenergetsko omrežje se je začelo razvijati pred dobrimi 140 leti, že 20 let zatem smo prva takšna omrežja dobili tudi na območju današnje Slovenije. Zaradi vse večjega pomena električne energije in naraščanja njene porabe so se ta omrežja stalno razvijala in dograjevala, za zagotavljanja kakovostne in varne oskrbe z električno energijo pa so redne posodobitve in nadgradnje električnega omrežja nujne tudi danes. Toda kljub več kot stoletni zgodovini uporabe električne energije rekonstrukcije in novogradnje sistemov in naprav elektroenergetskega sistema pogosto naletijo na izrazito odklonilna stališča javnosti. Temu botrujejo strah pred **elektromagnetnimi polji** (v nadaljevanju **EMP**), nezaupanje v institucije, predvsem pa slaba informiranost ter zavajanje javnosti s strani nekaterih političnih in deklarativno okoljevarstveno usmerjenih interesnih skupin.

Znanstveno je potrjeno, da EMP v človekovem telesu povzročajo nastanek polj in tokov, ki imajo lahko pri dovolj visoki jakosti vrsto učinkov, in sicer pri nizkih frekvencah predvsem stimulacijo vzdražnih tkiv (živci, mišice, žleze), pri višjih frekvencah pa segrevanje notranjosti telesa. Zato ostaja odprto vprašanje, ali lahko izpostavljenosti EMP, ki jih ustvarjajo električni sistemi in naprave (daljnovodi, transformatorske postaje, gospodinjski aparati, mobilni telefoni in bazne postaje, ...) predstavljajo povečano zdravstveno tveganje, predvsem za pojav nekaterih vrst raka, izgube spomina ter Parkinsonove in Alzheimerjeve bolezni. Dosedanje epidemiološke raziskave nizkofrekvenčnih (v nadaljevanju NF) magnetnih polj (v nadaljevanju MP) kažejo, da je pri otrocih, pri katerih 24-urna povprečna izpostavljenost MP presega 400 nT, tveganje obolenja za levkemijo približno dvakratnik tveganja pri otrocih, pri katerih je ta izpostavljenost pod 100 nT. Večina raziskav, iz katerih sledi ta ugotovitev, je bila zasnovanih v obliki študije primerov in kontrol, ki so zaradi velike možnosti izbire nereprezentativnega vzorca uvrščene med bolj pristranske epidemiološke metode, zato se v zadnjih letih vrstijo pozivi k bolj načrtovanim in nadzorovanim študijam.

Razhajanja rezultatov znanstvenih raziskav povečujejo strahove in odpor javnosti do elektroenergetskih omrežij in EMP nasploh. Če namreč niti strokovnjaki

niso enotnega mnenja o (ne)škodljivosti novih virov, jih je - tako najbrž menijo ljudje - najboljše zavrnuti. Če je poseg še vsiljen od „zunaj“, na primer če ga vsili država ali kako podjetje, v nekem drugem okolju pa so uspeli postavitev podobnega novega vira onemogočiti ali vsaj prestaviti dlje od svojih bivališč, in/ali če prebivalci od tega vira nimajo neposredne koristi, je razumljivo, da mu bodo aktivno nasprotovali. Za nameček se zaradi pritiska okolja temu nasprotovanju pridružijo tudi nekateri, za katere bi bila ta postavitev morda sprejemljiva. „Pregreto ozračje“ zmanjšuje možnosti za argumentirano dogovarjanje, saj prevladujejo čustva, ki jih razumski argumenti in sklicevanja na znanstvena dognanja ne dosežejo. Nihče pač noče imeti vira potencialnega tveganja za zdravje na lastnem dvorišču. Dokler ljudje ne bodo imeli občutka, da je nadzor nad dogajanjem tudi v njihovih rokah oziroma so v odločanje vključeni, se bo takšno stanje nadaljevalo.

Ne glede na stopnjo resnične nevarnosti so ljudje v splošnem prepričani, da so ogroženi. To dokazuje tudi raziskava Eurobarometra o zaznavanju tveganja zaradi EMP v vseh državah članicah EU, ki je ugotovila, je da skoraj 50 % vprašanih precej zaskrbljenih glede možnih negativnih vplivov EMP na zdravje.

Nekatere ključne mednarodne organizacije (npr. Svetovna zdravstvena organizacija - SZO, Mednarodna komisija za varstvo pred neionizirnimi sevanji - ICNIRP, Evropska komisija, Evropski parlament) so se z vso skrbnostjo odzvale na zaskrbljenost javnosti, ki so jo zbudila nekatera poročila v zvezi z morebitnimi učinki na zdravje zaradi izpostavljenosti EMP.

SZO je zasnovala mednarodni projekt o EMP, katerega namen je obravnava vpliva izpostavljenosti statičnim in izmeničnim elektromagnetnim poljem v frekvenčnem območju 0 – 300 GHz na človekovo zdravje in okolje. Končna cilja projekta sta zagotavljanje strokovno trdnih nasvetov vladam, pristojnim organizacijam posameznih držav ter najširši javnosti v zvezi z obravnavo problematike EMP ter priprava ocen tveganja, ki bodo omogočile mednarodni konsenz o smernicah za izpostavljenost.

Evropski parlament je 2009 sprejel resolucijo o zdravstvenih vprašanjih v zvezi z EMP, v kateri med drugim poziva Evropsko komisijo in posamezne države članice, da si kot odziv na zaskrbljenost javnosti v številnih državah članicah v sodelovanju z vsemi zainteresiranimi stranmi (predvsem nacionalni strokovnjaki s področja EMP) prizadevajo za izboljšanje razpoložljivosti in dostopnosti najnovejših informacij na področju novih tehnologij in morebitnih zdravstvenih tveganj z obliko in besednjakom, ki bosta razumljiva laikom.

Za razmere v Sloveniji je značilno vse izrazitejše dožemanje, da so okolje in



ljudje obremenjeni z različnimi dejanskimi ali navideznimi nevarnostmi. Ljudje se vse bolj otepajo tistega, kar se jim zdi nevarno, škodljivo ali nepotrebno. Kot posledica takšnega razmišljanja skoraj vsaka gradnja novega daljnovoda, omrežja mobilne telefonije, Wi-Fi omrežij, radarjev, ... povzroči izrazito nasprotovanje javnosti, še posebej lokalnega prebivalstva. Predvsem to velja za ruralna območja, kjer so ljudje še bolj občutljivi za novo in neznano ter tudi za morebitna tveganja (če živim na podeželju, s čimer sem se odpovedal prednostim mesta, potem želim imeti vsaj prednosti podeželja brez vseh morebitnih tveganj na mojem dvorišču (t.i. pojav NIMBY = not in my back yard, ne na mojem dvorišču).

Stališča ljudi do posegov so v veliki meri odvisna tudi od njihovih interesov. Tam, kjer jim niso očitni in poseg zato prepoznajo zgolj kot škodljivega, bodo odklonilna. Kot je razvidno iz literature, morebitnih tveganj zaradi EMP ne moremo izključiti, toda velika večina se kljub temu (vsaj za zdaj) ne bo odpovedala televiziji, radiu ali mobilnemu telefonu, kaj šele elektriki nasploh. Tudi zato ne, ker so te nevarnosti razmeroma nejasne in ne dovolj znane. Ti dve značilnosti pojava lahko delujeta v obe smeri, saj omogočata takšno ali drugačno razlago, zakrbljeni pa lahko izberejo tisto, ki jim takrat bolj ustreza.

Ključni problem je tudi pomanjkanje kredibilnih in strokovno utemeljenih informacij, ki bi bile dostopne najširši javnosti v materinem jeziku, z laiku razumljivo obliko in besednjakom ter brez omejitev dostopnosti – torej brezplačno in predvsem v obliki e-vsebin in e-storitev, ki so vsakemu dosegljive od doma. Vsebine same bi morale biti preproste in nedvoumne, saj imajo sicer mnogi

težave pri interpretiranju, pa tudi pri pomnjenju ključnih informacij, pomen česar se pogosto, a neutemeljeno zanemarja. Še posebej je opazno pomanjkanje ciljno orientiranih vsebin, namenjenih specifičnim skupinam (otroci in mladostniki, starši, poklicno izpostavljeni, upravni delavci v lokalnih skupnostih in upravnih enotah...). Pomembna je tudi verodostojnost vira obvestil, ki je v veliki meri odvisna od prejšnjih izkušenj s tem virom oziroma njegovimi avtorji, doje-manja njihove kompetentnosti, objektivnosti, korektnosti, doslednosti v očeh javnosti in njihove morebiti že znane oziroma izkazane dobronamernosti. Pri tem lahko pozitivno vlogo odigrajo neodvisne strokovne institucije, oziroma v njihovem imenu njihovi nepristranski in vrhunsko usposobljeni strokovnjaki, kar nedvomno velja za avtorje te monografije.

V EU se organizacije in posamezniki v razprave o tveganjih vključujejo z različno predanostjo rešitvi problematike. To zlahka dokažemo s primerjavo zakonsko določenih mejnih vrednosti izpostavljenosti, obnašanja operaterjev, vladnih in nevladnih organizacij in agencij, odziva javnosti ter števila konkretnih ukrepov za rešitev problematike. Povečano število organiziranih skupin zaskrbljenih ljudi, povečanje števila sodnih procesov ter vse večja prisotnost problematike v medijih nakazujejo, da govorimo o problematiki evropskih in celo svetovnih razsežnosti, ki pa marsikje kljub temu še ni postala pomembna javna tema. Da bi bila zmeda še večja, nastalo situacijo izkoriščajo različne interesne skupine prebivalstva, medijev, operaterjev, izdelovalcev opreme in samooklicanih »strokovnjakov«, ki se z uporabo različnih emocionalno obarvanih argumentacij, izkrivljanj znanstvenih ugotovitev, včasih pa tudi na osnovi čistih fabrikacij, borijo za javno podporo svojim interesom in hkrati izkoriščajo priložnost za zasledovanje lastnih ciljev.

Poleg nadaljevanja raziskav učinkov EMP na okolje in zdravje ter objektivnega informiranja javnosti z veljavnim znanstvenim konsenzom o teh učinkih vse bolj stopajo v ospredje tudi tehnološki in javnozdravstveni ukrepi za optimizacijo in zmanjševanje vplivnih dejavnikov EMP na okolje in zdravje. Pri načrtovanju in umeščanju novih visokonapetostnih (v nadaljevanju VN) vodov v prostor so danes že poznani številni ukrepi za zmanjšanje izpostavljenosti EMP, kot so na primer zagotavljanje ustreznih razdalj do VN vodov, kompaktiranje in drugi ukrepi povezani z geometrijo vodov, postavitve ovir, kjer je to potrebno in mogoče, kompenzacija (pasivna, aktivna), itd. Ker obstaja o morebitnih škodljivih vplivih NF MP določena znanstvena negotovost, se praviloma izvajajo le ukrepi, ki niso povezani z visokimi stroški.

V Sloveniji je v prihodnosti predvidenih več novih VN vodov ali rekonstrukcij

obstojećih z namenom povečanja njihovih prenosnih zmogljivosti. S tehnološko analizo ključnih vplivnih parametrov za optimizacijo in zmanjševanje vpliva VN vodov na okolje in zdravje prebivalcev bo potrebno določiti usmeritve za slovensko elektrogospodarstvo v smislu iskanja optimuma med ekonomiko, tehnologijo in potencialnimi zdravstvenimi tveganji za prihodnje projekte.

Pričujoča monografija je nastala v želji, da bi v naš prostor prinesli aktualen in interdisciplinaren pregled vseh ključnih področij za razumevanje javno-zdravstvenih, bioloških, tehničnih, družbenih in socioloških vidikov, ki se prepletajo v omenjeni problematiki. Vsem bralcem želiva, da bi v tej monografiji našli iskane informacije, ki bodo pripomogle k čim bolj odgovornemu in tvornemu reševanju aktualnih in odprtih vprašanj o možnih vplivih EMP na človeka in njegovo okolje.

V Ljubljani, avgusta 2022

*Peter Gajšek
Tadej Kotnik*



Izpostavljenost električnim in magnetnim poljem

Peter Gajšek

Inštitut za neionizirna sevanja Ljubljana

1.1 UVOD

Odkar je Werner von Siemens v drugi polovici 19. stoletja odkril princip proizvodnje električne energije s pomočjo elektrodinamike, se izpostavljenost umetnim virom v področju nizkih frekvenc¹ zaradi povečane potrebe po uporabi električne energije, razvijajočih se novih tehnologij ter sprememb socialnega vedenja ljudi nenehno povečuje. Umetni viri dosegajo bistveno višje jakosti kot sevanja naravnih virov.

Električna polja (EP) obstajajo povsod, kjer je navzoč pozitivni ali negativni električni naboj. Naboji med seboj delujejo z določeno silo. Jakost EP merimo v voltih na meter (V/m). Ko električno napravo priključimo na električno omrežje, nastane v njeni okolici EP. Čim večja je napetost, tem močnejše je EP na določeni razdalji od naprave. Ker lahko napetost obstaja tudi tedaj, ko tok ne teče, za obstoj EP ni potrebno, da naprava deluje.

Magnetno polje (MP) obstaja le takrat, ko je tokokrog zaključen in steče električni tok. V prostoru torej tedaj obstaja tako EP kot MP. Čim večja je poraba električne energije ter s tem električnega toka, tem močnejše je MP. Jakost MP merimo v amperih na meter (A/m). V praksi se pogosto kot enota uporablja tudi gostota magnetnega pretoka v teslah (T). Navadno za opisovanje sevanj različnih naprav uporabljamo dosti manjšo enoto – milijoninko te vrednosti – mikrotlesla (μT).

Glavni viri umetnih nizkofrekvenčnih (v nadaljevanju NF) elektromagnetnih polj (v nadaljevanju EMP) so naprave za prenos in distribucijo električne energije, električne napeljave v stanovanjih ter vse gospodinjske in druge električne in

¹ Časovno spremenljiva električna in magnetna polja s frekvenco nižjo od 10 MHz so v tem članku opredeljena kot nizkofrekvenčna polja (LF). V znanstveni literaturi je ta frekvenčni pas razdeljen na dve glavni območji, in sicer ekstremno nizke frekvence (ELF) do 300 Hz in srednje frekvence (IF) med 300 Hz in 10 MHz.

elektronske naprave, ki potrebujejo elektriko za svoje delovanje. Časovno spreminjajoča se polja nastajajo zaradi izmeničnih tokov. Izmenična polja spreminjajo svojo smer v rednih intervalih. V državah EU elektrika spreminja smer s frekvenco 50 nihajev na sekundo ali 50 Hz. Tako tudi s tem povezano MP spreminja svojo smer 50-krat na sekundo. V nekaterih delih sveta (Severna Amerika, Brazilija, Japonska, ...) ima elektrika frekvenco 60 Hz.

Najmočnejše NF EP omrežne frekvence 50 Hz je prisotno neposredno pod visokonapetostnimi 400 kV daljnovodi na prostem (do 8 kV/m). V nasprotju s tem pa najmočnejše NF MP omrežne frekvence navadno najdemo v neposredni bližini gospodinjskih naprav, električnih motorjev in drugih električnih naprav v našem stanovanju (do nekaj mT), ki jih navadno uporabljamo blizu telesa (npr. sušilniki za lase, električni brivniki). Rezultati objavljenih raziskav kažejo, da povprečne vrednosti MP omrežne frekvence 50 Hz v bivalnem okolju dosegajo med 0,05 in 0,2 μT .

1.2 OCENA IZPOSTAVLJENOSTI

V tem pregledu znanstvene literature so zbrani članki in študije, ki obravnavajo izpostavljenost prebivalstva NF EP in MP s posebnim poudarkom na otrocih. V zadnjem desetletju so raziskovalci uporabljali različne metode za ocenjevanje izpostavljenosti NF EP in MP, ki pa jih lahko strnemo v tri kategorije (Gajšek et al. 2016):

- točkovne in trajne meritve NF EP in MP v okolju;
- meritve osebne izpostavljenosti NF MP z dozimetri (ekspozimetrija);
- meritve NF EP in MP polj zaradi delovanja posameznih naprav

Točkovne meritve predstavljajo najpreprostejšo obliko izvajanja meritev EP in MP, ki se osredotoča na njihovo vzorčenje zgolj v točki prostora v točno v določenem časovnem intervalu. Glavna pomanjkljivost teh meritev je njihova nezmožnost zajemanja časovne variabilnosti polj. Zato so bile uvedene trajne meritve predvsem za spremljanje časovne variabilnosti polj v daljših časovnih intervalih na izbranem merilne mestu.

Kljub temu pa tako točkovne kot trajne meritve ne omogočajo zadostnega vpogleda v osebno izpostavljenost posameznika, ki je navadno hkrati izpostavljeni več virom v različnih mikro okoljih. Ugotavljanje dejanske osebne izpostavljenosti zahteva izrecno merjenje polj v daljšem časovnem intervalu (navadno od 24 do 48 ur) z osebnimi ekspozimetri in dodanim GPS

modulom za natančno spremljanje geografskih podatkov (lokacije) posamezne meritve.

1.2.1 Točkovne in trajne meritve

1.2.1.1 Viri NF električnih in magnetnih polj v okolju

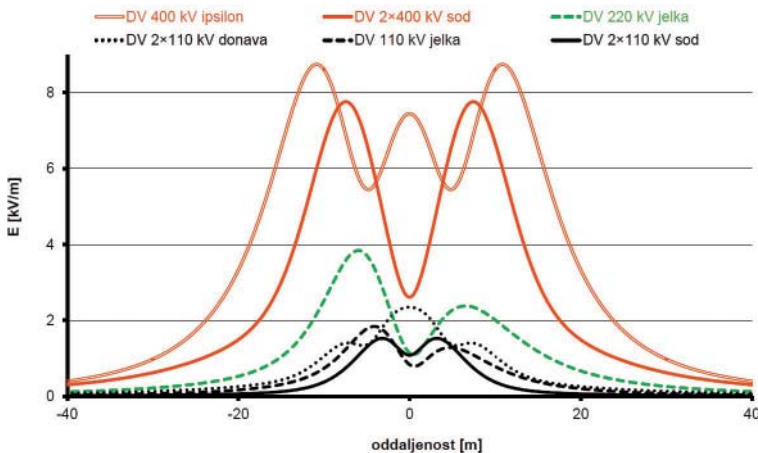
Naprave za distribucijo in prenos električne energije glede na njihovo vrsto delimo na visokonapetostne (v nadaljevanju VN) daljnovode (v nadaljevanju DV) in kablovode, razdelilne transformatorske postaje, daljnovode in kablovode srednjih napetosti, transformatorske postaje in kablovode nizke napetosti. Hišna napeljava, ki je prav tako nujen sestavni del pri zagotavljanju oskrbe z električno energijo, pa ni del distribucijskih naprav, podobno kot to niso tudi vsi gospodinjski aparati in druge električne naprave v stanovanjih in hišah. Naprave za distribucijo električne energije ločimo tudi glede na njihovo nazivno napetost, to je napetost, pri kateri delujejo. Za prenos električne energije se uporabljajo napetostni nivoji 110, 220 in 400 kV, za distribucijo električne energije pa napetostni nivoji 110 kV (DV, kablovodi, razdelilne transformatorske postaje), 35 kV (v opuščanju; DV, kablovodi, transformatorske ter razdelilne transformatorske postaje), 20 kV (DV, kablovodi, transformatorske ter razdelilne transformatorske postaje), 10 kV (v opuščanju; DV, kablovodi, transformatorske ter razdelilne transformatorske postaje) ter 0,4 kV (kablovodi in transformatorske postaje). Kablovodi napetostnega nivoja 0,4 kV so tisti, ki so napeljani do končnega uporabnika. Večji industrijski uporabniki pa so lahko priključeni tudi na višje napetostne nivoje 20 in 110 kV (Gajšek et al. 2014).

Viri NF EP in MP v okolju z največjo prostorsko pokritostjo so nedvomno VN DV, ki se uporabljajo za prenos in distribucijo električne energije. V Evropski uniji obstaja približno 360.000 km VN DV, ki delujejo pri napetostih med 110 in 400 kV. Najpomembnejša frekvenca v Evropi je 50 Hz (pogosto se imenuje omrežna frekvenca) in njene harmonike, zlasti tretja. Električni vlaki v nekaterih evropskih državah delujejo pri frekvenci 16,7 Hz (SCENIHR 2015, WHO 2007).

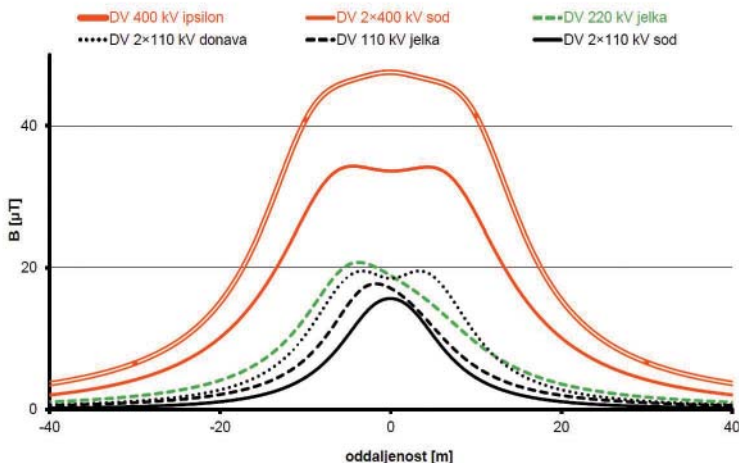
Doslej so bile opravljene številne točkovne in trajne meritve EP in MP v okolici VN DV (Gajšek et al. 2016, SCENIHR 2015,). Neposredno pod 400 kV DV jakost EP znaša med 5 in 9 kV/m, najvišje vrednosti MP pa dosegajo vrednosti do 50 μ T. Jakost EP in MP se z oddaljenostjo od DV hitro zmanjšuje (WHO 2007). Srednje in nizkonapetostni DV predstavljajo precej nižjo izpostavljenost v okolju (EP med 100 in 400 V/m ter MP med 0,5 in 3 μ T).

EP, ki je posledica napetosti, se v okolici DV s časom spreminja le minimalno, saj se tudi napetost DV s časom spreminja minimalno, prav tako pa tudi drugi dejavniki, ki bi lahko vplivali na EP v okolici DV, nimajo pomembnejšega vpliva na velikost EP. Če se EP v bližini DV s časom bistveno ne spreminja, to ne velja za MP. MP, ki je posledica toka, je torej povezano s tem, koliko je DV obremenjen. Obremenjenosti DV se s časom stalno spreminjajo, zato se tudi MP DV stalno spreminja.

Tako EP kot MP se z oddaljenostjo od osi DV hitro zmanjšujeta. Na spodnjih dveh slikah je za najbolj pogoste tipe DV prikazano, kako se pri nazivnih obremenjenostih vrednosti EP in MP spreminjajo z oddaljenostjo od osi DV. Iz slik je razvidno, da so vrednosti v bližini 400 kV DV najvišje, v bližini 220 in 110 kV DV pa znatno nižje. Ob tem velja poudariti, da so poteki polj v bližini VN DV predstavljeni za nazivno obremenjene DV, običajno pa so DV obremenjeni bistveno manj in so posledično tudi vrednosti MP bistveno nižje. Prav tako so na slikah rezultati podani na mestu največjega povesa vodnikov, ko se vodniki na najnižjih dovoljenih oddaljenostih od tal. Na teh mestih so vrednosti EP in MP najvišje, zato predstavljeni rezultati podajajo najneugodnejše razmere (Gajšek et al. 2018).



Slika 1.1.: EP v okolici različnih VN prenosnih DV. Vrednosti, prikazane na sliki, predstavljajo najvišje vrednosti, ki bi lahko v bližini DV nastopile, saj so predstavljene vrednosti za nazivno obremenjene DV pri najnižji dovoljeni višini vodnikov nad tlemi



Slika 1.2.: MP v okolici različnih VN prenosnih DV. Vrednosti, prikazane na sliki, predstavljajo najvišje vrednosti, ki bi lahko v bližini DV nastopile, saj so predstavljene vrednosti za nazivno obremenjene DV pri najnižji dovoljeni višini vodnikov nad tlemi

V EU se približno 2% električne energije dobavlja s podzemnimi kablji. Takšni kablji lahko zaradi manjše razdalje med človeku dostopnimi lokacijami in samim kablom (običajno nekaj metrov) proizvajajo neposredno nad njimi (tj. vzdolž trase) močnejša MP od tistih, ki so povezane z VN DV. Na primer, 400 kV podzemni kablji lahko na nivoju tal povzročajo NF MP večjo od 30 μT in se na višini 2 m nad tlemi znižajo na 10 μT , saj jakost polja pada zelo hitro z večjo razdaljo. Pozorno načrtovanje razporeditve vodnikov in fazna optimizacija pomenita prostorsko zmanjšanje MP. Vrednosti EP zaradi kablovodov so na nivoju tal praktično zanemarljive (WHO 2007).

V Španiji so bile točkovne meritve MP izvedene v petih mestih. Povprečna vrednost MP je bila 0,2 μT , kar predstavlja le 0,2 % mejne vrednosti. Najvišja vrednost pa je dosegla 7 μT , kar predstavlja 7 % mejne vrednosti (Paniagua et al., 2004 in 2007). Kar 30 % vseh izvedenih meritev je bilo višjih od 0,2 μT .

Na Švedskem so bile mapirane vrednosti NF MP ob nekaterih odsekih pločnikov v središču Goteborga. Točkovne meritve so pokazale, da so bila MP na več kot 50% preiskovanih ulic enakega reda velikosti. Povprečna vrednost MP je znašala 0,2 μT (Lindgren et al., 2001).

Podobne raziskave so bile opravljene v Torinu v Italiji, kjer so bile meritve

opravljene med hojo pri normalni hitrosti vzdolž uveljavljene poti. Izmerjeni podatki, ki jih sestavlja več kot 100.000 vzorcev. Aritmetična sredina (AM) izmerjenih vrednosti je znašala $0,19 \mu\text{T}$, srednja vrednost $0,08 \mu\text{T}$ in geometrijska sredina (GM) $0,06 \mu\text{T}$ (d'Amore et al., 2001). Med letoma 2006 in 2008 so v mestu Aosta v Italiji potekale točkovne meritve na prostem in v zaprtih prostorih. Najvišja izmerjena vrednost MP na prostem je znašala $80 \mu\text{T}$ in je bila izmerjena neposredno ob steni transformatorske postaje. Polje se je zmanjševalo z oddaljenostjo in je znašalo $1,34 \mu\text{T}$ na razdalji 1 m od stene (Bottura et al., 2009).

Da bi ovrednotili sezonske spremembe v vrednosti MP v odvisnosti od sprememb v porabi energije, so na Norveškem poleti in pozimi merili NF MP na višini 1m nad tlemi v urbanem okolju. Meritve v poletnem času so pokazale, da magnetno polje na manj kot 4% ulic presega $0,4 \mu\text{T}$. Število ulic, kjer je bila vrednosti NF MP višja od $0,4 \mu\text{T}$, pa se je povečalo na 34% ob hudem mrazu oziroma zaseženih zimskih dneh. Povprečne vrednosti NF MP so znašale $0,13 \mu\text{T}$ (poletje), $0,85 \mu\text{T}$ (zimski, hladni) in $0,90 \mu\text{T}$ (zimski, sneg), z najvišjo zabeleženo vrednostjo $37 \mu\text{T}$ (Straume et al. 2008).

V **Sloveniji** so bile izvedene trajne meritve MP v bližini 220 in 400 kV DV (Valič et al. 2014 a). Meritve so bile izvedene v obdobju, ko 220 in 400 kV DV zaradi žledoloma niso delovali, ter v obdobju, ko so 220 in 400 kV DV zopet vključeni v elektroenergetsko omrežje. Na petih od skupno šest lokacij, kjer so bile izvedene trajne meritve, so bile najvišje 24-urne povprečne izpostavljenosti precej nižje od mejnih vrednosti, ki jih določa domača zakonodja. Najvišje 24-urne povprečne vrednosti ne presegajo 0,3 odstotka mejnih vrednosti smernic ICNIRP. Na lokaciji, ki se nahaja tik ob 400 kV DV Beričevo–Divača, so bile izpostavljenosti višje. Povprečne 24 urne izmerjene vrednosti MP dosežejo do 4 odstotka mejnih vrednosti smernic ICNIRP. Rezultati opravljenih trajnih meritev kažejo, da so v primerih, ko se DV nahajajo več kot 60 m od lokacije izvajanja trajnih meritev, njihovi prispevki zanemarljivi in primerljivi ali manjši od sevalnih obremenitev, ki jih v svoji okolici povzročajo hišne inštalacije in gospodinske naprave.

Razdelilne transformatorske postaje javnosti večinoma niso dostopne, zato ne veljajo za pomemben vir, ki bi mu bila javnost lahko izpostavljena. Poseben primer predstavljajo transformatorske postaje, ki so umeščene v kleti večstanovanjskih stavb (od 0,4 do 10 kV), saj namreč povzročajo sorazmerno visoke povprečne vrednosti MP v prostorih neposredno nad transformatorsko postajo (Transexpo 2010). Te vgrajene transformatorske postaje lahko povečajo izpostavljenost MP v prostorih neposredno nad transformatorsko postajo samo. Vir teh MP so predvsem zbiralke, ki so običajno nameščene na steni in / ali stropu prostora, kjer je nameščen

transformator. MP na višini nekaj centimetrov nad tlemi v prostoru, ki se najhaja neposredno nad transformatro postajo doseže nekaj deset μT . Polje se hitro zmanjšuje z oddaljenostjo in na višini 1m nad tlemi doseže nekaj μT . Dnevna povprečna vrednost MP pa znaša 0,4 μT , medtem ko v višjih nadstropjih znaša 0,1 μT .

Ti rezultati so skladni s študijo, izvedeno na Madžarskem, kjer je bila srednja vrednost MP v 31 stanovanjih tik nad transformatorsko postajo 0,98 μT (Thuroczy et al. 2008; Szabo et al. 2007). Časovno povprečna vrednost NF MP v stanovanjih tik nad transformatorjem je znašala 1,033 μT .

Joseph et al. (2008) je poročal o izpostavljenosti transformatorskim postajam v Belgiji za distribucijo električne energije, ki pretvarjajo napetost z 11 na 0,4 kV. Skupno je bilo opravljenih 637 meritev na terenu: 358 meritev geometrijskih vrednosti EP in MP na različnih lokacijah. Izmerjene trenutne vrednosti MP so bile v območju od 0,025 do 47,4 μT . EP so bila v območju med 0,1 in 536 V/m. Izvedene so bile tudi meritve MP v odvisnosti od višine. Največja vrednost EP (vrednost prek enega dne) in MP za vse preiskovane lokacije je bila nižj od 5 kV/m in 100 μT . Izpostavljenosti MP v obdobju enega leta so bile nižje od 100 μT na razdalji 0,5 m. Povprečne vrednosti 0,4 μT so bile presežene do razdalje 5,4 m (povprečen dan) in 7,2 m (povprečno leto).

V finski študiji je bilo ugotovljeno, da so vrednosti NF MP 0,62 μT v stanovanjih nad transformatorji, 0,21 μT v prvem nadstropju in 0,11 μT v stanovanjih v drugih zgornjih nadstropjih [Ilonen et al. 2008].

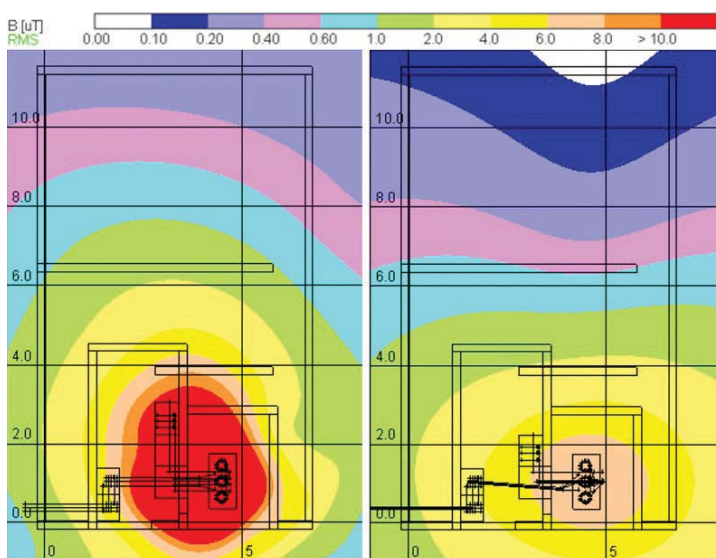
Röösli s sodelavci (2011) je izmeril NF MP v 39 apartmajih v 18 stavbah. Izmerjena aritmetična sredina NF MP je znašala 0,59 μT v osmih stanovanjih, ki so bili v celoti v bližini transformatorske postaje. V stanovanjih, ki so le delno mejila na transformatorsko postajo na vogalih ali robovih, je bila povprečna vrednosti NF MP 0,14 μT . Povprečna izpostavljenost v ostalih stanovanjih je bila 0,10 μT .

Študija na Nizozemskem je pokazala, da je izpostavljenost MP v stanovanjih blizu transformatorske postaje visoka v primerjavi z izpostavljenostjo polju v stanovanjih na večjih oddaljenostih (Huss et al. 2013). Točkovnem meritve v 35 stanovanjih, kjer je v bližini nameščena transformatorska postaja, so pokazale, da je povprečna vrednosti NF MP 0,42 μT . V stanovanjih v drugem nadstropju nad postajo pa so bile izpostavljene povprečni vrednosti NF MP 0,11 μT . Dodatne meritve osebne izpostavljenosti stanovalcev so pokazale, da so višje vrednosti NF MP ugotovljene le pri tistih, ki so živeli v stanovanjih neposredno nad postajo. Zato avtorji predlagajo, da se stanovalce lahko v prihodnjih epidemilških študijah razvrsti v skupni z višjo in nižjo izpostavljenostjo NF MP glede na lego stanovanja glede na transformatorsko postajo.

Yitzhak s sodelavci (2012) je izvedel 24-urno merjenje MP 50 Hz v stanovanjskih stavbah, kjer so nameščene transformatorske postaje. Ugotovil je, da je povprečno MP v stanovanjih nad transformatorsko postajo vsaj 3-krat višje (vrednosti $0,33 \mu\text{T}$) od MP, ki so prisotna v bolj oddaljenih stanovanjih (vrednosti od $0,06$ do $0,11 \mu\text{T}$).

Valič s sodelavci (2009) je s pomočjo numeričnih izračunov analiziral variante sanacije tipične transformatorske postaje TP (630 kVA, 20/0,4 kV), nameščene v kleti stanovanjskega bloka. Pred sanacijo so bile z namenom pridobitve posnetka stanja izvedene podrobne trenutne in trajne meritve MP. 24-urna povprečna vrednosti MP znaša $2,34 \mu\text{T}$. Z numeričnimi izračuni je bilo ugotovljeno, da sam transformator prispeva manjši delež k celotnim sevalnim obremenitvam, najpomembnejše pa so NN zbiralke, zelo pomembno prispevajo k celotnim vrednostim MP, ki v najbolj neugodnem primeru presega vrednost $10 \mu\text{T}$. Numerični izračuni kažejo, da že samo zamenjava zbiralk s kabli, ki so speljani v tleh, zmanjša vrednosti MP za približno 4-krat, ob zamenjavi stikalnih omar ter smotrni izvedbi celotnega posega pa je mogoče povprečne izpostavljenosti zmanjšati za približno 10-krat.

V Nemčiji so izvedli obsežno študijo izpostavljenosti MP v bivalnem okolju v 1835 stanovanjih (Schuz et al. 2000). Trajne meritve MP (24 urne) so bile izvedene v otroških sobah. Povprečne vrednosti MP nad $0,2 \mu\text{T}$ so bile ugotovljene le v



Slika 1.3.: Rezultati numeričnega izračuna v stanovanju nad TP na višini 0,2 m nad tlemi za stanje pred (levo) ter po sanaciji (desno) pri nazivni obremenjenosti transformatorja.

1,4% domov. Močnejša MP so se pojavljala manj pogosto: vrednost $0,3 \mu\text{T}$ je bila ugotovljena v 0,4% domov in $0,4 \mu\text{T}$ je bilo ugotovljeno pri 0,2% domov. Povprečna vrednost MP, ki jo povzročajo VN DV (123-420 kV), je bila višja od $0,2 \mu\text{T}$ samo v 8 od 25. stanovanj (32,0%), ki so bila oddaljena do 50 m od voda. Ugotovljena je bila jasna povezava med jakostjo MP in vrsto prebivališča.

Podobna študija je bile izvedena v Avstriji z izvedbo točkovnih meritev v 226 gospodinjstvih (Tomitsch et al. 2010). Povprečna vrednost NF MP nad $0,1 \mu\text{T}$ v nočnem času je bil dosežena le pri 2,3% gospodinjstev. Povišane vrednosti NF EP so bile povezane predvsem s prisotnostjo svetilk poleg postelje (do 166 V/m). Višje vrednosti NF MP so pripisali transformatorjem teh naprav (največ $1,03 \mu\text{T}$) ali visokega toka v napajalnikih (največ $0,38 \mu\text{T}$). Povprečna nočna časovna aritmetična sredina NF MP je bila nad $0,1 \mu\text{T}$.

Po končani izvedbi preprostih ukrepov, ki so jih lastniki izvedli v svojih domovih (odstranitev ali preureditev električne budlike in napajalnikov, odstranitev ali preureditev nočnih svetilk, preureditev podaljškov ali vtičnic, odstranitev varovalk ali sprememba fazne in nevtralne linije), je Tomitsch s sodelavci izvedel ponovitve meritev EP in MP v teh gospodinjstvih (Tomitsch et al. 2012). Rezultati so pokazali, da so se povprečne vrednosti EP in MP znižale na 17 V/m oziroma $0,08 \mu\text{T}$, medtem ko je povprečna nočna časovna aritmetična sredina ostala skoraj nespremenjena.

V Sloveniji je bila izvedena tudi analiza izpostavljenosti prebivalstva EP in MP po rekonstrukciji 220 in 400 kV DV (Valič et al. 2014 b). V okviru študije so bile izvedene meritve sevalnih obremenitev v treh domovih, ki se nahajajo znotraj pasu 150 m od 220 in 400 kV DV, ter v treh drugih domovih, kjer v bližini ni prisotnih DV ali transformatorskih postaj, torej zunanjih virov MP. Poleg meritev so bili izvedeni tudi numerični izračuni sevalnih obremenitev za različne tipe DV, ki se uporabljajo v Sloveniji.

Pregled rezultatov kaže, da zgolj bližina VN DV ne pomeni nujno tudi visokih sevalnih obremenitev v stanovanjih. Na treh od šestih izmerjenih lokacijah so bile najvišje 24-urne povprečne vrednosti MP na spodnjem merilnem območju inštrumenta, to je $0,05 \mu\text{T}$. Od teh treh lokacij sta bili dve v bližini DV.

Rezultati študije so pokazali, da rekonstrukcija enosistemskega 220 kV DV v dvosistovski 400 kV DV poveča vplivno območje v bližini DV. Vplivno območje tako za 220 kV kot tudi za 400 kV DV določa kriterij za EP, saj le to preseže mejne vrednosti za I. območje² na večjih oddaljenostih od DV kot MP. Vplivno območje

² V I. območje varstva pred sevanji spadajo tista območja, ki so namenjena bivanju, oziroma kjer se prebivalstvo zadržuje dlje časa: območja objektov vzgojinarstvenega in izobraževalnega programa in zdravstvenega varstva, bolnišnic, objektov namenjenih bivanju, igri in rekreaciji, javnih zelenih in rekreacijskih površin. II. območje varstva pred sevanji predstavlja ostala območja: gozdove, kmetijske površine, transportna in industrijska območja, prometne površine...

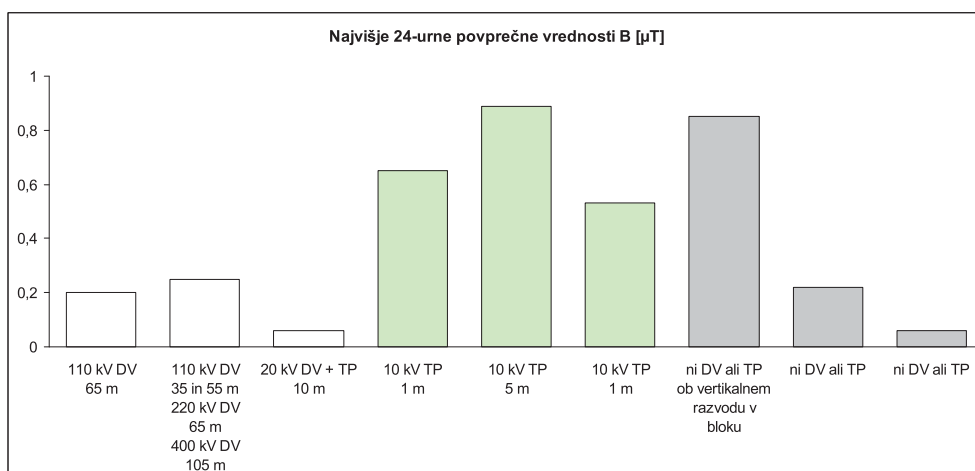
se v povprečju ob rekonstrukciji poveča za 50 odstotkov, v najneugodnejših razmerah, kjer je vplivno območje največje, znaša do 36 m. Na višini 1 m nad tlemi to območje nikjer ne presega 33 m. Pri ocenjevanju povečanja MP zaradi rekonstrukcije je zelo pomembno upoštevati tudi obremenitve DV. V primeru, da sta enosistemski 220 kV DV pred rekonstrukcijo kot 400 kV DV po rekonstrukciji enako obremenjena, se vrednosti MP v celotnem območju DV z rekonstrukcijo celo zmanjšajo za več kot 50 odstotkov.

Tabela 1.1.: Pregled izmerjenih vrednosti na posamezni lokaciji.

Lokacija	Najvišja trenutna vrednost MP [μ T]	Povprečna vrednost MP [μ T]	Najvišja 24 urna povprečna vrednost MP [μ T]
Lokacija 1 vrstna hiša v bližini ni DV ali transformatorske postaje	0.26	0.10	0.11
Lokacija 2 večstanovanjska hiša v bližini ni DV ali transformatorske postaje	0.45	0.05	0.05
Lokacija 3 stanovanje v stanovanjskem bloku v bližini ni DV ali transformatorske postaje	1.93	0.23	0.41
Lokacija 4 stanovanjska hiša oddaljenost 60 m od enosistemskega 400 kV DV Beričevo-Divača	1.58	1.30	1.33
Lokacija 5 stanovanjska hiša oddaljenost 100 m od dvosistemskega 400 kV DV Beričevo-Krško	0.05	0.05	0.05
Lokacija 6 stanovanje v stanovanjskem bloku oddaljenost 150 m od enosistemskega 220 kV DV Kleče-Divača, 50 m od dvosistemskega 110 kV DV Kleče-Okroglo II in Kleče-Medvode, 40 m od dvosistemskega 110 kV DV Kleče-Okroglo I in Kleče-Škofja Loka ter 30 m od dvosistemskega 20 kV DV	0.11	0.05	0.05

Primerjava trajnih meritev na 9 lokacijah v Sloveniji kaže, da so v bližini VN DV sevalne obremenite razmeroma nizke, kar je delno posledica nizke obremenjenosti DV (Valič et al. 2015). Vrednosti v bližini sredjenapetostnega 20 kV DV so zelo

nizke, saj znaša 24-urna povprečna vrednost MP $0,06 \mu\text{T}$, kar je le malo več od spodnjega merilnega območja inštrumenta $0,05 \mu\text{T}$. Za lokacije v bližini transformatorske postaje so znašale najvišje 24-urne povprečne vrednosti MP $0,65$, $0,89$ ter $0,53 \mu\text{T}$, za lokacije v bližini DV pa so te vrednosti znašale $0,20$, $0,25$ ter $0,06 \mu\text{T}$. Vzrok temu je gotovo v oddaljenosti. Na vseh lokacijah, kjer se je v bližini nahajala transformatorska postaja, so bile oddaljenosti med transformatorsko postajo in mestom meritve majhne (od enega do pet metrov), medtem ko je bila oddaljenost lokacij v bližini DV od samih DV znatno večja: 10 m za srednjenapetostni 20 kV DV, ter 35 m in več za visokonapetostne 110 , 220 in 400 kV DV.



v bližini srednje ali visokonapetostnega DV
 v bližini transformatorske postaje
 v tipičnem bivalnem okolju

Slika 1.4: Najvišje 24-urne povprečne vrednosti MP za tri izpostavljenosti:

Na Švedskem so bile meritve NF MP izvedene v 100 naključno izbranih domovih tako v urbanih kot na podeželskih območjih (Khan et al. 2010). Študija je pokazala, da je imelo skoraj 90% izmerjenih domov MP nižja od $0,2 \mu\text{T}$ - povprečna vrednost $0,11 \mu\text{T}$ in srednja vrednost $0,05 \mu\text{T}$. Ugotovljeno je bilo, da je MP v primerjavi z višjimi nadstropji najvišje v pritličju hiše. To je bila posledica ogrevalnih sistemov in električne napeljave v hišah.

V posebni raziskavi o vrednostih MP v bivalnem okolju v Švici so ugotovili, da najvišje povprečne vrednosti MP (do $1,3 \mu\text{T}$ na razdalji 50 cm nad tlemi), povzročajo različni električni sistemi za talno ogrevanje. Čeprav so bile izmerjene ravni

MP pod mednarodnimi smernicami, so daleč presegle vrednosti MP, ki jih običajno srečamo v stanovanjih (FOPH 2011).

Podatki iz različnih držav kažejo, da se geometrična sredina točkovnih meritev veliko ne spreminja. Geometrična sredina NF MP v naravnem okolju dosega vrednosti med 0,058 do 0,107 μT .

1.2.2 Meritve osebne izpostavljenosti

Spremljanje osebne izpostavljenosti MP z osebnimi ekspozimetri (imenovanimi tudi »dozimetri«), ki se nosijo tik ob telesu, je privlačen način ocenjevanja izpostavljenosti določenih skupin prebivalstva, saj omogoča spremljanje izpostavljenosti poljem iz različnih virom NF MP v kateremkoli okolju, v katerem je posameznik nahaja.

Ker človeško telo ne zmoti NF MP, tako izmerjene vrednosti MP predstavljajo zanesljivo oceno dejanskih ravni izpostavljenosti. Vrednosti izpostavljenosti MP, ki jih posredujejo osebni (izotropni) merilniki MP, so navadno višje od tistih, ki izhajajo iz točkovnih ali trajnih meritev v domovih, saj osebi dozimetri merijo skupno polje iz vseh virov v celotnem času izpostavljenosti (WHO 2007). Večina izvedenih epidemioloških študij je pri oceni izpostavljenosti prebivalstva izhajala iz rezultatov meritev osebne izpostavljenosti z dozimetri.

SZO je povzela študije meritev v območju MNF MP, izvedenih do leta 2007 (WHO 2007). V vseh študijah je bila večina raziskanih oseb izpostavljenih ravni MP pod 0,1 μT (73,6% -89,9%), vendar je nekaj (0,5% - 4,5%) imelo ravni izpostavljenosti nad 0,3 μT (aritmetična sredina). Podatki o geometrijski sredini so bili na voljo le za majhno število študij, vendar je bilo več kot 90% oseb izpostavljenih manj kot 0,1 μT in le 1,2% več kot 0,4 μT .

Znanstveni odbor Evropske komisije o nastajajočih in na novo ugotovljenih zdravstvenih tveganjih (SCENIHR), ki povzema študije o osebni izpostavljenosti NF MP, je navedel, da je le nekaj odstotkov evropskega prebivalstva v svojih domovih izpostavljenih jakostim nad srednjo vrednostjo MP 0,2 μT (SCENIHR 2015).

V Nemčiji so bile opravljene posamezne meritve MP pri frekvencah 50 Hz in 16,7 Hz, izbrane izmed bavarskega prebivalstva. Povprečje posameznih sredstev za MP za vse udeležence je znašalo približno 0,1 μT , pri posameznih medijih pa 0,047 μT pri 50 Hz. Samo 2,4% preiskovancev je bilo izpostavljenih srednji vrednosti MP nad 0,2 μT . V samo 31 meritvah je MP preseglo 100 μT pri 50 Hz,

skupni čas pa le približno 21 min, kar je manj kot 0,001% celotnega časa za vse meritve (5,3 let). Za osebe, ki živijo ob železniških progah, je bilo povprečno posamezno MP pri 16,7 Hz ugotovljeno, da je 0,156 μT , povprečna posamezna mediana pa je 0,102 μT [Brix et al. 2001].

V Švici je bila izvedena študija s 552 prostovoljci v 24-urnem obdobju, da bi ocenili tipične ravni MP 50 Hz in ugotovili glavne vzroke za povišane ravni polj. Udeleženci so bili izbrani iz različnih poklicev in območij severne Švice. Za 75% prostovoljcev so bila dnevna povprečja ugotovljena pod 0,2 μT in v samo 3% primerov je bila ta vrednost nad 1 μT . [Stratmann et al. 2016].

Leta 2011 je bila v Italiji izvedena obsežna merilna kampanja, ki temelji na meritvah osebne izpostavljenosti NF MP na delovnih mestih in doma [Gobba et al. 2011]. Cilj te študije je bil oceniti trenutne izpostavljenosti NF MP 543 delavcev. Meritve osebne izpostavljenosti so bile tako izvedene pri delu, doma in na prostem. Povprečne vrednosti NF MP bile med 0,03 in 0,12 μT .

V okviru evropskega projekta ARIMMORA so v Italiji in Švici izvedli študijo o osebni izpostavljenosti otrok NF MP [Struchen et al. 2016]. V obeh državah je 172 otrok, starih od 5 do 13 let, 48 ur nosilo osebne merilne naprave (EMDEX II), za mjenje izpostavljenosti NF MP. Te meritve so bile izvedene dvakrat, tako poleti kot pozimi. Poleg tega so bile 24-urne meritve določene v spalnici otrok. Povprečna geometrijska sredina NF MP je bila 0,04 μT , izpostavljenost v spalnici pa 0,05 μT . Bivanje znotraj 100 m pasu od VN DV nad 132 kV je povečala povprečno izpostavljenost za faktor 3,5 in v spalnici za faktor 6,9 v primerjavi s kontrolno skupino, ki ni bila izpostavljena niti DV niti transformatorjem. Študija osebne izpostavljenosti otrok NF MP v Milanu, Italija [Liorni et al. 2016] je ugotovila geometrijsko povprečno vrednost NF MP od 20 do 80 nT.

Obsežna študija v Franciji je vključevala meritve osebne izpostavljenosti otrok do 14 let in odraslih (n=1000) NF MP (Bedja et al. 2010, 2008). Aritmetična sredina (v nadaljevanju AM) in geometrijska sredina (v nadaljevanju GM) MP sta bili 0,09 μT in 0,02 μT za otroke, ter 0,14 μT in 0,03 μT za odrasle. Izpostavljenost v obdobju budnosti je bila 0,05 μT (AM) in 0,02 μT (GM) za otroke ter 0,10 μT in 0,03 μT za odrasle. Odstotek otrok s povprečno 24 urno izpostavljenostjo višjo od 0,4 μT , je bil 3,1% (AM) in 0,2% (GM). Najvišja izpostavljenost odraslih je bila ugotovljena v 11 primerih, pri čemer je bila povprečna 24 urna izpostavljenost višja od 1,54 μT (AM) in 0,26 μT (GM). Ugotovljeno je bilo, da je bila večina teh relativno visokih izpostavljenosti posledica postavitve dozimetra zelo blizu radijske ure ponoči ali blizu električne naprave z napajalnikom (transformator). Če se upošteva izpostavljenost



iz obdobja spanja, je bilo ugotovljeno, da so povprečne izpostavljenosti za otroke $0,05 \mu\text{T}$ (AM) in $0,02 \mu\text{T}$ (GM). Pri 11 otrocih (1,1%) so vrednosti AM ugotovljene močnejše od $0,4 \mu\text{T}$. Povprečna izpostavljenost MP 50 Hz je bila pri odraslih višja kot pri otrocih. Otroci so bili bolj izpostavljeni v stanovanju kot na prostem, ravno nasprotno pa je bilo to ugotovljeno za odrasle. Odrasli in otroci so bili izpostavljeni višjim MP v stanovanju čez dan kot pa ponoči [Magne et al. 2010].

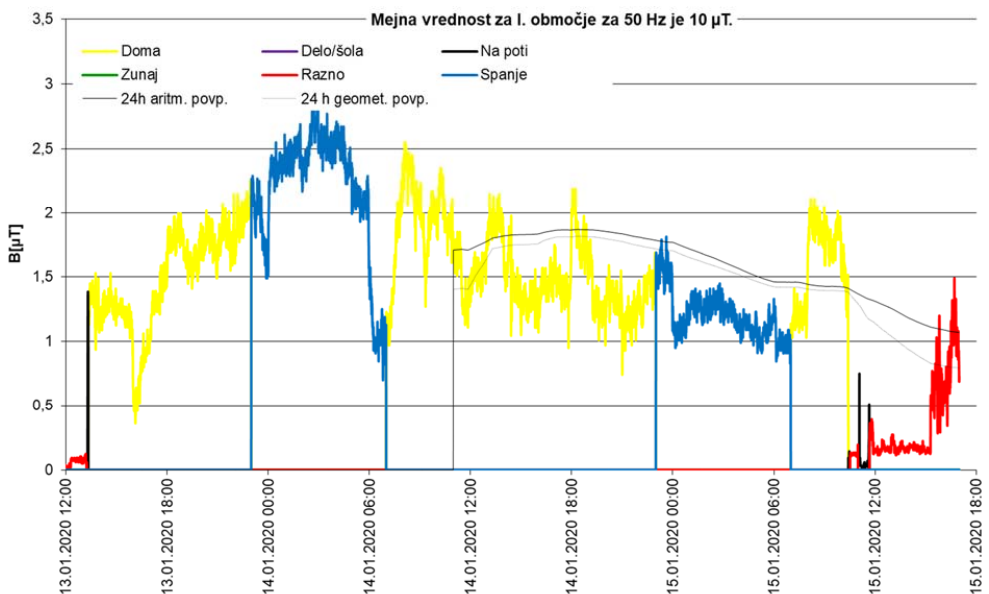
Študija o osebni izpostavljenosti NF MP v Sloveniji (Trček et al. 2010) je vključevala 20 prostovoljcev, ki so več dni nosili osebni merilnik EMDEX II. Osebe, ki so v študiji sodelovale, so sočasno izpolnjevale tudi vprašalnik o aktivnostih v času izvajanja meritev. Skupno je bilo izmerjenih 390 tisoč meritev. Povprečne vrednosti so za posamezne sodelujoče znašale od $0,02 \mu\text{T}$ do $1,07 \mu\text{T}$, skupna povprečna vrednost vseh oseb je znašala $0,26 \mu\text{T}$. Maksimalne vrednosti MP so bile zaradi rabe določenih naprav relativno visoke (do $50 \mu\text{T}$). Od skupno 20 sodelujočih je v kar 5 primerih bila povprečna vrednost MP višja od $0,4 \mu\text{T}$.

Ocena tveganja za pojav otroške levkemije, ki jo je mogoče pripisati izpostavljenostim NF MF v Evropi, je predstavila združena porazdelitev izpostavljenosti, ki temelji na sistematičnem pregledu literature [Grellier et al. 2014]. Izpostavljenost NF MP prebivalstva v Evropi je bila zato ocenjena kot normalna porazdelitev s srednjo vrednostjo $0,02 \mu\text{T}$ in standardnim odklonom $0,06 \mu\text{T}$. Za 0,54% prebivalstva velja, da je izpostavljenost NF MP $\geq 0,3 \mu\text{T}$. Pomembno je, da je v tej študiji

poudarjeno, da se je veliko obstoječih ocen izpostavljenosti in epidemioloških študij osredotočilo na ocenjevanje ali merjenje izpostavljenosti med tistimi specifičnimi podskupinami prebivalstva z močnejšimi od povprečnih izpostavljenosti. Delež prebivalstva v Evropi, ki bi ga predstavljale te skupine, ni ugotovljen.

V nedavno zaključeni raziskavi (Valič et al. 2021) je bila izvedena analiza izpostavljenosti 50 otrok v starosti do 15 let NF MP v različnih mikrookoljih v bližini transformatorskih postaj, VN DV in različnih električnih in elektronskih naprav doma v Sloveniji. V raziskavi so sodelujoči najmanj en dan nosili osebni ekspozimeter, ki je spremljal njihovo izpostavljenost NF MP, sočasno pa so izpolnjevali tudi dnevnik aktivnosti. Ob koncu izvajanja osebnih meritev se je za vsakega sodelujočega izpolnil tudi vprašalnik o poteku meritev in o napravah, ki jih uporabljajo v vsakdanjem življenju ter o drugih pomembnih podatkih, ki bi lahko vplivali na potek meritev, kot je npr. tip stavbe, kjer živijo, število članov gospodinjstva, način ogrevanja...

Iz rezultatov na sliki 1.5 je razvidno, da so povprečne izpostavljenosti v neposredni bližini VN DV lahko znatne. Povprečne 24 urne vrednosti NF MP so za prikazani primer znašale tudi več kot $1,5 \mu\text{T}$. Vendar je lahko vzrok povišanim vrednostim NF MP tudi v napravah, ki se nahajajo neposredno v bivalnem okolju.



Slika 1.5: Prikaz rezultatov meritev osebne izpostavljenosti za otroka, ki biva v neposredni bližini 400 kV DV. Z različno barvo so predstavljene vrednosti v različnih kategorijah izpostavljenosti.

Geometrične povprečne vrednosti NF MP vseh sodelujočih otrok so znašale 0,08 μT za aktivnost Doma, 0,05 μT za aktivnost V šoli, 0,07 μT za aktivnost Na poti, 0,05 μT za aktivnost Na prostem ter 0,06 μT za aktivnosti Razno in Spanje.

Tabela 1.2: Geometrične povprečne vrednosti po posameznih aktivnostih za vse otroke skupaj ter po posameznih aktivnostih za skupino DV, skupino TP in kontrolno skupino. Z odebeljeno pisavo so poudarjene statistično značilne razlike v povprečnih vrednostih za izpostavljenost Doma, Na prostem in Spanje.

skupina	povprečna vrednost	Doma	V šoli	Na poti	Na prostem	Razno	Spanje
vsi	najnižja za posameznega otroka	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
	najvišja za posameznega otroka	1,51	0,29	0,63	1,09	0,64	1,58
	vseh otrok	0,08	0,05	0,07	0,05	0,06	0,06
DV	najnižja za posameznega otroka	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01
	najvišja za posameznega otroka	1,51	0,21	0,45	1,09	0,64	1,58
	vseh otrok	0,13	0,05	0,07	0,08	0,07	0,08
TP	najnižja za posameznega otroka	0,03	0,02	0,01	0,03	0,03	0,01
	najvišja za posameznega otroka	0,68	0,94	0,29	0,13	0,11	0,11
	vseh otrok	0,13	0,06	0,08	0,05	0,07	0,09
kontrolna	najnižja za posameznega otroka	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
	najvišja za posameznega otroka	0,46	0,27	0,63	0,23	0,39	0,35
	vseh otrok	0,04	0,04	0,06	0,03	0,05	0,03

Rezultati trajnih meritev osebne izpostavljenosti otrok NF MP kažejo, da so otroci, ki bivajo v bližini VN DV ali v bližini transformatorskih postaj, doma statistično značilno bolj izpostavljeni NF MP kot otroci, ki v bližini stalnega bivališča nimajo prisotnega ne VN DV in ne transformatorske postaje. Razlika v povprečni vrednosti NF MP med skupinama DV in transformatorska postaja je zelo majhna, pri čemer je potrebno upoštevati, da so bile povprečne oddaljenosti od DV sodelujočih v skupini DV 45 m, medtem ko je v skupini transformatorskih postaj polovica sodelujočih otrok bivala v stanovanju tik ob ali tik nad transformatorsko postajo, za ostalo polovico sodelujočih otrok pa je bila povprečna oddaljenost bivališča od transformatorske postaje manj kot 10 m.

1.2.3 Izpostavljenosti zaradi rabe različnih električnih naprav

Na sevalne obremenitve v bivalnem okolju vplivajo številni dejavniki: število električnih naprav v stanovanju, jakost toka v ozemljitvenem vodu sistema, električno ožičenje, poraba električne energije v celotni soseski, razdalja od sosednjega stanovanja in razdalja od vodnikov. EP in MP niso odvisna od velikosti, zapletenosti, moči in glasnosti električnih naprav. Celo med napravami, ki so si na prvi pogled podobne, se jakosti MP zelo razlikujejo. Zato ni mogoče podati enotne ocene EP in MP, ki jih v svoji okolici povzročajo posamezne električne naprave.

Najmočnejša NF EP, ki jih lahko najdemo v okolju, so prisotna pod VN DN. V nasprotju s tem pa najmočnejša NF MP navadno najdemo v neposredni bližini gospodinjskih naprav, električnih motorjev in drugih električnih naprav v bivalnem okolju (Gajšek et al. 2016). V bivalnem okolju se jakost MP spreminja glede na porabo električne energije v soseski. MP je tako praviloma najvišje zvečer, ponoči pa doseže nižje vrednosti.

Številni avtorji ugotavljajo, da so glavni vir MP v bivalnem okolju gospodinjske naprave, električni motorji in napajalniki (WHO 2007, Valič et al. 2010, SCENIHR 2015). Najvišje vrednosti NF MP najdemo v neposredni bližini gospodinjskih in drugih električnih naprav, ki pa lahko dosežejo vrednosti do nekaj mT. Vendar pa so ta visoka polja zelo lokalizirana in so omejena na zelo kratke razdalje (manj kot nekaj centimetrov) od naprave. Najvišja možna izpostavljenost zaradi določenega vira se pogosto razlikuje za nekaj velikostnih razredov od povprečne vrednosti za posamezno izpostavljenost (SCENIHR 2015). Tako na primer nekateri sušilniki za lase oddajajo zelo močna MP (do 2 mT), okrog drugih pa ta redko presežejo nekaj 10 μ T. Jakosti MP so odvisne predvsem od zasnove/modela naprave in oddaljenosti od nje. Pri večini gospodinjskih naprav je MP na razdalji 30 cm precej nižje od priporočene mejne vrednosti Mednarodne komisije za varstvo pred neionizirnimi sevanji (ICNIRP) za prebivalstvo, ki znaša 200 μ T (slika 1.6).

Za oceno skladnosti z mejnimi vrednostmi izpostavljenosti je treba izmeriti največjo možno izpostavljenost v bližini naprav. Poleg tega so časi izpostavljenosti običajno omejeni tudi za kratkoročno uporabo. Največje izpostavljenosti NF MP se pojavljajo med uporabo električnih naprav v neposredni bližini telesa (npr. električni brivnik ali sušilnik za lase) (WHO 2007).

V Veliki Britaniji so v obsežni raziskavi merili izpostavljenosti NF MP zaradi različnih gospodinjskih naprav ($n=806$ gospodinjskih naprav v 50 različnih gospodinjstvih). Naprave so bile merjene na standardnih razdaljah, 100 in 50 cm (Maslany et al. 2016). Le nekaj naprav je v svoji okolici na razdalji 1 m generiralo NF MP nad $0,2 \mu\text{T}$: mikrovalovni kuhalniki so proizvedli $0,37 \mu\text{T}$; pralni stroji $0,27 \mu\text{T}$ in pomivalni stroji $0,23 \mu\text{T}$. Pri napravah, ki neprekinjeno delujejo, so le tri naprave proizvedle NF MP nekaj desetih μT na razdalji 0,5 m: črpalke za centralno ogrevanje so proizvedle $0,51 \mu\text{T}$ ter zračne črpalke akvarija $0,32 \mu\text{T}$.

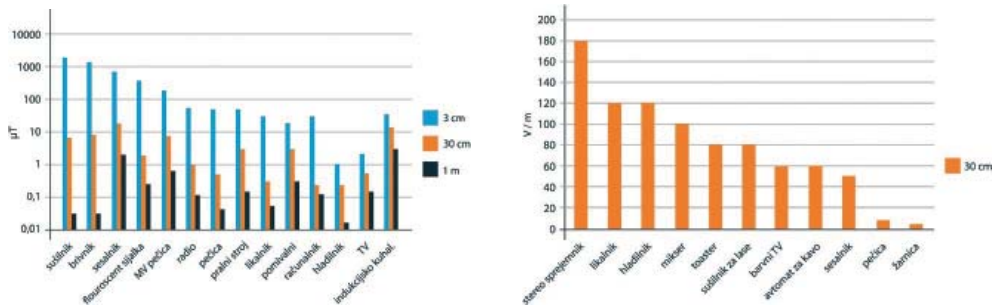
Objavljeni so numerični izračuni EP znotraj človeškega telesa zaradi MP indukcijske kuhalne plošče. Rezultati so pokazali, da so sicer izpostavljenosti precejšnje, a nižje od mejnih vrednosti. Velikokrat se v povezavi z uporabo indukcijskega kuhališča še posebej izpostavlja problem varnosti nosečnic in otrok. Kos s sodelavci (2011) je opravil numerične izračune izpostavljenosti nosečnice v 26 in 30 tednu nosečnosti ter 6 in 11 letnega otroka. Rezultati študije kažejo, da so bile najvišje izračunane vrednosti EP v človeškem telesu $0,11$ in $0,66 \text{ V/m}$ za nosečnico v 26 in 30 tednu ter $0,28$ in $2,28 \text{ V/m}$ za 6 in 11 letnega otroka. Mejne vrednosti znašajo $4,25 \text{ V/m}$.

Iz slike 1.6 lahko razberemo:

- MP v neposredni bližini (3 cm) nekaterih naprav lahko dosežejo do $2000 \mu\text{T}$, kar presega dovoljene mejne vrednosti;
- MP z oddaljenostjo strmo pada;
- na razdalji nad 30 cm so MP v bližini naprav v večini primerov 100-krat manjša od mednarodno priporočenih mejnih vrednosti.

Izpostavljenost MP zaradi uporabe večine gospodinjskih naprav je kratkotrajna.

Poseben primer trajne izpostavljenosti predstavljajo določene naprave, ki se lahko nahajajo v bližini telesa (radijska budilka, napajalnik za tablico, ...). S predstavitvijo takih naprav na bolj oddaljeno lokacijo lahko bistveno znižamo osebno izpostavljenost. Že na razdalji enega metra MP zaradi teh naprav navadno doseže jakosti, primerljive s splošno onesnaženostjo bivalnega okolja z MP ($0,1 \mu\text{T}$).



Slika 1.6.: Značilne vrednosti električnega in magnetnega polja gospodinskih naprav na različnih oddaljenostih (za magnetno poje na 3 cm, 30 cm in 100 cm; za električno polje na 30 cm).

1.3 SKLEPNE UGOTOVITVE

Na splošno je povprečna izpostavljenost NF MP ljudi v različnih evropskih državah zelo nizka in znaša med 0,01 in 0,1 μT . Približno le 0,5% prebivalstva je izpostavljeno daljšim obdobjem NF MP nad 0,2 μT zaradi stacionarnih virov v okolju (npr. VN DV). Povišana izpostavljenost NF MP (do nekaj μT) je bila ugotovljena v stanovanjih, ki so blizu vgrajenim transformatorskim postajam. Večji del izpostavljenosti MP predstavlja raba gospodinskih električnih naprav, vendar je trajanje takšne izpostavljenosti časovno zelo omejeno. Pri kumulativni izpostavljenosti je približno tretjino celotne izpostavljenosti posameznika mogoče pripisati uporabi osebnih naprav. Ena od izjem je električno talno ogrevanje, ki povzroča izpostavljenosti vseh prebivalcev v hiši tako podnevi kot ponoči.

Skupna ocena podatkov obravnavanih raziskav o izpostavljenosti NF MP je, da so vrednosti NF MP v glavnem pod mejno vrednostjo, ki jo določajo priporočila EU in domača zakonodaja. Hkrati pa so v splošnem povprečne vrednosti NF MP tudi nižje od vrednosti 0,4 μT , ki se omenja pri ocenjevanju zdravstvenih tveganj v epidemioloških študijah.

Čeprav rezultati tega pregleda literature potrjujejo, da je evropsko prebivalstvo izpostavljeno zelo nizkim ravnam MP, ki so precej nižje od znanstveno določenih mejnih vrednosti (ICNIRP 2010), so ti rezultati ključnega pomena za vsak prihodnji postopek ocenjevanja tveganj za zdravje, osredotočen na izpostavljenost NF MP, kjer je pogoj poglobljena ocena izpostavljenosti. Upoštevati je treba tudi dejstvo, da so podatki o tehničnih karakteristikah izvedenih meritev (npr. merilna

negotovost, kalibracija merilnih naprav) navadno na voljo v zelo omejenem obsegu.

V nadaljevanju je prikazana predlagana razvrstitev kategorij izpostavljenosti NF MP, ki izhajajo neposredno iz pregleda literature. Ugotovljene so bile tri glavne kategorije izpostavljenosti:

- i. občasna in spreminjajoča se izpostavljenost posameznih delov telesa;
- ii. stalna izpostavljenost celotnega telesa povišanim vrednostim polj
- iii. stalna izpostavljenost celotnega telesa nizkim vrednostim polj (ozadje).

Za prvo kategorijo izpostavljenosti je značilno, da se prostorsko nehomogeno MP z razdaljo od samega vira zelo hitro zmanjšuje (t.j. zaradi virov, ki se uporabljajo blizu telesa). Za drugo in tretjo kategorijo je značilno, da je oseba izpostavljena homogenemu MP na večjih razdaljah od vira samega (glej tabelo 1.3).

Tabela 1.3.: Razvrstitev izpostavljenosti prebivalstva NF MP.

Scenarij izpostavljenosti	Opis, glavni viri in pomembnost za oceno tveganja
<p>Spremenljiva lokalizirana izpostavljenost najvišjim jakostim NF MP</p>	<ul style="list-style-type: none"> • najvišja stopnja izpostavljenosti, • vključuje izpostavljenost zaradi gospodinjskih in drugih električnih naprav, • stopnja izpostavljenosti je zelo spremenljiva in lokalizirana (izpostavljeni posamezni deli telesa), • izpostavljenost se pojavlja v presledkih in je časovno omejena, • izpostavljenost je navadno pod mejnimi vrednostmi, vendar lahko najvišja lokalno omejena vrednosti NF MP (nekaj sto μT) presega dovoljene mejne vrednosti, • tipični viri: gospodinjske naprave, nekateri transportni sistemi, • ta kategorija se upošteva v doslej izvedenih študijah o oceni tveganja glede izpostavljenosti prebivalstva NF MP

<p>Stalna izpostavljenost celega telesa srednjim (povišanim) jakostim NF MP</p>	<ul style="list-style-type: none"> • srednja stopnja izpostavljenosti, • vključuje transformatorske postaje neposredno v bivalnem okolju in VN DV do razdalje 20-50 m. • stopnja izpostavljenosti je spremenljiva v času in prostoru. • povprečne in maksimalne vrednosti NF MP (nekaj μT) so daleč pod mejnimi vrednostmi • tipični viri: Transformatorske postaje v bližini stanovanj, VN DV, • ta kategorija je pomembna pri oceni tveganja v epidemioloških študijah o otroški levkemiji.
<p>Stalna izpostavljenost celega telesa nizkim jakostim NF MP (ozadje).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • nizka stopnja izpostavljenosti (izpostavljenost ozadja zaradi stalno prisotnih MP), • izpostavljenost je stalna, • povprečne in maksimalne vrednosti NF MP (0,01 – 0,1 μT) so več velikostnih razredov nižje od mejnimi vrednostmi, • tipični viri: nizkonapetostno ožičenje v stavbah, stalno delujoče gospodinjske naprave, • ta kategorija je zelo omejeno relevantna za oceno tveganja.

1.4 LITERATURA

- Bakos, J.; Nagy, N.; Juhász, P.; Thuróczy, G.Y. Spot measurements of intermediate frequency electric fields in the vicinity of compact fluorescent lamps. *Radiat. Prot. Dosim.* 2010, 142, 354–357.
- Bedja, M.; Magne, M.; Souques, M.; Lambrozo, J.; Le Brusquet, L.; Fleury, G.; Azoulay, A.; Carlsberg, A. Exposure of the French population to 50 Hz magnetic fields: EXPERS study. In *Proceedings of Third European IRPA Congress, Helsinki, Finland, 14–16 June 2010*.
- Bedja, M.; Magne, M.; Souques, M.; Lambrozo, J.; Le Brusquet, L.; Fleury, G.; Azoulay, A.; Rusczyński, S. French population exposure to 50 Hz magnetic fields: First results in Ile-de-France and Rhône. In *Proceedings of the 36th Annual Meeting of the European Radiation Research Society, Alpes Regions Radioprotection, Tours, France, 2008*.
- Bottura, V.; Borlino, M.C.; Carta, N.; Cerise, L.; Imperial, E. Urban Exposure to ELF Magnetic Field due to High-, Medium- and Low-Voltage Electricity Supply Networks. *Radiat. Prot. Dosim.* 2009, 137, 214–217.
- Brix, J.; Wettemann, H.; Scheel, O.; Feiner, F.; Matthes, R. Measurement of the individual exposure to 50 and 16 2/3 Hz magnetic fields within the Bavarian population. *Bioelectromagnetics* 2001, 22, 323–332.
- D'Amore, G.; Anglesio, L.; Tasso, M.; Benedetto, A.; Roletti, S. Outdoor background ELF magnetic fields in an urban environment. *Radiat. Prot. Dosim.* 2001, 94, 375–380.
- FOPH Switzerland Federal Office of Public Health, Electric Cars, 2009. Available online at: <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/02377/index.html?lang=en> (Last Accessed on August 31, 2016).
- FOPH Switzerland Federal Office of Public Health, Electric Floor Heating System, 2011. Available online at: <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/05139/index.html?lang=en> (Last Accessed on August 31, 2016).
- Gajšek P, Ravazzani P, Grellier J, Samaras T, Bakos J, Thuróczy G. Review of Studies Concerning Electromagnetic Field (EMF) Exposure Assessment in Europe: Low Frequency Fields (50 Hz–100 kHz). *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2016, 13(9):875.
- Gajšek P, Valič B: Električna in magnetna polja - naprave za distribucijo električne energije, strokovna mohografija, projekt Forum EMS, Ljubljana, 2014

- Gajšek P, Valič B: Električna in magnetna polja – visokonapetostni daljnovodi, strokovna monografija, projekt FORUM EMS, Ljubljana, 2018
- Gobba, F.; Bravo, G.; Rossi, P.; Contessa, G.M.; Scaringi, M. Occupational and environmental exposure to extremely low frequency-magnetic fields: A personal monitoring study in a large group of workers in Italy. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2011, 21, 634–645.
- Grellier, J.; Ravazzani, P.; Cardis, E. Potential health impacts of residential exposures to extremely low frequency magnetic fields in Europe. *Environ. Int.* 2014, 62, 55–63.
- Huss A, Goris K, Vermeulen R, Kromhout H. Does apartment's distance to an inbuilt transformer room predict magnetic field exposure levels? *J Expo Sci Environ Epidemiol*; 23: 554–558. 2013
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 1998, 74, 494–522.
- ICNIRP—International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz To 100 kHz). *Health Phys.* 2010, 99, 818–836.
- Ilonen, K.; Markkanen, A.; Mezei, G.; Juutilainen, J. Indoor transformer stations as predictors of residential ELF magnetic field exposure. *Bioelectromagnetics* 2008, 29, 213–218.
- Joseph, W.; Verloock, L.; Martens, L. Measurements of ELF electromagnetic exposure of the general public from Belgian power distribution substations. *Health Phys.* 2008, 94, 57–66.
- Khan, A.; Silva, G.D. Measurement and Analysis of Extremely Low Frequency Magnetic Field exposure in Swedish Residence. Master's Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2010.
- Kos, B.; Valic, B.; Miklavcic, D.; Kotnik, T.; Gajsek, P. Pre- and post-natal exposure of children to EMF generated by domestic induction cookers. *Phys. Med. Biol.* 2011, 56, 6149–6160.
- Lindgren, M.; Gustavsson, M.; Hamnerius, Y.; Galt, S. ELF Magnetic Fields in a City Environment. *Bioelectromagnetics* 2001, 22, 87–90.
- Liorni, I.; Parazzini, M.; Struchen, B.; Fiocchi, S.; Röösli, M.; Ravazzani, P. Children's Personal Exposure Measurements to Extremely Low Frequency Magnetic Fields in Italy. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2016, 13, 549, doi:10.3390/ijerph13060549.
- Magne, I.; Bedja, M.; Deschamps, F.; Le Lay, M.; Richard, J.L.; Fleury, G.; Le Brusquet, L.; Souques, M.; Lambrozo, J.; Carlsberg, A. Analysis of electric network data in the EXPERS study. In Proceedings of the Third European IRPA Congress, Helsinki, Finland, 14–16 June 2010.
- Maslanyi M.P., Mee T.J., Allen S.G.: Investigation and Identification of Sources of Residential Magnetic Field Exposures in the United Kingdom Childhood Cancer Study (UKCCS). Available online: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/340205/HpaRpd005.pdf.
- Paniagua JM, Jiménez, A.; Rufo, M.; Gutiérrez, J.A.; Gómez, F.J.; Antolín, A. Exposure to extremely low frequency magnetic fields in an urban area. *Radiat. Environ. Biophys.* 2007, 46, 69–76.
- Paniagua, J.M.; Jimenez, A.; Rufo, M.; Antolín, A. Exposure assessment of ELF magnetic fields in urban environments in Extremadura (Spain). *Bioelectromagnetics* 2004, 25, 58–62.
- Röösli, M.; Jenni, D.; Kheifets, L.; Mezei, G. Extremely low frequency magnetic field measurements in buildings with transformer station in Switzerland. *Sci. Total Environ.* 2011, 409, 3364–3369.
- SCENIHR, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, Potential Health Effects of Exposure to Electromagnetic Fields (EMF), European Commission 2015. Available online: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf (accessed on 19 March 2016).
- Schüz, J.; Grigat, J.P.; Störmer, B.; Rippin, G.; Brinkmann, K.; Michaelis, J. Extremely low frequency magnetic fields in residences in Germany. Distribution of measurements, comparison of two methods for assessing exposure, and predictors for the occurrence of magnetic fields above background level. *Radiat. Environ. Biophys.* 2000, 39, 233–240.
- Stratmann, M.; Wernu, C. Measurement of the Exposure of the Swiss Population to 50 Hz Magnetic Fields. Available online: http://www.irpa.net/irpa9/cdrom/VOL.3/V3_224.PDF (accessed on 20 April 2016).
- Straume, A.; Johnsson, A.; Oftedal, G. ELF-magnetic flux densities measured in a city environment in summer and winter. *Bioelectromagnetics* 2008, 29, 20–28.
- Struchen, B.; Liorni, I.; Parazzini, M.; Gängler, S.; Ravazzani, P.; Röösli, M. Analysis of children's personal and bedroom exposure to ELF-MFs in Italy and Switzerland. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2015, doi: 10.1038/jes.2015.80.
- Szabó, J.; Jánosy, G.; Thuróczy, G. Survey of residential 50 Hz EMF exposure from transformer stations. *Bioelectromagnetics* 2007, 28, 48–52.
- Thuróczy, G.; Jánosy, G.; Nagy, N.; Bakos, J.; Szabó, J.; Mezei, G. Exposure to 50 Hz magnetic field in apartment buildings with built-in transformer stations in Hungary. *Radiat. Prot. Dos.* 2008, 131, 469–73.
- Tomitsch, J.; Dechant, E. Trends in residential exposure to electromagnetic fields from 2006 to 2009. *Radiat. Prot. Dosim.* 2012, 149, 384–391.

- Tomitsch, J.; Dechant, E.; Frank, W. Survey of electromagnetic field exposure in bedrooms of residences in lower Austria. *Bioelectromagnetics* 2010, 31, 200–208.
- TransExpo, International Study of Childhood Leukemia and Residences near Electrical Transformer Rooms, 2010. Available online: <http://my.epri.com>
- Trček T, Valič B, Gajšek P. Osebna izpostavljenost nizkofrekvenčnim elektromagnetnim sevanjem v Sloveniji – zaključno poročilo 2010. Inštitut za neionizirna sevanja, 2010.
- Valič B, Gajšek P. Analiza variant sanacije transformatorske postaje, nameščene v stanovanjskem objektu. 9. konferenca slovenskih energetikov, Kranjska Gora, Slovenija, 2009
- Valič B, Košir A, Kotnik T, Gajšek P. Izpostavljenost otrok, ki bivajo v bližini VN daljnovodov in trafopostaj, NF magnetnim poljem. 15. konferenca slovenskih energetikov, Laško, Slovenija, 2021
- Valič B, Gajšek P. Mitigate the magnetic field exposure near transformer substations. V: 6th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields : Bodrum, 10th - 14th October 2010, Turkey, 2010
- Valič B, Trček T, Gajšek P. Izpostavljenost prebivalstva električnim in magnetnim poljem po rekonstrukciji 220 in 400 kV daljnovodov. Inštitut za neionizirna sevanja, 2014b
- Valič B, Trček T, Gajšek P. Trajne meritve izpostavljenosti prebivalstva nizkofrekvenčnim magnetnim poljem v različnih okoljih. Inštitut za neionizirna sevanja, 2015.
- Valič B, Trček T, Gajšek P. Trajne meritve magnetnega polja v bližini 220 in 400 kV daljnovodov v Sloveniji s trenutnimi meritvami električnega polja. Inštitut za neionizirna sevanja, 2014a.
- Valič B, Kos B, Gajšek P. Typical exposure of children to EMF: exposimetry and dosimetry. *Radiat Prot Dosimetry* 2015; 163: 70–80.
- WHO. Environmental Health Criteria Monograph No.238: Extremely Low Frequency Fields. 2007 Available on line at: http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/ (accessed on 20 April 2022)
- Yitzhak, N.M.; Hareuveny, R.; Kandel, S.; Ruppim, R. Time dependence of 50 Hz magnetic fields in apartment buildings with indoor transformer stations. *Radiat. Prot. Dosim.* 2012, 149, 191–195.



2 Biofizikalni mehanizmi interakcij EMP

Bor Kos, Tadej Kotnik

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

2.1 UVOD

Poglavje je namenjeno pregledu različnih biofizikalnih mehanizmov, preko katerih lahko pride do bioloških učinkov nizkofrekvenčnih električnih (v nadaljevanju EP) in magnetnih polj (v nadaljevanju MP). Nekateri med temi mehanizmi so znanstveno dobro razumljeni in raziskani, druge pa so predlagali kot hipoteze in so za zdaj še manj preučeni in nepotrjeni. Pri mehanizmih interakcije je pomembno ločiti med **neposrednimi učinki**, kjer EP ali MP neposredno povzroči učinke v telesu, in **posrednimi učinki**, kjer električno ali magnetno polje vpliva na druge okoljske dejavnike, ki nato povzročijo učinke v telesu. Pri vseh mehanizmih, ki jih bomo obravnavali v nadaljevanju, je pomembna **amplituda** oziroma jakost biološkega signala oziroma biološkega učinka, ki ga povzročajo zunanja EP ali MP, predvsem pa razmerje med to amplitudo in amplitudami šumov, naravno prisotnih v fizioloških procesih v živih organizmih. Iz **razmerja med signalom in šumom** izhaja tudi spodnja meja jakosti signala, ki ga lahko zanesljivo pripišemo zunanjim dejavnikom kot potencialnim povzročiteljem mehanizmov delovanja in interakcij. Iz teh je nato mogoče izpeljati jakosti zunanjih EP in MP, ki bi povzročile tolikšno jakost signala v telesu, ter tolikšne in višje jakosti obravnavati kot potencialne povzročitelje bioloških učinkov.

Da bi pri izpostavljenosti zunanjim fizikalnim dejavnikom, kot sta EP in MP nizkih frekvenc, prišlo do neželenih vplivov na zdravje, se mora uresničiti naslednje sosledje dogodkov. Najprej mora priti do interakcije zunanjih polj z osnovnimi gradniki snovi – z molekulami ali atomi, oziroma z njihovimi osnovnimi fizikalnimi lastnostmi, kot je električni dipolni moment. Ta interakcija bi morala potem povzročiti učinke na nivoju posamezne celice ali skupine celic, ki bi nato sčasoma privedli do sprememb, ki bi jih bilo mogoče kategorizirati kot škodljiv vpliv na zdravje. Pri tem načeloma velja, da bi v primeru, če bi bilo mogoče z

določeno raziskavo dokazati nek merljiv vpliv izpostavljenosti EP ali MP, iz tega sledilo, da mora obstajati nek mehanizem, ki ta merljiv vpliv povzroči. Obratno pa ne velja – ni namreč mogoče dokazati, da vpliva na zdravje ne more biti, če trenutno ne poznamo nobenega biofizikalnega mehanizma, po katerem bi lahko do takega vpliva lahko prišlo, saj bo vselej vsaj načeloma obstajala možnost, da bi z neko doslej še nikoli izvedeno raziskavo zaznali tudi doslej še ne zaznan vpliv (SZO 2007).

Za vsakega od mehanizmov, ki bodo predstavljeni v nadaljevanju, bo podan tudi nivo verjetnosti oziroma stopnja znanstvene smiselnosti take interakcije.

2.2 ZNANSTVENA VERJETNOST MECHANIZMA

V temu poglavju bomo natančneje obravnavali različne potrjene in teoretično mogoče mehanizme biofizikalne interakcije EP in MP z biološkimi sistemi, s poudarkom na človeškem telesu in teoretično podprtih mehanizmih, s katerimi bi take interakcije lahko povzročile neželene vplive na zdravje. Pri tem je bistvenega pomena ovrednotiti te učinke tudi v kontekstu jakosti fizikalne količine, ki ji je telo izpostavljeno, in stopnje interakcije, torej jakosti učinka v človeškem telesu.

V okolici elektroenergetskih objektov sta glavni fizikalni količini EP in MP. EP se pojavi v okolici električnih vodnikov, ki so pod napetostjo. Njegova glavna lastnost je, da povzroča silo na električno nabite delce. V človeškem telesu so to v največji meri ioni. EP pa lahko vpliva tudi na sicer električno nevtralne molekule, če je znotraj njih porazdelitev nabojev neenakomerna in imajo zato neničelni električni dipolni moment. V človeškem telesu so to predvsem večje molekule, kot so DNA, RNA, beljakovine in lipidi. MP pa povzroča silo na tiste električno nabite delce, ki se gibljejo (Lorentzova sila), poleg njih še na feromagnetne snovi, časovno spremenljiva MP pa lahko preko Faradayeve indukcije v prevodnih snoveh inducirajo časovno spremenljivo EP. V človeškem telesu se električno nabiti delci, kot so ioni, večje molekule in celice, ki se makroskopsko premikajo in imajo zato povprečno hitrost preko daljšega časovnega obdobja različno od nič, nahajajo predvsem v krvnem obtoku, medtem ko je indukcija EP zaradi izpostavljenosti izmeničnemu MP prisotna praktično v vseh bioloških tkivih, saj imajo ta za to dovolj visoko električno prevodnost.

Če poznamo jakost zunanje količine – v kontekstu umeščanja elektroenergetskih sistemov v okolje sta to predvsem jakost EP in gostota magnetnega pretoka – lahko z numeričnimi metodami ali z uporabo računskih poenostavitev

ovrednotimo, kolikšne so rezultirajoče količine v človeškem telesu. Da pa bi te količine vodile v neke biološke učinke in potencialne vplive na zdravje, morajo povzročiti dovolj veliko spremembo določenega biološko pomembnega procesa ali lastnosti, ki potem vpliva na znotrajcelične signale, živčne signale ali medcelične povezave. Tak parameter je na primer napetost na zunanji membrani bioloških celic (transmembranska napetost), ki je še posebej pomembna v električno vzdražnih celicah, kot so mišične in živčne, v katerih se nanjo odzivajo napetostno občutljivi ionski kanalčki in s tem lahko pride do proženja akcijskega potenciala (vzdraženja celice). Ker pa je v vsakem biološkem sistemu prisotnega nekaj šuma, vire katerega bomo orisali v nadaljevanju, je bistvena primerjava velikosti »motilnega signala«, ki ga povzroči izpostavljenost zunanjemu EP ali MP, s šumi, ki so naravno prisotni v biološkem sistemu. Najpogosteje uporabljano merilo za tovrstne primerjave je razmerje signal/šum. V našem primeru predstavlja signal na primer EP v telesu zaradi izpostavljenosti zunanjemu EP ali MP. Če je signal manjši od šuma, je torej razmerje signal/šum manjše od ena, izpostavljenost zunanjemu dejavniku, ki povzroča tolikšen signal, pa ne more povzročiti nobene spremembe, drugačne od tistih, ki jih povzroča že sam šum. Če je razmerje signal/šum enako ali večje od ena, pa to lahko vodi v spremembo biološkega parametra, kakršni celice sicer niso izpostavljene, in potencialno tudi v spremembe bioloških procesov.

Poleg determinističnih učinkov, ki so orisani zgoraj, moramo pri raziskavi biofizikalnih mehanizmov vplivov EP in MP na biološke sisteme upoštevati še potencialne stohastične učinke. Taki učinki so na primer slučajne poškodbe DNA, ki jih lahko povzročijo reaktivne kisikove spojine, nastale zaradi električnih tokov v telesu, ter povišajo verjetnost za mutacije in posledično tveganje za začetek rakavih sprememb. Za razliko od slučajnih mehanizmov imajo deterministični mehanizmi jasno določljive pragovne vrednosti, nad katerimi pride do biološkega učinka. Takšna je na primer stimulacija živčnih celic: kadar se transmembranska napetost dovolj spremeni, da se aktivirajo napetostno odvisni ionski kanalčki, to vodi v spremembo prepustnosti teh kanalčkov za ione, odtod v tok ionov preko membrane, posledično pa v povečanje spremembe transmembranske napetosti in dodatno aktivacijo kanalčkov. Ta sprememba se zato sama ojačuje in pride do akcijskega potenciala in tako vzdraženja oziroma »proženja« celice. Prag, pri katerem se to zgodi, je v populaciji ljudi (in celic) različen in do določene mere tudi naključno porazdeljen, zato so tudi občutljivosti na zunanje količine v populaciji različne. Verjetnost, da bi taki mehanizmi vodili v negativne vplive na zdravje, se da oceniti iz poznavanja mehanizmov, ki jih imajo celice za odpravljanje poškodb

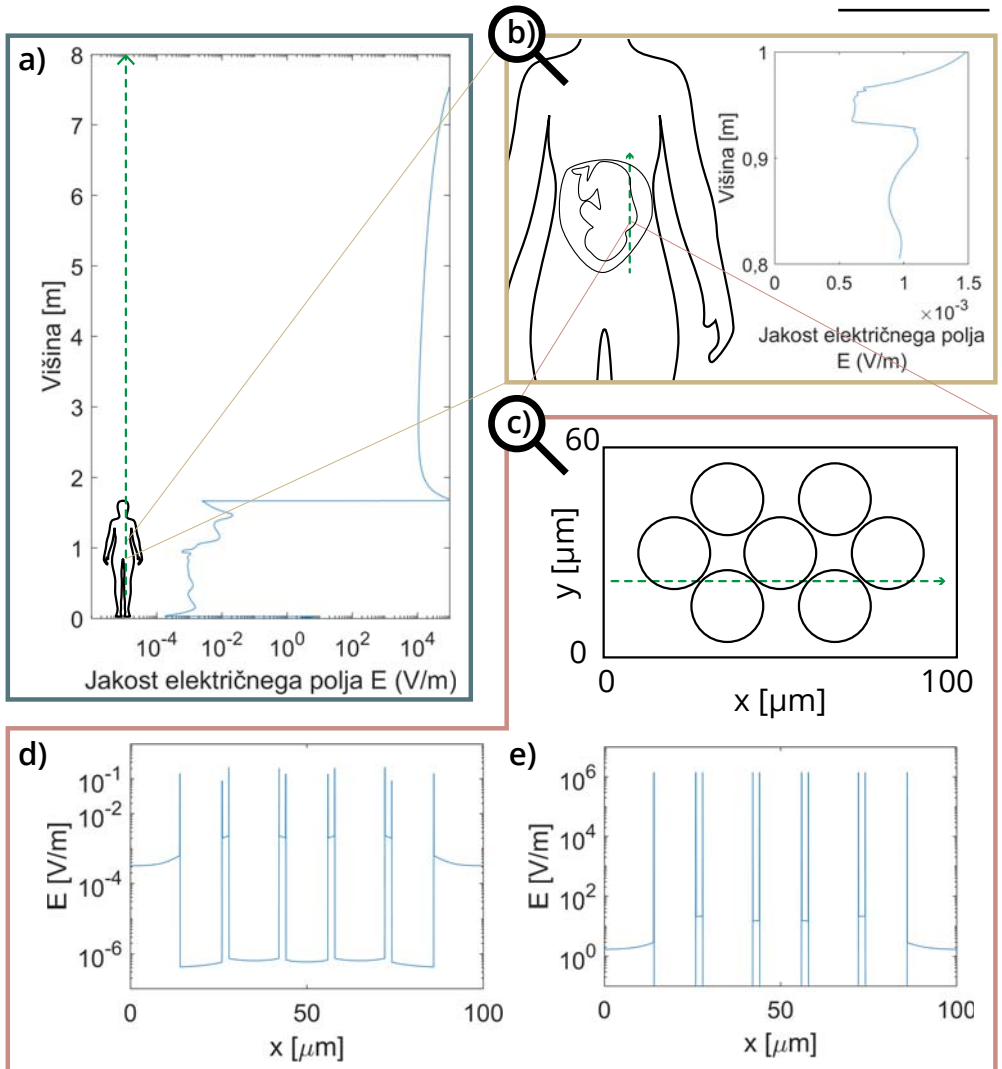
– popravilo okvar DNA, poškodb celične membrane in oksidativnih poškodb, kar bo podrobneje opisano v nadaljevanju.

Pri izpostavljenosti zunanjim dejavnikom je pomembno vprašanje tudi, kako je interakcija odvisna od jakosti in smeri zunanjega dejavnika. Tako EP kot MP sta namreč vektorski polji, ki imata poleg jakosti tudi smer, ki bistveno določa njuno interakcijo s prevodnimi snovmi. Če bi bil teoretični mehanizem odvisen le od jakosti polja in ne tudi od njegove smeri, bi bila tudi velikost biološkega učinka odvisna le od jakosti polja. Če bi bil teoretični mehanizem odvisen le od smeri polja in ne od jakosti, bi se moral njegov vpliv v izmeničnih zunanjih poljih izničiti, saj bi se v prvi polovici periode polja učinek povečeval, v drugi periodi pa spet zmanjševal in to za enako količino.

Z uporabo Taylorjeve vrste je mogoče pokazati, da bi morali biti vsi biološki učinki izpostavljenosti EP in MP nizkih frekvenc odvisni predvsem od druge potence jakosti polja, saj se prva potenca po razvoju v Taylorjevo vrsto časovno izpovpreči proti ničli (Adair 1994). Iz tega v praksi sledi, da kratkotrajne izpostavljenosti višjim jakostim EP ali MP povzročajo večje biološke učinke, kot pa dolgotrajne izpostavljenosti nizkim jakostim.

2.3 INDUCIRANA ELEKTRIČNA POLJA IN TOKOVI

Tako EP kot MP nizkih frekvenc v človeškem telesu povzročata inducirano MP. Človeško telo je v primerjavi z zrakom dober prevodnik, saj električne prevodnosti različnih tkiv pri omrežnih frekvencah znašajo od 0.01 do 1.5 S/m (Hasgall et al. 2022), električna prevodnost zraka pa v odvisnosti od vlažnosti znaša med 3×10^{-15} in 8×10^{-15} S/m. Zaradi tega človeško telo, ko se znajde v zunanjem EP, povzroči njegovo pomembno prerazporeditev, in sicer je v telesu povprečna jakost EP zaradi toliko višje električne prevodnosti za približno šest desetiških velikostnih razredov, torej za faktor od nekaj stotisočkrat do nekaj milijonkrat, manjša od jakosti zunaj telesa (Slika 2.1a). Kljub temu pa v izmeničnem EP tudi tako majhna EP v telesu lahko povzročijo zaznavno tokovno gostoto zaradi prerazporejanja nosilcev naboja v telesu, ki izničujejo zunanje EP. Do opisanega pojava torej pride pri vsaki izpostavljenosti EP, ki se pojavi v bližini katerega koli električnega vodnika. Zunanje MP prehaja skozi človeško telo praktično neovirano in nespremenjeno, kljub temu pa zaradi Faradayeve indukcije v telesu inducira EP in posledično povzroča vrtnične tokove.



Slika 2.1. Jakosti EP pod 400 kV daljnovodom in v telesu nosečnice, ki stoji pod njim. Vsak graf prikazuje efektivno vrednost magnitude polja vzdolž zelene črčkane daljice. a) V zraku pod daljnovodom je jakost polja približno 10 kV/m, v telesu pa v povprečju oslabi za okoli 6 velikostnih razredov. b) Jakosti polja v področju maternice in ploda. Ker so znotraj telesa na makroskopski ravni razlike v jakosti polja sorazmerno majhne, je ta prikazana na linearni skali. c) Skupina celic z radijem 10 μm in celično membrano debeline 5 nm. d) Jakost EP, nastalega zaradi polja daljnovoda, je v celičnih membranah za okoli tri velikostne razrede večja od makroskopske jakosti v tkivu. e) Fiziološke jakosti EP v celičnih membranah, ki je na njih prisotna zaradi mirovalne transmembranske napetosti, so za kar 7 velikostnih razredov višje od jakosti, ki se na membrani pojavijo kot posledica izpostavljenosti polju daljnovoda. Izračuni na panelih a) in b) so bili izdelani s programskim paketom *sim4life* in vrednostmi električnih prevodnosti iz baze IT'IS (Hasgall et al. 2022), izračuni d) in e) pa v programskem paketu *COMSOL Multiphysics*.

Tudi znotraj telesa se jakost EP v splošnem porazdeli tako, da je v predelih telesa z lokalno višjo električno prevodnostjo ta jakost manjša, v predelih z nižjo prevodnostjo pa večja (Slika 2.1b). Daleč najizraziteje pa je ta zakonitost izražena na mikroskopski ravni, saj imajo membrane celic električno prevodnost okoli 3×10^{-7} S/m (Gascoyne et al. 1993), znotrajcelična tekočina in medcelični prostor pa med 0.3 in 1.2 S/m, torej približno šest velikostnih razredov večjo, zaradi česar je jakost EP v membranah za približno tri velikostne razrede večja od tiste v notranjosti in zunanosti celic (Slika 2.1c-e). Zato gre pri preučevanju mogočih biofizikalnih učinkov izpostavljenosti človeka zunanjemu EP in/ali MP nizkih frekvenc te učinke iskati predvsem v celičnih membranah, saj je tam lokalno EP daleč največje. To je tudi osnova razmisleka, ki ga bomo povzeli v nadaljevanju in opira oceno spodnje meje jakosti polja, pri kateri bi bili biofizikalni učinki načeloma še mogoči, predvsem na različne vrste oziroma vire električnega šuma na celičnih membranah.

2.3.1 Viri električnega šuma

Da bi postavili inducirana EP v telesu v kontekst naravno prisotnih bioloških EP in določili razmerje signal/šum pri izpostavljenosti zunanjim poljem, bomo najprej obravnavali naravne vire šuma v telesu ter njihove frekvenčne in amplitudne karakteristike. Celice v živih organizmih vseskozi vzpostavljajo neravnovesja med koncentracijami ionov znotraj in zunaj celice. To generira **mirovalno transmembransko napetost**, ki pri celicah v človeškem telesu, odvisno od tipa celic in faze v celičnem ciklu, znaša med -10 in -90 mV (Levin, Pezzulo, and Finkelstein 2017), pri tem pa negativen predznak pomeni, da je notranjost celice na nižjem električnem potencialu od zunanosti. Transmembranska napetost predstavlja zelo pomemben biološki signal, ki je očitnega pomena pri vzdražnih celicah, saj njihova vzdražnost temelji prav na spreminjanju te napetosti, pomembna pa je tudi sicer pri različnih procesih, med drugim pri embrionalnem razvoju (Levin 2005). Ker je celična membrana zelo tanka (matrica lipidnega dvosloja kot njena osnova ima debelino približno 5 nm), so fiziološke jakosti EP znotraj celične membrane zelo visoke: pri mirovalni transmembranski napetosti -10 mV je povprečna jakost EP v membrani okoli 2 MV/m, pri -90 mV pa okoli 18 MV/m. Kadar se v okolici celice pojavi zunanje EP, pa se zaradi prerazporejanja električnih nabojev, ki se nahajajo znotraj celice ob celični membrani, pojavi dodatna komponenta transmembranske napetosti – **vsiljena transmembranska napetost**, ki je krajevno odvisna, z

najvišjo amplitudo na polih celice pravokotno na vektor zunanjega EP, in jo za okroglo celico določa izraz $1.5 \cdot E \cdot r \cdot \cos \varphi$, kjer je E jakost EP v okolici celice, r polmer celice in φ kot med veznico od središča celice do obravnavane točke na membrani in vektorjem zunanjega EP (Schwan 1957). Poleg mirovalne komponente transmembranske napetosti, ki je v splošnem vselej prisotna na vseh živih celicah, in vsiljene komponente, ki je prisotna v času izpostavljenosti celice zunanjemu EP, pa se na celični membrani pojavlja tudi slučajni šum, ki izvira iz treh različnih mehanizmov (Leuchtag 1991; Lecar and Sachs 1981):

1. **Termični šum** (Johnson-Nyquistov šum) je odvisen od temperature in upornosti snovi. Vsaka snov ima v sebi naravno prisoten šum, ki je posledica naključnega premikanja prostih nosilcev naboja v snovi. Termični šum narašča s temperaturo snovi, za določanje šuma med dvema točkama pa je odvisen tudi od upornosti snovi – pri večji upornosti je šum večji. Pri fiziološki temperaturi ima v celični membrani upoštevajoč njene električne lastnosti termični šum efektivno vrednost približno $3 \mu\text{V}$ (za toliko lahko spremeni siceršnjo vrednost transmembranske napetosti). Druga dva vira šuma, ki ju bomo obravnavali v nadaljevanju, sta v človeškem telesu sicer večja, a je termični šum pomemben z vidika, da kot vselej prisoten predstavlja fiziološko spodnjo mejo šuma, pod katero se amplitude električne napetosti v celicah ne morejo spustiti v nobenem primeru, in zato tudi navzdol omejuje možne biofizikalne mehanizme interakcije z zunanjim EP ali MP.
2. **Kvantni šum** (angl. *shot noise*) odseva diskretno naravo ionov kot nosilcev naboja v okolici celične membrane ter je posledica spontanega odpiranja in zapiranja napetostno odvisnih ionskih kanalov v njej, kar na membranah vzdražnih celic ustvarja naključne fluktuacije transmembranske napetosti v frekvenčnem področju med 5 in 100 Hz s standardnim odklonom fluktuacij amplitude do približno 0.5 mV (Jacobson et al. 2005). Da bi inducirano EP v telesu zaradi izpostavljenosti zunanjemu polju doseglo raven, ki bi na celičnih membranah ustvarila vsiljeno napetost z amplitudo, enako sunkovnemu šumu, bi morala vrednost inducirane EP v telesu dosegati vsaj 100 mV/m (Weaver et al. 1998), za kar bi bila potrebna izpostavitvev zunanjemu EP okoli 5 kV/m oziroma MP okoli 300 μT . Iz tega sledi, da izpostavljenosti nižjim jakostim zunanjega polja (strogo gledano vsaj pri poljih s frekvenco med 5 in 100 Hz) ne morejo pomembno vplivati

na biološke procese, temelječe na transmembranski napetosti pri vzdražnih celicah oziroma njenemu spreminjanju.

3. **Šum 1/f**, ki je posledica ionskega toka preko membranskih kanalov in ima v celični membrani efektivno vrednost približno 10 μV (za toliko lahko spremeni siceršnjo vrednost transmembranske napetosti). Značilnost te vrste šuma, ki se pojavlja v večini električnih sistemov (Hooge 1994), je, da ima vsaka oktava šuma (dvakrat višje frekvenčno območje) enako celotno energijo. Ker je šum 1/f pomemben predvsem pri nizkih frekvencah (amplituda tega šuma je obratno sorazmerna s frekvenco – odtod tudi njegovo poimenovanje), predstavlja najvišjo osnovo za razmislek o razmerju signal/šum pri izpostavljenosti zunanjim EP ali MP. Da bi inducirano EP v okolici posameznih nepovezanih celic v človeškem telesu presegle šum v frekvenčnem območju, kjer šum 1/f dominira, bi moral biti človek izpostavljen EP preko 100 kV/m (Dimbylow 2000), oziroma gostoti magnetnega pretoka preko 10 mT (Dimbylow 1998). Iz tega sledi, da izpostavljenosti nižjim jakostim zunanjega polja ne morejo pomembno vplivati na biološke procese, temelječe na ionskih tokovih preko membranskih kanalov.

2.3.2 Prag za vzdraženje mieliniziranih živcev

Živčne celice (nevroni) so električno vzdražne. Za njihovo delovanje so ključni napetostno občutljivi ionski kanalčki za natrijeve, kalijeve, kalcijeve in kloridne ione. Poleg kanalčkov imajo te celice tudi ionske črpalke, ki vzdržujejo presežek koncentracije kalijevih ionov v notranjosti celice ter presežek koncentracije natrijevih, kalcijevih in kloridnih ionov zunaj celice. Zaradi tega imajo nevroni na svoji celični membrani mirovalno transmembransko napetost med -60 in -75 mV. Kadar se v okolici nevrona pojavi zunanje EP, to povzroči nastanek vsiljene transmembranske napetosti, ki je, kot smo že opisali v poglavju 2.3.1, krajevno odvisna, posledično pa se celotna transmembranska napetost na nekaterih delih membrane nevrona poveča in na drugih zmanjša. Na lokacijah, kjer ta napetost doseže nivo -50 do -55 mV (torej 10-15 mV višje od mirovalne napetosti), pride do sprožitve akcijskega potenciala, ki se nato širi po nevronu in potencialno povzroči še proženje tistih nevronov, s katerimi je tako vzdražen nevron povezan preko sinaptičnih povezav.

Za določanje električne stimulacije živčnih vlaken je bilo razvitih več modelov, ki so v grobem vsi izvedenke fizikalne teorije delovanja električnih kablov. Prvega in še danes enega najbolj znanih takšnih modelov sta razvila Hodgkin in Huxley (Hodgkin and Huxley 1952), za izpeljavo pragov za stimulacijo nevronov pri izpostavljenosti električnemu polju (ki ga lahko v našem primeru inducira bodisi zunanje električno polje bodisi zunanje magnetno polje) pa je najbolj uporaben razširjeni nelinearni model SENN (Reilly, Freeman, and Larkin 1985). Najmanjše električno polje, ki ob optimalni smeri električnega polja glede na smer osi nevrona lahko vodi do vzdraženja, je Reilly ocenil na 6 V/m (Reilly 1998). Ta vrednost velja pri mieliniziranih aksonih večjega premera, pri manjših premerih živčnega vlakna pa je potrebno električno polje nekaj višje.

Pri tem velja poudariti še, da ta pristop ni primeren za modeliranje in analizo vzdraženja v osrednjem živčnem sistemu (Takagi 2000). Zgornje minimalne pragovne vrednosti namreč veljajo zgolj za posamična živčna vlakna, v osrednjem živčnem sistemu pa nasprotno od tega delujejo omrežja povezanih živčnih celic, ki medsebojno komunicirajo preko mnogih sinaptičnih povezav. Te delujejo tako, da ena celica sprosti neurotransmitterske molekule, ki nato vplivajo na delovanje in proženje živčne celice na drugi strani sinaptičnega spoja. Neurotransmitterji, ki se vežejo na ustrezne receptorje, lahko spremenijo odpiranje ionskih kanalčkov ali modulirajo njihovo dejavnost. Povezave, ki delujejo in nastajajo na tak način, so kompleksne in nelinearne, kar lahko povzroči povišano občutljivost za majhne razlike v napetosti, ki se pojavijo na različnih delih nevronske mreže (D. Saunders 2003). Teoretični izračun je pokazal, da bi se lahko na tak način občutljivost N povezanih nevronov povečala za \sqrt{N} (Barnes 1992), Adair in sodelavci pa so to predlagali kot mehanizem zaznave izjemno šibkih zunanjih EP pri nekaterih vrstah morskih psov in drugih rib (Adair, Astumian, and Weaver 1998). Ti se namreč odzivajo že na EP jakosti 0.5 $\mu\text{V/m}$, ki v detektorskih celicah povzročajo napetosti reda velikosti 200 nV – torej manjše amplitude od šumov, ki smo jih obravnavali v poglavju 3.1, saj bi ob sočasnem stiku 5000 tovrstnih detektorjev na eno samo živčno celico lahko skozi seštevek prispevkov le-teh razmerje signal/šum kljub temu preseгло ena in tako omogočilo zaznavo (Adair 2001). Takšna združevanja oziroma seštevjanja signalov so v sistemih za biološko zaznavo pogosta in ponujajo morebitno razlago za biološko zaznavo zelo nizkih amplitud različnih fizikalnih količin. Pri človeku tako deluje obrobje mrežnice, kjer do 1000 paličic zaznava samo jakost svetlobe pri prilagojenosti vida temi in sovpadajo na en ganglij, ki predstavlja izhodni signal iz mrežnice (Taylor and Smith 2004), v možganskem centru za vid pa prav tako

obstaja veliko število povezav in interakcij med nevroni. Tako je bilo z analizo različnih večjih organizmov ocenjeno, da je prag za stimulacijo živčnega sistema zaradi inducirane EP najnižji pri morskih psih in sicer okoli 1 mV/m (Adair, Astumian, and Weaver 1998). Pri človeku je biofizikalni mehanizem z dokazano najnižjim pragom zaznave kompleksna stimulacija vidnega živca, ki jo oseba zazna kot bliskanje v celotnem vidnem polju (pojav magnetnih fosfenov), pojavlja pa se pri izpostavljenosti človeka MP nad 5 mT (Hirata et al. 2011; Foster 2003). Numerične simulacije in poskusi na prostovoljcih kažejo, da je mejna vrednost za stimulacijo mrežnice in povzročitev fosfenov v področju med 10 in 100 mV/m, kar je osnova za najbolj strogo mejo za trenutno veljavne smernice ICNIRP (ICNIRP 2010).

2.4 SILE NA MAGNETNE DELCE

MP ustvarja navor na vse delce z magnetnim dipolnim momentom. Če bi kje v telesu obstajali feromagnetni kristali, bi MP lahko potencialno vplivalo na njihovo orientacijo, oziroma v primeru izmeničnega MP povzročilo, da bi tovrstni delci vibrirali. Adair je izračunal, da bi takšne vibracije lahko delovale kot signal, močnejši od šuma, če bi bil delec velikosti $0.2 \mu\text{m}$ v mediju z visoko viskoznostjo izpostavljen jakosti magnetnega pretoka $5 \mu\text{T}$ (Adair 1994). Tako deluje denimo orientacija pri nekaterih vrstah čebel, ki temelji na magnetitnih delcih ter zaznavanje zunanega zemeljskega MP in navigacijo v njem (Kirschvink and Kirschvink 1991; Walker and Bitterman 1985). Čeprav so se torej pri nekaterih žuželkah skozi evolucijo dokazano razvili mehanizmi za uporabo feromagnetnih materialov za detekcijo MP, pa zaenkrat še ni znano, da bi imeli tovrstne mehanizme za detekcijo zemeljskega statičnega MP tudi primati (Matthes 2003).

2.5 PROSTI RADIKALI

Mehanizem parov prostih radikalov je trenutno edini nedvoumno ugotovljeni in znanstveno splošno sprejeti mehanizem, preko katerega lahko statično MP ali MP nizkih frekvenc vpliva na kemijske reakcije ali na kemijske lastnosti posameznih molekul. Ta mehanizem vključuje točno določene kemijske reakcije med pari kratkoživih prostih radikalov, ki nastanejo iz ene ali dveh molekul s

prenosom elektrona ali vodikovega atoma. MP lahko vpliva preko spina elektronov brez para v teh radikalih. Ta učinek so predlagali kot mehanizem, s katerim ptice selivke zaznavajo MP in jim pomaga pri navigaciji med njihovimi selitvami (Ritz et al. 2004; Cintolesi et al. 2003).

Poleg tega specifičnega primera sicer (tudi) v človeškem telesu obstaja veliko encimskih in drugih bioloških reakcij, ki pri svojem delovanju proizvajajo proste radikale (Hore 2005), toda večina ne proizvaja parov radikalov s koreliranimi spini elektronov. Pri tem je treba namreč upoštevati zemeljsko statično MP, ki ima glede na zemljepisno lego vrednosti med 30 in 60 μT , zato je nizkofrekvenčno MP lahko zgolj dejavnik, ki nekoliko spremeni izkupiček oziroma hitrost določenih kemijskih reakcij (Hore 2019). Določili so, da ima zunanje izmenično MP omrežne frekvence z gostoto pretoka 1 μT lahko maksimalni učinek spremembe hitrosti reakcij z mehanizmom parov radikalov v velikosti 14 delcev na milijon (ppm), kar je primerljivo s spremembo hitrosti reakcij zaradi sprememb temperature v razponu $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ (Hore 2018). Da bi zaradi sprememb v hitrosti kemijskih reakcij prišlo do potencialno biološko pomembne spremembe, bi bila potrebna izpostavljenost gostoti magnetnega pretoka vsaj 50 μT (Scaiano et al. 1994; Adair 1999). Pri tem pa je treba upoštevati še to, da so prosti radikali zelo reaktivne molekule in zato predstavljajo veliko tveganje za celice, ki so zato razvile vrsto učinkovitih mehanizmov za obrambo pred prostimi radikali in preprečevanje njihovih škodljivih učinkov (Liu et al. 2005).

2.6 POSREDNI MEHANIZMI

Poleg neposrednih učinkov EP in MP na človeka, obravnavanih zgoraj, načeloma obstaja še možnost posrednega delovanja teh polj, povezanih z umeščanjem distribucijskih sistemov v prostor. Pri posrednih mehanizmih lahko zunanje EP ali MP s svojim delovanjem povečata izpostavljenost ljudi drugim škodljivim okoljskim dejavnikom. Dva takšna potencialna mehanizma sta kopičenje električno nabitih delcev trdih delcev v zraku v okolici daljnovodov in ionizacija snovi v okolici daljnovodnih kablov zaradi visokih jakosti EP na površini vodnikov. Onesnaženje zraka v obliki trdih delcev ima lahko pomembne negativne učinke na zdravje (AGNIR 2004), povečanje koncentracije trdih delcev onesnaženja v okolici daljnovodov pa bi posledično lahko povečala izpostavljenost tem delcem za populacijo, ki živi ali se drugače giblje v okolici daljnovodov. Pri nastajanju ionov v okolici visokonapetostnih vodnikov zaradi koronskih

efektov so nekatere študije izmerile povečano gostoto naboja v smeri po vetru navzdol od vodnikov (Swanson et al. 2014; Fews, Henshaw, Wilding, et al. 1999), toda povečini le v časovno zelo omejenih obdobjih (Bracken, Senior, and Bailey 2005). Kljub temu pa lahko ionizirani delci v okolici vodnikov del svojega odvečnega naboja prenesejo tudi na druge delce onesnaženja, kar bi lahko povečalo odlaganje delcev velikosti 0.1-1 μm v pljuča (AGNIR 2004). Delci takšne velikosti se sicer v pljuča odlagajo le malo, teoretično pa bi lahko zaradi pridobljenega električnega naboja bolj zastajali v dihalnem sistemu, vendar učinek električnega naboja dejansko poveča stopnjo ujetja delcev v zgornjih dihalih, kar prepreči njihov dostop do pljuč. Če je takšno povečano zastajanje delcev v dihalnem sistemu kljub temu mogoče, so ocenili, da bi bil učinek največji na prostem, v zgradbah pa manjši, čeprav del zračnega onesnaženja lahko prodre tudi v zgradbe (Liu and Nazaroff 2003). Preučevali so tudi možnost vpliva naelektritve delcev onesnaženja na njihovo povečano odlaganje na kožo; v okolici daljnovodov električno nabiti delci oscilirajo zaradi izmeničnega EP, če se ob svojem gibanju zaletijo v neko površino, pa se nanjo pogosto prilepijo, s čimer bi se lahko povečalo tudi odlaganje nekaterih tovrstnih delcev na koži oseb v neposredni bližini daljnovodov (Fews et al. 1999).

2.7 ZAKLJUČEK

Predstavljeni so bili glavni biofizikalni mehanizmi, preko katerih lahko zunanje EP in MP vplivata na biološke sisteme. Vsi mehanizmi so bili postavljeni v kontekst biološkega okolja in različnih virov šuma, ki so naravno prisotni v bioloških sistemih. Obstajajo različni dobro raziskani in razumljeni mehanizmi, prek katerih lahko EP in MP visoke jakosti pri nizkih frekvencah povzročita merljive in zaznavne biološke učinke. Pri izpostavljenosti nizkim jakostim pa trenutno poznani mehanizmi ne presegajo praga šuma v bioloških sistemih. Dejstvo, da trenutno ni poznan noben mehanizem, po katerem bi lahko prišlo do biološkega učinka ali vpliva na zdravje pri izpostavljenosti nizkim jakostim zunanjih polj, pa ne pomeni, da ta ne obstaja; za preveritev nekaterih zgoraj obravnavanih morebitnih mehanizmov bi bile potrebne jasne ugotovitve epidemioloških raziskav ali poskusov na živalih.

2.8 LITERATURA

- Adair, R K. 1994. "Biological Responses to Weak 60-Hz Electric and Magnetic Fields Must Vary as the Square of the Field Strength." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 91 (20): 9422–25. <https://doi.org/10.1073/pnas.91.20.9422>.
- Adair, Robert K. 1999. "Effects of Very Weak Magnetic Fields on Radical Pair Reformation." *Bioelectromagnetics* 20 (4): 255–63. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-186X\(1999\)20:4<255::AID-BEM6>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-186X(1999)20:4<255::AID-BEM6>3.0.CO;2-W).
- Adair, Robert K., R. Dean Astumian, and James C. Weaver. 1998. "Detection of Weak Electric Fields by Sharks, Rays, and Skates." *Chaos (Woodbury, N.Y.)* 8 (3): 576–87. <https://doi.org/10.1063/1.166339>.
- AGNIR. 2004. *Particle Deposition in the Vicinity of Power Lines and Possible Effects on Health: Report of an Independent Advisory Group on Non-Ionising Radiation and Its Ad Hoc Group on Corona Ions*. Didcot: NRPB.
- Barnes, Frank S. 1992. "Some Engineering Models for Interactions of Electric and Magnetic Fields with Biological Systems." *Bioelectromagnetics* 13 (S1): 67–85. <https://doi.org/10.1002/bem.2250130708>.
- Bracken, T.D., R.S. Senior, and W.H. Bailey. 2005. "DC Electric Fields From Corona-Generated Space Charge Near AC Transmission Lines." *IEEE Transactions on Power Delivery* 20 (2): 1692–1702. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2004.834309>.
- Cintolesi, F., T. Ritz, C.W.M. Kay, C.R. Timmel, and P.J. Hore. 2003. "Anisotropic Recombination of an Immobilized Photoinduced Radical Pair in a 50-MT Magnetic Field: A Model Avian Photomagnetoceptor." *Chemical Physics* 294 (3): 385–99. [https://doi.org/10.1016/S0301-0104\(03\)00320-3](https://doi.org/10.1016/S0301-0104(03)00320-3).
- D. Saunders, R. 2003. "Rapporteur Report: Weak Field Interactions in the Central Nervous System." *Radiation Protection Dosimetry* 106 (4): 357–61. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a006372>.
- Dimbylow, P J. 1998. "Induced Current Densities from Low-Frequency Magnetic Fields in a 2 Mm Resolution, Anatomically Realistic Model of the Body." *Physics in Medicine and Biology* 43 (2): 221–30. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/43/2/001>.
- Fews, A. P., D. L. Henshaw, P. A. Keitch, J. J. Close, and R. J. Wilding. 1999. "Increased Exposure to Pollutant Aerosols under High Voltage Power Lines." *International Journal of Radiation Biology* 75 (12): 1505–21. <https://doi.org/10.1080/095530099139115>.
- Fews, A. P., D. L. Henshaw, R. J. Wilding, and P. A. Keitch. 1999. "Corona Ions from Powerlines and Increased Exposure to Pollutant Aerosols." *International Journal of Radiation Biology* 75 (12): 1523–31. <https://doi.org/10.1080/095530099139124>.
- Foster, K. R. 2003. "Mechanisms of Interaction of Extremely Low Frequency Electric Fields and Biological Systems." *Radiation Protection Dosimetry* 106 (4): 301–10. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a006364>.
- Gascoyne, Peter R.C., Ronald Pethig, Julian P.H. Burt, and Frederick F. Becker. 1993. "Membrane Changes Accompanying the Induced Differentiation of Friend Murine Erythroleukemia Cells Studied by Dielectrophoresis." *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes* 1149 (1): 119–26. [https://doi.org/10.1016/0005-2736\(93\)90032-U](https://doi.org/10.1016/0005-2736(93)90032-U).
- Hasgall, P A, F Di Gennaro, C Baumgartner, E Neufeld, B Lloyd, M C Gosselin, D Payne, A Klingenberg, and N Kuster. 2022. "IT'IS Database for Thermal and Electromagnetic Parameters of Biological Tissues." no. Version 4.1 (February). <https://doi.org/10.13099/VIP21000-04-1>.
- Hirata, Akimasa, Yukinori Takano, Osamu Fujiwara, Thanh Dovan, and Robert Kavet. 2011. "An Electric Field Induced in the Retina and Brain at Threshold Magnetic Flux Density Causing Magnetophosphenes." *Physics in Medicine and Biology* 56 (13): 4091–4101. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/56/13/022>.
- Hodgkin, A. L., and A. F. Huxley. 1952. "A Quantitative Description of Membrane Current and Its Application to Conduction and Excitation in Nerve." *The Journal of Physiology* 117 (4): 500–544. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1952.sp004764>.
- Hooge, F.N. 1994. "1/f Noise Sources." *IEEE Transactions on Electron Devices* 41 (11): 1926–35. <https://doi.org/10.1109/16.333808>.
- Hore, P. J. 2018. "Upper Bound on the Biological Effects of 50/60 Hz Magnetic Fields Mediated by Radical Pairs." *BioRxiv*, December, 502344. <https://doi.org/10.1101/502344>.
- Hore, P.J. 2005. "Rapporteur's Report: Sources and Interaction Mechanisms." *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 87 (2–3): 205–12. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2004.08.005>.
- Hore, Pj. 2019. "Upper Bound on the Biological Effects of 50/60 Hz Magnetic Fields Mediated by Radical Pairs." *ELife* 8 (February): e44179. <https://doi.org/10.7554/eLife.44179>.
- ICNIRP. 2010. "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz to 100 KHz)." *Health Physics* 99 (6): 818–36. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181f06c86>.
- Jacobson, Gilad A., Kamran Diba, Anat Yaron-Jakoubovitch, Yasmin Oz, Christof Koch, Idan Segev, and Yosef Yarom. 2005. "Subthreshold Voltage Noise of Rat Neocortical Pyramidal Neurons: Subthreshold Voltage Noise

- of Pyramidal." *The Journal of Physiology* 564 (1): 145–60. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.080903>.
- Kirschvink, Joseph L., and Atsuko Kobayashi Kirschvink. 1991. "Is Geomagnetic Sensitivity Real? Replication of the Walker-Bitterman Magnetic Conditioning Experiment in Honey Bees." *American Zoologist* 31 (1): 169–86. <https://doi.org/10.1093/icb/31.1.169>.
- Lecar, Harold, and Frederick Sachs. 1981. "Membrane Noise Analysis." In *Excitable Cells in Tissue Culture*, edited by Phillip G. Nelson and Melvyn Lieberman, 137–72. Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-3803-1_5.
- Leuchtag, H.R. 1991. "Do Sodium Channels in Biological Membranes Undergo Ferroelectric-Superionic Transitions?" In *[Proceedings] 1990 IEEE 7th International Symposium on Applications of Ferroelectrics*, 279–83. Urbana-Champaign, IL, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISAF.1990.200241>.
- Levin, Michael. 2005. "Left-Right Asymmetry in Embryonic Development: A Comprehensive Review." *Mechanisms of Development* 122 (1): 3–25. <https://doi.org/10.1016/j.mod.2004.08.006>.
- Levin, Michael, Giovanni Pezzulo, and Joshua M. Finkelstein. 2017. "Endogenous Bioelectric Signaling Networks: Exploiting Voltage Gradients for Control of Growth and Form." *Annual Review of Biomedical Engineering* 19 (June): 353–87. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071114-040647>.
- Liu, De-Ling, and William W. Nazaroff. 2003. "Particle Penetration Through Building Cracks." *Aerosol Science and Technology* 37 (7): 565–73. <https://doi.org/10.1080/02786820300927>.
- Liu, Yan, Ruth Edge, Kevin Henbest, Christiane R. Timmel, P. J. Hore, and Peter Gast. 2005. "Magnetic Field Effect on Singlet Oxygen Production in a Biochemical System." *Chemical Communications*, no. 2: 174. <https://doi.org/10.1039/b413489c>.
- Matthes, Rüdiger, ed. 2003. *Exposure to Static and Low Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (0-100 KHz): Review of the Scientific Evidence on Dosimetry, Biological Effects, Epidemiological Observations and Health Consequences Concerning Exposure to Static and Low Frequency Electromagnetic Fields (0-100 KHz)*. ICNIRP 13. Oberschleißheim: Internat. Comm. on Non-Ionizing Radiation Protection.
- Reilly, J. Patrick. 1998. *Applied Bioelectricity*. New York, NY: Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1664-3>.
- Reilly, J. Patrick, Vanda T. Freeman, and Willard D. Larkin. 1985. "Sensory Effects of Transient Electrical Stimulation - Evaluation with a Neuroelectric Model." *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* BME-32 (12): 1001–11. <https://doi.org/10.1109/TBME.1985.325509>.
- Ritz, Thorsten, Peter Thalau, John B. Phillips, Roswitha Wiltschko, and Wolfgang Wiltschko. 2004. "Resonance Effects Indicate a Radical-Pair Mechanism for Avian Magnetic Compass." *Nature* 429 (6988): 177–80. <https://doi.org/10.1038/nature02534>.
- Scaiano, J. C., N. Mohat, F. L. Cozens, J. McLean, and A. Thansandote. 1994. "Application of the Radical Pair Mechanism to Free Radicals in Organized Systems: Can the Effects of 60 Hz Be Predicted from Studies under Static Fields?" *Bioelectromagnetics* 15 (6): 549–54. <https://doi.org/10.1002/bem.2250150608>.
- Schwan, H P. 1957. "Electrical Properties of Tissue and Cell Suspensions." *Advances in Biological and Medical Physics* 5: 147–209.
- Swanson, J., K. J. Bunch, T. J. Vincent, and M. F. G. Murphy. 2014. "Childhood Cancer and Exposure to Corona Ions from Power Lines: An Epidemiological Test." *Journal of Radiological Protection: Official Journal of the Society for Radiological Protection* 34 (4): 873–89. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/34/4/873>.
- Takagi, Hiroshi. 2000. "Roles of Ion Channels in EPSP Integration at Neuronal Dendrites." *Neuroscience Research* 37 (3): 167–71. [https://doi.org/10.1016/S0168-0102\(00\)00120-6](https://doi.org/10.1016/S0168-0102(00)00120-6).
- Taylor, W. Rowland, and Robert G. Smith. 2004. "Transmission of Scotopic Signals from the Rod to Rod-Bipolar Cell in the Mammalian Retina." *Vision Research* 44 (28): 3269–76. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.07.043>.
- Walker, Michael M., and M. E. Bitterman. 1985. "Conditioned Responding to Magnetic Fields by Honeybees." *Journal of Comparative Physiology A* 157 (1): 67–71. <https://doi.org/10.1007/BF00611096>.
- Weaver, James C., Timothy E. Vaughan, Robert K. Adair, and R. Dean Astumian. 1998. "Theoretical Limits on the Threshold for the Response of Long Cells to Weak Extremely Low Frequency Electric Fields Due to Ionic and Molecular Flux Rectification." *Biophysical Journal* 75 (5): 2251–54. [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(98\)77669-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(98)77669-6).
- World Health Organization. 2007. "Extremely Low Frequency Fields," *Environmental health criteria* ; 238, , 519.

3

Biološki učinki EMP

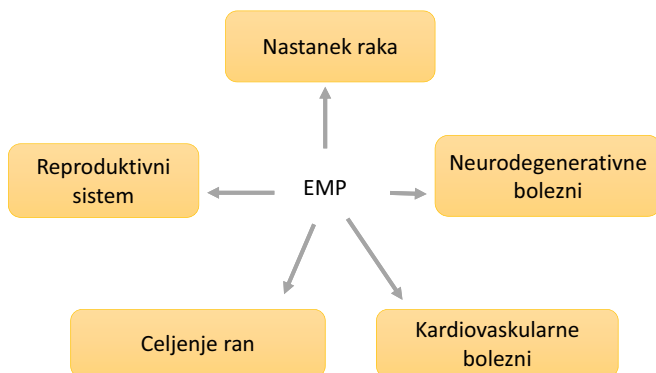
Gregor Serša

Onkološki inštitut, Ljubljana

3.1 KATERE BIOLOŠKE VPLIVE EMP LAHKO PRIČAKUJEMO?

Elektromagnetna polja (v nadaljevanju EMP) so prisotna v naravi ali pa jih povzročimo umetno, kot so različne aparature, ali pa daljnovodi. EMP nizkih frekvenc so značilna za bližine daljnovodov. Od prvega poročila iz leta 1979 o povečani incidenci levkemij zaradi izpostavitve EMP se je začelo intenzivneje raziskovati vzroke za nastanek raka (*Wertheimer et al. 1979*). Posledica tega razmaha raziskovanja o bioloških vplivih EMP in na kancerogenezo, je International Agency for Research on Cancer (IARC) leta 2002 uvrstila EMP nizkih frekvenc med »snovi ki so morda rakotvorne« to je v skupino 2B. S tem je bilo EMP uvrščeno v isto kategorijo kot je pitje kave (*Cancer IAFRO, 2013*).

Kasnejše študije so potrdile povezavo med izpostavitvijo EMP nizkih frekvenc in levkemijami (*Schmiedel and Blettner, 2010; Schüz, 2011*). Zadnje študije pa niso potrdile povezave med EMP in nastankom gliomov (*Carlberg et al. 2018*), pri tem da so zapisi o vplivih na nastanek tumorjev v možganih. Poleg vplivov na nastanek raka je vrsta študij, ki so bile opravljene tako na celicah v *in vitro* pogojih, kot tudi na živih organizmih, predvsem na laboratorijskih miših in laboratorijskih podganah. Te študije poročajo o vplivih EMP na endokrini sistem organizma, reproduktivni sistem, razvoj zarodka, ter delovanje srca (*Gye in Park 2012*). Glede na te vplive lahko biološke vplive EMP razdelimo na nekaj sklopov, kot so: vpliv na nastanek raka, nevrodegenerativne bolezni, kardiovaskularne bolezni, vplivi na celjenje ran in vplivi na reproduktivni sistem (Slika 3.1). V okviru naštetih zvrsti bioloških vplivov EMP nizkih frekvenc bomo povzeli dognanja raziskav na celicah in organizmih ter poskušali tudi nakazati vzroke za njih (*Karimi et al. 2020*).



Slika 3.1: Potenciali biološki vplivi EMP glede na povzročanje ali zdravljenje določenih vrst bolezni.

V literaturi najdemo veliko raziskav, ki opisujejo biološke učinke EMP, a s tem še ne potrjujejo njihovega obstoja. Za trden dokaz je potrebno dokazati: a) tesno povezavo med učinkom in posledicami, b) jasen dozno-odvisen odgovor, c) potrditev učinka na več neodvisnih študijah na živalih, d) ugotoviti mehanizme delovanja, in e) predvsem imeti ponovljive rezultate neodvisnih raziskovalnih skupin.

3.2 VPLIVI NA NASTANEK RAKA

Na tem področju je bilo narejenih veliko študij, tako na celicah v kulturi, kot tudi na živalskih tumorskih modelih. Kljub velikemu številu študij pa je vloga EMP in njegovih mehanizmi indukcije raka nejasna. Študije ne dajejo dovolj verodostojnih dokazov, da EMP povzročajo raka.

V mnogih študijah EMP povzročajo značilne spremembe v preživetju celic, vplivu na celični ciklus, DNA integriteti in sposobnosti proliferacije celic. Odziv celic na izpostavitve EMP je v veliki meri odvisen od parametrov, kot so frekvenca, oblika vala, jakosti in trajanja izpostavitve EMP. Na drugi strani pa je v veliki meri odvisno od genetskih in bioloških značilnosti celic, njihovega metabolnega stanja in faze celičnega ciklusa.

Študije so pokazale zmanjšanje ali povečanje proliferacije rakavih celic v celičnih kulturah. EMP so izpostavili različne vrste celic, celičnih linij MCF10A (humana celična linija epitelija dojke), MCF7 (humana celična linija raka dojke), Jurkat (humana celična linija levkemije T celic) ali NIH3T3 (mišja celična linija fibroblastov). Izpostavili so jih 60Hz pri 1 mT za 4 ali 16 ur. Med njimi so našli razlike v odzivu. Celice MCF7 in MCF10A so se odzvale z zmanjšano

sposobnostjo razmnoževanja, na celice Jurkat in NIH3T3 pa EMP ni imelo vpliva (*Lee et al. 2015*). Z naštevanjem podobnih primerov lahko nadaljujemo, a zaenkrat še ni bil ugotovljen vzorec, po katerem bi lahko predvideli in tudi potrdili kako se nekatere vrste celic odzivajo na izpostavitvev EMP.

EMP bi lahko vplivala na znotrajcelično signalizacijo, ki kontrolira rast in proliferacijo celic. Ena od pomembnih molekul celične signalizacije je proteinska kinaza C (PKC) (*Richard et al. 2002*). Kvantitativna analiza izražanja PKC v celicah je pokazala, da EMP lahko vplivajo na translokacijo te kinaze iz intracelularnega prostora v membrano. Tako je fosforilacija ekstracelularne signal regulirane kinaze 1/2 (ERK1/2) povečana ob izpostavitvi celic EMP (*Kapri-Pardes 2017*). Vendar je malo povečanje fosforilirane ERK1/2 verjetno premalo za spodbuditev celičen proliferacije in morda celo onkogenezo celic. Poleg tega ponavljajoča izpostavitvev celic EMP nizkih frekvenc ni pokazala jasnih dokazov za časovno odvisen odgovor genov z zgodnjim odgovorom, kot so geni za spodbujanje apoptoze celične proliferacije in odgovora celic na stres (*Kirschenlohr et al. 2012*).

Lahko se pojavijo male spremembe v transkripciji genov po izpostavitvi celic EMP nizkih frekvenc. Tako so pri izpostavitvi gliomskih celic (SF767 in H4) ugotovili povečano izražanje petih genov in zmanjšano izražanje 25. genov (*Savage et al. 2005*). Na proteinskem nivoju so ugotovili, da se poveča količina citoskeletnih proteinov, kot so intermediarni elementi (*Kanitz et al. 2007*). Niso pa ugotovili mehanizmov, ki bi povezali opažene spremembe z možnimi karcinogenimi vplivi EMP nizkih frekvenc.

Regulacija izražanja genov lahko poteka po epigenetskih mehanizmih, kar ne vpliva na genetski zapis celic. Epigenetske spremembe v celicah so zaznali pri različnih boleznih, kot tudi pri raku in nevrodegenerativnih boleznih. Nekaj je tudi poročil o vplivih EMP na epigenetske spremembe v celicah, kot so metilacija DNA, modifikacija histonskih proteinov in tudi izražanje mikro RNA. Raziskave so bile narejene na različnih celičnih linijah, kjer so bile zaznane navedene spremembe, mehanizmov delovanja pa ni bilo ugotovljenih. Nakazali so pa na morebitni vpliv reaktivnih kisikovih spojin (ROS) (*Giorgi et al 2021*). Ni pa bilo zaznano v HeLa celicah sprememb v aktivnostih DNA polimeraze, ki podvojuje DNA molekulo (*Harada et al 2001*). To kaže na sicer nek mali vpliv na izražanje in regulacijo genov v celici, a so ti učinki tako majhni da nimajo nekega signifikantnega biološkega vpliva.

EMP lahko vplivajo tudi na membranske receptorje, ki so pomembna tarča saj zaznavajo zunajcelične signale in regulirajo odziv celic na njih. Primer so RAS proteini, ki so del družine GTP proteinov (*Ke at al. 2008*). Njihova vloga je

pomembna za prenos signala v celico in regulacija intracelularnih signalov, kar vpliva na odzive celic na EMP. Na hrčkovih pljučnih fibroblastih so ugotovili, da 50 Hz sinusoidni signal 0,4 mT različnih dolžin izpostavitve povzroči agregacijo RAS proteinov na celicah.

Veliko je bilo raziskav na poskusnih živalih, miših in podganah, z namenom določiti ali izpostavitvev EMP povzroča nastanek raka. Nobena od študij ni zanesljivo potrdila karcinogenega efekta ali pospešitve rasti tumorjev v laboratorijskih miših. Izvedli so tudi poskuse z injiciranjem različnih količin celic karcinoma dojke v laboratorijske miši, ki so bile izpostavljene 60 Hz 2 mT EMP. Študija ni pokazala vpliva EMP na izrast tumorjev, v različnih poskusnih shemah, poleg tega izpostavitvev miši EMP ni vplivala na citotoksični učinek X žarkov (*Galloni et al. 2000*). Ni bilo značilnih učinkov tudi na izražanje vnetnih genov, na krvne celice, niti na izločanje melatonina pri laboratorijskih miših pri dolgotrajni izpostavitvi EMP. Nekoliko večji učinki so bili pri dolgotrajnih izpostavitvah, tudi do 14 tednov. V tem primeru je bila opažen učinek na parametre strjevanja krvi kot je podaljšanje protrombinskega časa (*Vallejo et al 2019*). Pri dolgotrajni izpostavitvi laboratorijskih miši EMP so zaznali zmanjšano težo živali, opazili so tudi povečanje teže jeter, povečano aktivnost vranice ter povečano incidenco kronične mieloične levkemije (za 7%). Zaznali pa so tudi zmanjšano reproduktivno sposobnost miši (*Qi et al 2015*).

Tudi v podganah so bili opaženi pozitivni in negativni učinki EMP. Na laboratorijskih podganah so izvedli poskuse ko-karcinogenosti EMP z daljšimi izpostavitvami. Opazovali so ali EMP poveča karcinogenost 7,12-dimethylbenz(a)antracena. Opazili so povečano proliferacijo epitelija žlez v dojki, kjer je bil nanešen karcinogen, kar je potrdilo tezo da EMP lahko pripomore k karcinogenosti *in vivo* (*Fedrowitz et al. 2002, 2008*). Podobne raziskave so bile narejene tudi na modelu indukcije kožnih tumorjev, vendar niso potrdile interakcije EMP in karcinogena (*Lee et al. 2007*).

Ker so pri ljudeh do sedaj pokazali povezavo EMP samo z levkemijami, dose-danji tumorski modeli na miših z indukcijo drugih vrst tumorjev niso najbolj primerni. Leta 2021 je bil razvit nov tumorski model (*Compos-Sanchez et al. 2021*). Ta študija pa kot prva uporablja zelo relevanten tumorski model na miših, kjer so razvili in vzgajali živali s fuzijskim genom *ETV6-RUNX1*. Ta gen daje živalim predispozicijo za razvoj levkemije, s pomočjo karcinogena. Čeprav rezultati niso bili statistično značilni, so zaznali trend povišanja levkemij. Ker rezultati niso konkluzivni, jih je potrebno ponoviti. Vsekakor pa je to prvi genetski model za preučevanje karcinogeneze levkemij.

Mnoge raziskave so se osredotočile tudi na imunske spremembe, ki jih lahko povzročijo EMP. Mnoge *in vitro* in *in vivo* raziskave na laboratorijskih miših so se osredotočile na proizvodnjo citokinov in prirojene in pridobljene imunosti, ki jih povzema pregledni članek **Mahaki H et al. (2019)**. Avtorji povzemajo ugotovitve, da EMP imajo tako spodbujevalne, kot zaviralne vplive na imunski sistem. Če povzamemo, izpostavitve kratkotrajnim (2-24 h/dan do enega tedna) in nizkim jakostim EMP in velikih gostot lahko povečajo prirojeno imunost s spodbujanjem izločanja citokinov prirojene imunosti. Nasprotno, dolgotrajna izpostavitve (2-24 h/dan do 8 let) nizkim jakostim EMP lahko zmanjša pridobljeno imunost, predvsem preko T_H1 subsetsa. Ti T limfociti, celice pomagalk, proizvajajo interferon gama (IFN- γ), interleukin 2 (IL-2), tumorski nekrotizirajoči faktor (TNF), spodbujajo celično imunost in od fagocitov odvisno vnetje.

3.3 NEVRODEGENERATIVNE BOLEZNI

Tudi pri nevrodegenerativnih boleznih so dokazi o vplivu EMP nekonsistentni in celo nasprotujoči. *Sobel in Davanipour 1996* sta prva opozorila na vpliv EMP na nevrodegenerativne bolezni. V njihovi študiji so pokazali visok vpliv EMP na povečano stopnjo Alzheimerjeve bolezni. Tudi študija iz Švice je pokazala da izpostavljenost prebivalcev, ki so bili izpostavljeni EMP pod daljnovodi, poveča nevarnost za demenco, amiotropično lateralno sklerozo (ALS), multiplo sklerozo in Parkinsonovo bolezen (*Jalilian et al 2018*). So pa tudi študije, ki niso zaznale povečanega tveganja za Parkinsonovo bolezen (*van der Mark 2015*).

Modelov za *in vitro* raziskave je zelo malo. Bilo je nekaj študij o diferenciaciji nevronov in o njihovih biokemičnih spremembah pod vplivom EMP. Embriionalne nevrnalne celice imajo potencial, da se diferencirajo v zrele nevrone. V celičnih kulturah so te celice izpostavili 50 Hz EMP različnih jakosti in za različne dolžine časa. Sledili so različnim parametrom, kot so viabilnost celic, DNA sinteza, velikost celic in celični ciklus, kot tudi proteinskemu profilu in mRNA. Niso ugotovili vpliva EMP na nobenega od parametrov razen na izražanje nekaterih genov, ki bi lahko vplivali na zgodnje stopne diferenciacije živčnih celic (*Reale et al. 2016*). Kljub temu ta sprememba v izražanju genov ni imela vpliva na fenotip živčnih celic. Študija *Seong et al. (2014)* pa je opazovala diferenciacijo humanih mezenhimalnih celic kostnega mozga v nevrone. Opazovali so molekularne markerje, morfologijo celic in elektro fiziološke lastnosti celic v času transformacije v zrele nevronske celice. Ugotovili so spremembo v izražanju 57 genov pod vplivom

EMP in opazili so spodbujevalni vpliv na diferenciacijo celic nevronov, glede na morfologijo celic in elektrofiziološke lastnosti celic.

In vivo, na poskusnih živalih so raziskave bile precej usmerjene v preučevanje spomina in tesnobe pod vplivom EMP. Preučevali so obnašanje podgan v labirintu, po večtedenski izpostavitvi 50 Hz 1 mT. Zaključek študije je bil, da izpostavitve ni vplivala na obnašanje ampak je signifikantno zmanjšala njihov spomin in prostorsko orientacijo (*Cui et al 2012*). Podobna študija, ravno tako na podganah pa ni dokazala vpliva na obnašanje in pokazala na nespremenjeno sposobnost spomina (*Li et al. 2014*). Nekatere študije so spremljale tudi spremembe v možganih, s histološko analizo. Opazili so povečan oksidativni stres v hipokampusu, ter povečano količino reaktivnih kisikovih spojin, kot tudi znižano količino superoksidne dismutaze (*Duan et al 2013*).

Študije o prostorskem spominu in tesnobi so tudi bile narejene na podganah. Pokazale so, da je stopnja tesnobe povezana s trajanjem izpostavitve EMP. Vzrok za nastanek tesnobe pa so pripisali povišani ravni kortikosteronov in glutamatu v hipokampusu živali. Izpostavitve živali EMP je pokazala tudi povišano stopnjo kisikovih prostih radikalov, ki jih povzročijo oksidativni stres (*Korpinar et al. 2012*). Opazovane spremembe so bile povezane samo z daljšo in intenzivnejšo izpostavitvijo.

3.4 KARDIOVASKULARNE BOLEZNI

Epidemiološke študije pri izpostavitvi EMP nakazujejo na spremembe v variabilnosti srčnega ritma. Te spremembe naj bi bile napovedni dejavnik za kardiovaskularne težave (*McNamee et al 2009*). Raziskave na ljudeh kažejo, da dolgotrajne izpostavitve EMP lahko povzročijo miokardni infarkt in aritmije (*Sastre et al 1998*). Vendar sistematična analiza laboratorijskih raziskav ni pokazala trdnih dokazov, da EMP povzročajo kardiovaskularne zaplete, vpliv na hitrost in variabilnost srčnega ritma in krvnega pritiska (*McNamee et al. 2009*).

Na nivoju celic (kardiomiocitov) lahko izpostavitve EMP vpliva na membranske molekule in na biokemične aktivnosti celic. Študije kažejo na povišane ravni serumskih kreatinin fosfokinaz, laktat dehidrogenaze in encima aspartatne aminotransferaze. Še pomembnejši je verjetno vpliv na oksidativni stres ali na zmanjšano aktivnost antioksidantnega sistema (*Azab et al. 2017*). Študije tudi kažejo, da je vpliv lahko na s kalcijem povezane aktivnosti v kardiomiocitih (*Wei et al. 2015*). Kalcij je eden od pomembnih regulatorjev procesov v celicah.

Študija na morskih prašičkih je tudi pokazala, da 50 Hz EMP od 1 – 3 mT v različnih trajanjih izpostavitve lahko vpliva na nastanek prostih radikalov v srcu in aktivnost antioksidantnih encimov. Učinki so bili odvisni od stopenj izpostavljenosti in njenega trajanja (*Canseven et al. 2008*).

Kljub raziskavam, je malo zanesljivih dokazov da izpostavitvev EMP povzroča kardiovaskularne bolezni ali z njimi povezano mortaliteto. Bolj verjetno je, da EMP škodujejo funkciji srca s produkcijo prostih radikalov in zmanjšanjem antioksidantnih encimov (*Azab et al. 2017*).

3.5 REPRODUKTIVNI SISTEM

Tudi klinične študije o učinkih EMP na reprodukcijo so si nasprotujoče. Zadnje študije navajajo, da izpostavitve nosečnic EMP lahko pripomore k spontanem splavu (*Wang Q et al. 2013*). Zato se tudi odsvetuje uporaba električnih blazin ali vodnih postelj z gretjem. Poročila pa ne navajajo vpliva EMP na rast in razvoj zarodka (*Mahram in Ghazavi 2013*).

Raziskave na podganah, ki so bila izpostavljene EMP kot je pri daljnovodih, so zasledili povišane aktivnosti katalaze, brez vpliva na morfologijo, težo uterusa ali ovarijev (*Aydin et al 2009*). Medtem ko je druga študija, kjer so bile podgane izpostavljene podobnim parametrov EMP, zasledila degenerativne spremembe v germinalnih epitelijskih celica v ovarijih in maternici podgan (*Aksen et al. 2006*). Tudi raziskave mišjih spermatocitih so pokazale spremembe, in sicer spremembe v metilaciji genoma. Nizke izpostavitve z 1 mT so zmanjšale metilacijo a višje, s 3 mT pa povečale stopnjo metilacije genoma (*Liu et al. 2015*). Tudi raziskave na miših z 50 Hz 25 μ T za 90 dni ni dokazala vpliva na fertilitnost in reprodukcijo miši (*Elbetieha et al. 2002*). Ta kontroverzna zaznavanja se kar stopnjujejo, na podganah 18 tedenska izpostavitvev 50 Hz ravno tako 25 μ T ni odkrila vpliva na telesno težo ali težo testisov. Je pa odkrila znižano število spermijev ter stopnje testostetrona (*Al-Akhras et al. 2006*).

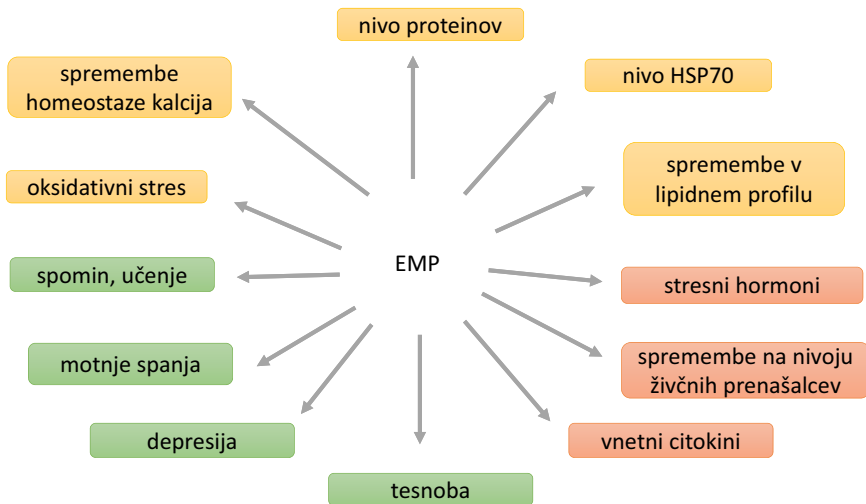
Glede na vsa ta poročila je težko zaključiti, kateri so učinki na reprodukcijo živali in ljudi ter razvoj zarodka in plodu. Vsekakor so potrebne nadaljnje študije, ki naj opredelijo vpliv EMP na fertilitnost in reprodukcijo.

3.6 GENOMSKA NESTABILNOST

Nekatere raziskave, ki sem jih opisal, so že navajale vpliv EMP na izražanje genov predvsem v zvezi z nastankom raka, obstajajo pa še druge raziskave, ki se dotikajo drugih aspektov z vidika genomske nestabilnosti. Gre predvsem za poškodbe DNA, ki je vzrok genomske nestabilnosti. Te poškodbe lahko vodijo v celično smrt, nastanek raka, lahko pa tudi senescenco, tako imenovano staranje celic (*Phillips et al. 2009*).

Najočitnejša oblika poškodbe DNA so DNA prelomi, ki so lahko enojni (single strand breaks, SSB) ali dvojni (double strand breaks, DSB). Predvsem DSB povzročajo prelome DNA verige, ki se ne popravijo in s tem kromosomske aberacije. Take spremembe so posledica zunanjih dejavnikov, kot so ionizirno sevanje, kemikalije in tudi neionizirno sevanje (*Ivancitis et al. 2005*). Tako nekatera poročila govorijo da tudi EMP nizkih frekvenc lahko povzročajo prelome DNA, vendar so ta poročila precej stara (*Lai et al 1997, 2004, Jajte et al 2001*). Novejše je poročilo *Wilson et al 2015*, kjer so analizirali število mutacij v spolnih in somatskih celicah pri miškah po izpostavitvi 50 Hz 10, 100, 300 uT 2 ali 15 h. Ugotovili so, da se poveča število ponavljajočih elementov DNA (Expanded Simple Tandem Repeats, ESTR) tako po izpostavitvi ionizirnemu sevanju kot tudi po EMP, vendar v zelo nizkem številu. V somatskih celicah niso zasledili povečanega števila mutacij, v spermijih miši pa tako imenovano marginalno povišanje števila mutacij. Na osnovi rezultatov študije so zaključili da imajo pri navedenih dozah EMP majhen vpliva na nastanek mutacij, ki je *in vivo* zanemarljiv. Nasprotno pa trdi *Prochownik 2008*, da EMP 60 Hz 1 mT ne povzroča DNA prelomov in genomske nestabilnosti, tudi ne z *c-Myc* aktivacijo. Proteinski produkt *c-Myc* gena je transkripcijski faktor, ki je udeležen pri regulaciji številnih genov, kot tudi onkogenov in tumor supresorskih genov, udeleženih pri maligni transformaciji celic. *c-Myc* gen je drugače pogosto de-reguliran pri številnih vrstah rakov.

V zadnjem času pa se pojavljajo nova spoznanja na nivoju miRNA, ki so udeležene v regulaciji izražanja genov in prepisovanja mRNA v proteine. Tako bodo novejša spoznanja o delovanja genoma prinesla nova spoznanja, in nove molekularne tehnike nova spoznanja tudi na področju bioloških učinkov EMP.



Slika 3.1. Možni biološki učinki EMP na celice in organizme.

3.7 TERAPEVTSKE APLIKACIJE EMP NIZKIH FREKVENC

EMP se ne raziskujejo samo z namenom preučevanja njihove potencialne nevarnosti za človeka in njegovo okolje, ampak tudi zaradi njihovih potencialnih koristnih učinkov. Med najbolj znanimi je njihova uporaba pri tkivni rekonstrukciji. Pregledni članek *Pesce et al. 2013* je pokazal, da EMP nizkih frekvenc lahko pomaga celiti rane. Analiza podatkov v literaturi je pokazala, da imajo EMP nizkih frekvenc proti-vneten učinek, predvsem z modulacijo izražanja profila citokinov v tkivu. To pomaga celjenju ran, ker EMP pomagajo spremeniti pro-vnetno okolje v proti-vnetno. So pa še druge terapevtske aplikacije, ki se preučujejo, kot je rehabilitacija po možganski in srčni kapi, ter v zdravljenju diabetesa, a so te aplikacije še vedno v zgodnjih fazah razvoja.

Zanimiv je tudi nedavni pregled literature na področju celjenja ran (*Gualdi et al. 2021*). Zaključki pregleda literature kažejo, da EMP nizkih frekvenc vplivajo na celjenje kroničnih ran poleg moduliranja vnetja, tudi preko vpliva proteaz na razgradnjo celičnega matriksa, angiogeneze, senescence celic, proliferacije matičnih celic in epitelizacije tkiva. So pa vsi ti učinki vezani na čas izpostavitve, valovne dolžine in oblike vala, frekvence in amplitude.

3.8 ZAKLJUČEK

Pregled bioloških učinkov EMP nizkih frekvenc kaže na raznolikost učinkov, od nivoja izražanja genov do vpliva na delovanje proteinov ter s tem sprememb v fizioloških lastnostih celic in organizma. Vse te raziskave pa izvirajo iz ugotovitev prvih epidemioloških študij, ki so nakazale na potencialno povečanje rakov pri ljudeh izpostavljenih EMP.

Objavljeni članki o bioloških vplivih nizkofrekvenčnih EMP so razmeroma pogosti. Prednosti novejših študij so, da raziskave vedno bolj uporabljajo najnovejše laboratorijske tehnike. Tudi število raziskovalnih skupin se širi in objave so v vedno bolj renomiranih znanstvenih revijah, kar daje vsem tem raziskavam vedno večjo znanstveno težo.

Še vedno pa rezultati raziskav niso prepričljivi. Velikokrat jim manjka statistična zanesljivost, oziroma so marginalno statistično zanesljivi. S tem je pogojena vprašljivost o njihovem biološkem pomenu. Zato bi bilo potrebno pristopiti problemom z bolj sistematičnim pristopom in ponovljivostjo z enakim pristopom več neodvisnih raziskovalnih skupin.

3.9 LITERATURA

- Aksen F, Akdag MZ, Ketani A, Yokus B, Kaya A, Dasdag S: Effect of 50-Hz 1-mT magnetic field on the uterus and ovaries of rats (Electromicroscopy evaluation). *Med Sci Monitor* 12: 215–220, 2006
- Al-Akhras MDA, Darmani H, Elbetieha A: Influence of 50 Hz magnetic field on sex hormones and other fertility parameters of adult male rats. *Bioelectromagnetics* 27: 127–131, 2006
- Aydin M, Cevik A, Kandemir F, Yuksel M, Apaydin A: Evaluation of hormonal change, biochemical parameters, and histopathological status of uterus in rats exposed to 50-Hz electromagnetic field. *Toxicol Ind Health* 25: 153–158, 2009
- Azab AE, Ebrahim SA: Exposure to electromagnetic fields induces oxidative stress and pathophysiological changes in the cardiovascular system. *J Appl Biotechnol Bioeng* 4: 540, 2017
- Cancer IAFRO. Non-ionizing radiation, part 2: radiofrequency electromagnetic fields. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 102: 1–421, 2013
- Canseven AG, Coskun S, Seyhan N: Effects of various extremely low frequency magnetic fields on the free radical processes, natural antioxidant system and respiratory burst system activities in the heart and liver tissues. *Indian J Biochem Biophys* 45: 326, 2008
- Carlberg M, Koppel T, Ahonen M, Hardell L: Case-control study on occupational exposure to extremely low-frequency electromagnetic fields and the association with meningioma. *Biomed Res Int*. 5912394: 2018
- Compos-Sanchez E, Vicente-Duenas C, Rodrigues-Hernandez G, Capstick M, Kuster N, Dasenbrock C, Sanchez-Garcia I, Cobaleda C: Novel ETV6-RUNX1 mouse model to study the role of ELF-MF in childhood B-acute lymphoblastic leukemia: a pilot study. *Bioelectromagnetics* 40: 343–352, 2021
- Cui Y, Ge Z, Rizak JD, Zhai C, Zhou Z, Gong S, Yi Che Y: Deficit in water maze performance and oxidative stress in the hippocampus and striatum induced by extremely low frequency magnetic field exposure. *Plos One* 7: e32196, 2012
- Duan Y, Wang Z, Zhang H, He Y, Lu R, Zhang R, Sun G, Sun X: The preventive effect of lotus seedpod procyanidins on cognitive impairment and oxidative damage induced by extremely low frequency electromagnetic field exposure. *Food Funct* 4: 1252–1262, 2013

- Elbetieha A, AL-Akhras MDA, Darmani H: Long-term exposure of male and female mice to 50 Hz magnetic field: Effects on fertility. *Bioelectromagnetics* 23: 168–172, 2002
- Fedrowitz M, Loscher W: Exposure of fischer 344 rats to a weak power frequency magnetic field facilitates mammary tumorigenesis in the dmba model of breast cancer. *Carcinogenesis* 29: 186–193, 2008
- Fedrowitz M, Westermann J, Loscher W: Magnetic field exposure increases cell proliferation but does not affect melatonin levels in the mammary gland of female sprague dawley rats. *Cancer Res* 62: 1356–1363, 2002
- Galloni P, Marino C: Effects of 50 hz magnetic field exposure on tumor experimental models. *Bioelectromagnetics* 21: 608–614, 2000
- Giorgi G, Del Re B: Epigenetic dysregulation in various types of cells exposed to extremely low-frequency magnetic fields. *Cell Tissue Res* 386: 1–15, 2021
- Gye MC, Park CJ: Effect of electromagnetic field exposure on the reproductive system. *Clin Exp Reprod Med* 39: 1–9, 2012
- Gualdi G, Costantini E, Reale M, Amerio P: Wound repair and extremely low frequency-electromagnetic field: Insight from in vitro study and potential clinical application.
- Harada S, Yamada S, Kuramata O, Gunji Y, Kawasaki M, Miyakawa T, Yonekura H, Sakurai S, Bessho K, Hosono R, et al: Effects of high elf magnetic fields on enzyme-catalyzed DNA and RNA synthesis in vitro and on a cell-free DNA mismatch repair. *Bioelectromagnetics* 22: 260–266, 2001
- Ivancsits S, Pilger A, Diem E, Jahn O, Rüdiger HW: Cell type-specific genotoxic effects of intermittent extremely lowfrequency electromagnetic fields. *Mutat Res* 583: 184–188, 2005
- Jajte J, Zmysłony M, Palus J, Dziubałtowska E, Rajkowska E: Protective effect of melatonin against in vitro iron ions and 7 mT 50 Hz magnetic field-induced DNA damage in rat lymphocytes. *Mutat Res* 483: 57–64, 2001
- Jalilian H, Teshnizi SH, Röösl M, Neghab M: Occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and risk of Alzheimer disease: a systematic review and meta-analysis. *Neurotoxicology* 69: 242–252, 2018
- Karpinar MA, Kalkan MT, Tuncel H: The 50 Hz (10 mT) sinusoidal magnetic field: effects on stress-related behaviour of rats. *Bratisl Lek Listy* 113: 521–524, 2012
- Kanitz MH, Witzmann FA, Lotz WG, Conover D, Savage RE: Investigation of protein expression in magnetic field-treated human glioma cells. *Bioelectromagnetics* 28: 546–552, 2007
- Kapri-Pardes E, Hanoch T, Maik-Rachline G, Murbach M, Bounds PL, Kuster N, Seger R: Activation of signaling cascades by weak extremely low frequency electromagnetic fields. *Cell Physiol Biochem* 43: 1533–1546, 2017
- Karimi A, Moghaddam, Valipour M: Insights in the biology of extremely low-frequency magnetic fields exposure in human health. *Mol Biol Rep* 47: 5621–5633, 2020
- Ke XQ, Sun WJ, Lu DQ, Fu YT, Chiang H: 50 Hz magnetic field induces EGD-receptor clustering and activated RAS. *Int J Radiat Biol* 84: 413–420, 2008
- Kirschenlohr H, Ellis P, Hesketh R, Metcalfe J: Gene expression profiles in white blood cells of volunteers exposed to a 50 hz electromagnetic field. *Radiat Res* 178: 138–149, 2012
- Lai H, Singh NP: Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. *Environ Health Perspect* 112: 687–694, 2004
- Lai H, Singh NP: Melatonin and N-tert-butyl- α -phenylnitron block 60-Hz magnetic field-induced DNA single and double strand breaks in rat brain cells. *J Pineal Res* 22: 152–162, 1997
- Lee HC, Hong MN, Jung SH, Kim BC, Suh YJ, Ko YG, Lee YS, Lee BY, Cho YG, Myung SH: Effect of extremely low frequency magnetic fields on cell proliferation and gene expression. *Bioelectromagnetics* 36: 506–516, 2015
- Lee HJ, Choi SY, Jang JJ, Gimm YM, Pack JK, Choi HD, Kim N, Lee YS: Lack of promotion of mammary, lung and skin tumorigenesis by 20 khz triangular magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 28: 446–453, 2007
- Li C, Xie M, Luo F, He C, Wang J, Tan J, Tan G, Hu Z: The extremely low-frequency magnetic field exposure differently affects the AMPAR and NMDAR subunit expressions in the hippocampus, entorhinal cortex and prefrontal cortex without effects on the rat spatial learning and memory. *Environ Res* 143: 74–80, 2014
- Liu Y, Liu W-B, Liu K-J, Ao L, Zhong JL, Cao J, Liu J-Y: Effect of 50 Hz extremely low-frequency electromagnetic fields on the DNA methylation and DNA methyltransferases in mouse spermatocyte-derived cell line GC-2. *Biomed Res Int* 237183, 2015
- Mahaki H, Tanzadephanah H, Jabirivasal N, Sardanian K, Zamani A: A review of the effects of extremely low frequency electromagnetic field (ELF-EMF) on cytokines of innate and adaptive immunity. *Electromagnetic Biol med* 38: 84–95, 2019
- Mahram M, Ghazavi M: The effect of extremely low frequency electromagnetic fields on pregnancy and fetal growth, and development. *Arch Iran Med* 16: 221, 2013
- McNamee DA, Legros AG, Krewski DR, Wisenberg G, Prato FS, Thomas AW: A literature review: the cardiovascular effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic fields. *Int Arch Occup Environ Health* 82: 919–933, 2009
- Pesce M, Patrino A, Speranza L, Reale M: Extremely low frequency electromagnetic field and wound healing:

- implication of cytokines as biological mediators. *Eur Cytokine Netw* 24: 1–10, 2013
- Phillips JL, Singh NP, Lai H: Electromagnetic fields and DNA damage. *Pathophysiology* 16: 79–88, 2009
- Prochownik EV: c-Myc: linking transformation and genomic instability: *Curr Mol Med* 8: 446–458, 2008
- Qi GY, Zuo XX, Zhou LH, Aoki E, Okamura A, Watanebe M, Wang HP, Wu QH, Lu HL, Tuncel H, et al: Effects of extremely low-frequency electromagnetic fields (elf-EMF) exposure on b6c3f1 mice. *Environ Health Prev Med* 20: 287–293, 2015
- Reale M, D'Angelo C, Costantini E, Tata AM, Regen F, Hellmann-Regen J: Effect of environmental extremely low-frequency electromagnetic fields exposure on inflammatory mediators and serotonin metabolism in a human neuroblastoma cell line. *CNS Neurol Disord* 15: 1203–1215, 2016
- Richard D, Lange S, Vieregut T, Kriehuber R, Weiss DG, Simko M: Influence of 50 Hz electromagnetic fields in combination with a tumour promoting phorbol ester on protein kinase C and cell cycle in human cells. *Mol Cell Biochem* 232: 133–141, 2002
- Sastre A, Cook MR, Graham C: Nocturnal exposure to intermittent 60 Hz magnetic fields alters human cardiac rhythm. *Bioelectromagnetics* 19: 98–106, 1998
- Savage RE, Kanitz MH, Lotz WG, Conover D, Hennessey EM, Hanneman WH, Witzmann FA: Changes in gene and protein expression in magnetic field-treated human glioma cells. *Toxicol Mech Methods* 15: 115–120, 2005
- Seong Y, Moon J, Kim J: Egr1 mediated the neuronal differentiation induced by extremely low-frequency electromagnetic fields. *Life Sciences* 102: 16–27, 2014
- Schmiedel S, Blettner M: The association between extremely low-frequency electromagnetic fields and childhood leukaemia in epidemiology: enough is enough? *Br J Cancer* 103: 931, 2010
- Schüz J: Exposure to extremely low-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer: update of the epidemiological evidence. *Prog Biophys Mol Biol* 107: 339–342, 2011
- Sobel E, Davanipour Z: Electromagnetic field exposure may cause increased production of amyloid beta and eventually lead to Alzheimer's disease. *Neurology* 47: 1594–1600, 1996
- Vallejo D, Hidalgo MA, Hernandez JM: Effects of long-term exposure to an extremely low frequency magnetic field (15 microT) on selected blood coagulation variables in of1 mice. *Electromagn Biol Med* 38: 279–286, 2019
- van der Mark M, Vermeulen R, Nijssen PC, Mulleners WM, Sas AM, van Laar T, Kromhout H, Huss A: Extremely low frequency magnetic field exposure, electrical shocks and risk of Parkinson's disease. *Int Arch Occup Environ Health* 88: 227–234, 2015
- Wang Q, Cao Z, Qu Y, Peng X, Guo S, Chen L: Residential exposure to 50 Hz magnetic fields and the association with miscarriage risk: a 2-year prospective cohort study. *PLoS ONE* 8: e82113, 2013
- Wei J, Sun J, Xu H, Shi L, Sun L, Zhang J: Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on intracellular calcium transients in cardiomyocytes. *Electromagn Biol Med* 34: 77–84, 2015
- Wertheimer N, Leeper E: Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 109: 273–284, 1997
- Wilson JW, Haines J, Sienkiewicz Z, Dubrova YE: The effects of extremely low frequency magnetic fields on mutation induction in mice. *Mutat Res* 773: 22–26, 2015

4 Vplivi nizkofrekvenčnih EMP na zdravje

Ivan Eržen

Nacionalni inštitut za javno zdravje, Medicinska Fakulteta Univerze v Ljubljani

4.1 UVOD

Znanstveno je potrjeno, da nizkofrekvenčna elektromagnetna polja (v nadaljevanju NF EMP) v človekovem telesu lahko povzročajo nastanek električnih polj (v nadaljevanju EP) ter tokov. Interakcije med EMP in človeškim telesom so podlaga za večino smernic za omejevanje izpostavljenosti. Ta polja, znana kot neionizirna sevanje, razen pri izredno visoki akutni izpostavljenosti, kjer gostota magnetnega polja (v nadaljevanju MP) presega $100 \mu\text{T}$, ne morejo prekiniti kemičnih vezi. Kot so pokazale znanstvene raziskave, lahko v odvisnosti od jakosti in frekvenčnega območja zunanjih polj pričakujemo različne vrste učinkov, kot naprimer: segrevanje notranjosti telesa, stimulacijo centralnega in perifernega živčnega sistema ter stimulacijo mrežnice (fosfeni). Obstaja tudi posredni znanstveni dokaz, da inducirano EP lahko vpliva na funkcije možgan (vizualizacijo, motoriko). Za nastanek omenjenih učinkov morajo biti polja v okolici človekovega telesa bistveno močnejša od tistih, ki so navadno prisotna v našem bivalnem okolju. Doslej opravljene raziskave niso jasno pokazale na škodljive vplive izpostavljenosti v domačem ali delovnem okolju na naše zdravje (*WHO 2007*). Notranji tokovi, ki so neposredna posledica EP in MP, so pri jakostih, ki jih srečujemo v našem vsakdanjiku, izredno nizki in nimajo znanih vplivov na naše zdravje. Povprečne naravne gostote tokov v telesu znašajo od 1 do 10 mA/m^2 . Mednarodno priporočena mejna vrednost za nizkofrekvenčna EP in MP upošteva naravne gostote tokov v telesu ter mejne vrednosti, pri katerih nastopijo dokazani vplivi na zdravje: za gostoto toka v telesu znaša mejna vrednost 2 mA/m^2 .

Statična MP lahko vplivajo na biološke snovi preko fizikalnih mehanizmov kot na primer magnetna indukcija in magnetno-mehanske interakcije. Izvedenih je bilo veliko število in-vitro raziskav o možnih bioloških učinkih MP, od vpliva na orientacijo celic in njihovo rast, aktivnosti metabolizma do izražanja genov.

Obstoječe raziskave ne nudijo dovolj prepričljivih podatkov o škodljivih posledicah pri jakosti MP do vrednosti nekaj tesel.

Raziskave na prostovoljcih so poročale edino o majhnem povišanju sistoličnega krvnega tlaka. S pomočjo merjenja izpostavljenosti je bilo ugotovljeno, da lahko pride do pomembnega znižanja krvnega pretoka le pri zelo visokih vrednostih MP nad 15 T. Prav tako ni bilo ugotovljenih akutnih nevroloških učinkov, učinkov na kardiovaskularne funkcije, spomin, govor ali motorične odzivne čase, razvoj ploda in razvoj raka pri izpostavljenosti do 8 T.

Medtem ko so navedeni akutni učinki NF EMP znanstveno dokazani, pa obstaja negotovost glede možnih zapoznelih učinkov in bioloških učinkov pri jakostih polja, ki ne presegajo mejnih vrednosti. Prav ti učinki so že precej časa predmet znanstvenih raziskav. Znanstveniki tako na primer raziskujejo vplive NF EMP na celično membrano, izločanje hormonov, aktivnost encimov, podvajanje in poškodbe DNA vključno z rakom. Rezultatov določenih raziskovalcev, ki so pokazali na obstoj bioloških učinkov, v številnih primerih druge raziskovalne skupine v ponovljenih poizkusih niso mogle potrditi. Tudi prenos izsledkov o bioloških učinkih na nivoju celičnih raziskav oz. poskusov na živalih na človeka je zelo zapleten, faktor negotovosti pa zelo visok (*SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields 2021*).

Nekateri posamezniki (ocenjeno na 2-6 % populacije) naj bi bili še posebej občutljivi za izpostavljenost EP in MP. Pripisujejo jim zbadanje in bolečine v mišicah, glavobol, slabost, depresijo, motnje pri spanju, utrujenost, krče, motnje v koncentraciji ter tesnobo. Eksperimentalne študije na testnih osebah in epidemiološke raziskave kažejo, da se ti posamezniki v natančno nadzorovanih pogojih niso enako odzivali na izpostavljenost EP in MP. Spomin, odzivne sposobnosti in drugi vidiki kognitivnih sposobnosti niso bili prizadeti. Prav tako ni nobenega znanega fizikalnega mehanizma, ki bi opisano preobčutljivost pojasnil. Raziskovanje na tem področju je zelo kompleksno, saj so v možne odzive na EP in MP vpleteni številni drugi subjektivni odzivi, ki niso neposredno povezani z učinki teh polj. Sama namestitev daljnovoda lahko zaradi zaskrbljenosti glede možnih učinkov na zdravje povzroči motnje spanja in sicer tudi v primeru, da daljnovod sploh še ni vključen. Prevladujoče znanstveno mnenje, ki ga podpira tudi Svetovna zdravstvena organizacija je, da na voljo ni znanstveno potrjenih rezultatov raziskav, ki bi potrdili preobčutljivost na EP in MP in s tem nespecifične simptome. (*WHO 2007*)

O vplivih na zdravje, ki so posledica dolgotrajne izpostavljenosti statičnim MP večje jakosti je bilo opravljenih le malo epidemioloških študij med zaposlenimi v industriji (taljenje aluminija, varjenje,...). Rezultati ne omogočajo sklepanja, da

je zaradi izpostavljenosti EMP večje tveganje za pojav malignih obolenj, motenj v reprodukciji ali za pojav drugih vplivov na zdravje. To veja tudi za zaposlene pri izvajanju diagnostike s pomočjo magnetne resonance (MR).

4.2 EPIDEMIOLOŠKE RAZISKAVE

Izpostavljenost ljudi NF EMP je posledica delovanja različnih virov in se pojavlja v različnih okoliščinah v vsakdanjem življenju. EMP so v frekvenčnem območju od 1 Hz do nekaj kHz. Naravni viri NF EMP so tropske nevihte in geomagnetna aktivnost. Pogosti viri, ki jih je v zaprtih prostorih ustvaril človek, so električne naprave v gospodinjstvih in pisarnah, infrastruktura električnih inštalacij v hišah in njihovi bližini ter domače električne in elektronske naprave. Zunanji viri NF EMP z največjo prostorsko pokritostjo vključujejo visokonapetostne nadzemne električne vode, podzemne vode za prenos in distribucijo električne energije, transformatorje in avtomobilske komponente. Zaradi novih tehnologij so se pojavili novi viri EMP. Zdaj se na primer pogosto uporabljajo domači sistemi za brežično (induktivno) polnjenje baterij električnih vozil, ki predstavljajo dodaten vir izpostavljenosti ljudi. Vse to vodi v izpostavljenost prebivalstva razvitega sveta NF EMP.

Leta 1979 so ameriški raziskovalci ugotovili večjo pojavnost otroške levkemije v bližini nadzemnih daljnovodov (tj. distribucijskih vodov, ki v ZDA pogosto potekajo med hišami) kot dlje od njih (*Wertheimer in Leeper*).

Visokonapetostni daljnovodi ustvarjajo EP in MP nizkih frekvenc. Pojavilo se je vprašanje, ali je izpostavljenost tem poljem lahko razlog za večjo pojavnost otroške levkemije. To je privedlo do nadaljnjih raziskav, ki pa se niso osredotočile le na otroško levkemijo, temveč tudi na druge vrste raka pri otrocih in odraslih ter druge bolezni. Leta 2002 je Mednarodna agencija za raziskave raka (IARC), agencija Svetovne zdravstvene organizacije (WHO), razvrstila MP nizkih frekvenc kot »mogoče rakotvorna za ljudi«, predvsem zato, ker so epidemiološke študije pokazale precej dosledno povezavo med izpostavljenostjo takšnim poljem in povečanim tveganjem za otroško levkemijo (*IARC 2002*). V zadnjih letih se je veliko raziskav osredotočilo na možnost, da bi izpostavljenost EMP lahko povzročila škodljive posledice za zdravje, vključno z razvojem raka, vendar pa epidemiološke študije, ki so te domneve preverjale, niso dale dokazov o tej povezanosti (*Habash et al. 20219*).

Na splošno rezultati raziskav kažejo, da se tveganje za otroško levkemijo povečuje z zmanjševanjem razdalje od vira in povečevanjem jakosti MP. Ocenjeno

tveganje je bilo nekoliko večje v tistih raziskavah, kjer so jakost MP opredelili z bolj natančnimi metodami. Najbolj reprezentativna ocena izpostavljenosti je ocena jakosti MP v vseh prebivališčih otroka med rojstvom in diagnozo. Na podlagi teh podatkov se zdi, da je ocenjeno tveganje za levkemijo več kot dvainpolkrat večje pri otrocih, ki so bili dolgoročno izpostavljeni povprečni jakosti MP od 0,3 do 0,4 μT ali več, v primerjavi z otroki, ki so izpostavljeni na ravni ozadja. (*Health Council of the Netherlands 2018, Habash et al. 2019*)

Povprečna izpostavljenost ljudi EMP je opredeljena z okolji, v katerih posamezniki preživljajo svoj čas, viri, s katerimi se srečujejo na teh lokacijah, in trajanjem izpostavljenosti. Povprečna izpostavljenost prebivalcev EMP se med razvitimi državami zelo malo razlikuje. Geometrične sredine jakosti EMP v stanovanjskih naseljih naj bi se gibale med 0,025 in 0,07 μT v Evropi ter med 0,055 in 0,11 μT v Združenih državah Amerike (*WHO 2007*). V Kanadi je bila na vzorcu 382 otrok iz petih provinc, ki so jih merili z osebnimi merilniki MP, ugotovljena povprečna izpostavljenost MP 0,12 μT (*Deadman et al. 1999*). Povečana izpostavljenost EMP (do nekaj μT) pa je bila ugotovljena v stanovanjih, ki so zelo blizu vgrajenih energetskih transformatorjev (*Gajšek et al. 2016*).

Velik del zaskrbljenosti javnosti zaradi EMP je povezan z električnimi napeljavami v bližini bivališč, šol ali na delovnih mestih. Zaskrbljenost glede zdravstvenih učinkov EMP izvira iz nasprotujočih si rezultatov epidemioloških študij, ki so preučevale velike skupine ljudi. Kljub nasprotujočim si rezultatom teh študij o vplivih EMP pa so bile sprejete zaščitne smernice za izpostavljenost EMP (*WHO 2007*).

Zaskrbljenost prebivalstva je velika tudi v slovenskem prostoru. Z namenom čim bolj verodostojnega prikaza stanja vedenja na področju vpliva EMP na zdravje je bil opravljen sistematični pregled znanstvene literature, ki poroča o epidemioloških raziskavah vpliva EMP na zdravje. V sistematični pregled so vključeni znanstveni članki, objavljeni v obdobju 2000-2022, ki prikazujejo povezavo med izpostavljenostjo prebivalcev EMP in tveganjem za raka, bolezni srca in ožilja, motnje reprodukcije in prirojene okvare ter za nevrodegenerativne bolezni. Članki, vključeni v sistematični pregled, poročajo o opravljenih meta analizah ter združenih analizah. V meta analizah se rezultati različnih študij s podobnim obsegom in pristopi združijo, tako da se iz vseh razpoložljivih podatkov dobi ena ocena tveganja. Pri združenih analizah pa se zberejo izvirni neobdelani podatki iz več študij, ki se analizirajo kot en niz podatkov in prilagodijo morebitnim motečim dejavnikom.

Metode dela

Za potrebe tega pregleda sta bila uporabljena dva pristopa in sicer:

1. analiza znanstvenih člankov, ki so rezultat posameznih raziskav, ki so proučevale povezanost med EMP in posledicami na zdravju ter
2. sistematični pregled literature, ki je oblika raziskovanja, kjer celovito, na znanstveni način obdelamo neko področje ali problem in sicer na podlagi objavljenih poročil o raziskavah. Pri tem ne gre zgolj za opis vsebine dokumentov, temveč tudi za njeno sistematično, celostno, poglobljeno in kritično analizo ter sintezo.

Iskalna strategija

Za iskanje študij, ki so preučevale štiri izbrane zdravstvene posledice, povezane z EMP, je bila uporabljena bibliografska baza podatkov PubMed. Ta zbirka se običajno uporablja za sistematične preglede epidemiološke literature, pri čemer je PubMed simultalno iskal članke, shranjene v zbirki MEDLINE. Iskalni izrazi in merila za vključitev so bili določeni vnaprej. Uporabljeni so bili zlasti naslednji iskalni izrazi:

- (extremely low-frequency magnetic field) OR (extremely low-frequency electromagnetic field) AND (cancer)
- (extremely low-frequency magnetic field) OR (extremely low-frequency electromagnetic field) AND (cardiovascular OR CVD)
- (extremely low-frequency magnetic field) OR (extremely low-frequency electromagnetic field) AND (neurodegenerative OR neuro OR Alzheimer's OR Huntington's OR Parkinson's)
- (extremely low-frequency magnetic field) OR (extremely low-frequency electromagnetic field) AND (pregnancy OR reproductive OR fetal)

Merila upravičenosti

Pregled je zajemal vse sistematične preglede literature, metanalize in združene analize, kjer so proučevali izbrane negativne zdravstvene posledice, povezane z izpostavljenostjo ljudi EMP. Vključeni so bili članki, ki so temeljili na združenih analizah ali na meta analizah.

Vključene študije so izpolnjevale naslednja merila:

- (1) primarna raziskava raziskava izpostavljenosti EMP na enega od štirih želenih negativnih zdravstvenih izidov (rak, srčno-žilne bolezni, učinki na reproduktivno zdravje in prirojene okvare ter nevrodegenerativne bolezni);
-

- (2) ustrezno zasnovana epidemiološka študija pri ljudeh, vključno s kohortno epidemiološko študijo, študijo primerov in kontrol, presečno epidemiološko študijo;
- (3) ocena tveganja z intervali zaupanja (CI);
- (4) objavljena v obdobju 2007-2022;
- (5) članek v angleškem jeziku, ki je bil objavljen v recenzirani reviji, dostopen na spletu ali prek korespondence z avtorjem.

Študije so bile izključene, če je šlo za podvojena poročila o analizah z isto populacijo o istem izidu, ki nas zanima, povzetke konferenc, ali katero koli drugo obliko pregleda. Izključene so bile tudi eksperimentalne študije in so obravnavale izpostavljenost pulznim EMP v nadzorovanem kliničnem okolju.

Rezultati

Pri začetnem iskanju je bilo v PubMedu najdenih 139 člankov. Pri pregledu naslovov in povzetkov člankov je bilo uporabljenih 29 člankov, ki so izpolnjevali merila za vključitev. Tabela 4.1 prikazuje rezultate iskanja v bazi Pub med (17.3.2022).

Tabela 4.1: pregled rezultatov iskanja preglednih člankov, ki obravnavajo povezavo med EMP in zdravstvenimi posledicami pri ozpostavljenih osebah

Iskalna strategija	Število študij/člankov	Študije/članki, ki so bili vključeni v končno analizo
(extremely low-frequency magnetic field) OR (extremely low-frequency electromagnetic field) AND (cancer)	75	18 Ahlbom et al.2000, Brabant et al.2022, Carpenter.2019, Feychting et al.2005, Habash et al.2019, Kheifets et al.2005, Kheifets et al.2009, Kheifets et al.2010 (1), Kheifets et al.2010(2), Miah et al.2017, Otto 2007, Preece et al 2000, Repacholi.2012, Schüz et al 2008, Schüz et al.2011, SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields 2021 ² , Seomunt et al.2021, Teepe et al.2012
(extremely low-frequency magnetic field) OR (extremely low-frequency electromagnetic field) AND (cardiovascular OR CVD)	20	3 Kheifets et al.2007, McNamee.2009, Nittby 2008

(extremely low-frequency magnetic field) OR (extremely low-frequency electromagnetic field) AND (neurodegenerative OR neuro OR Alzheimer's OR Huntington's OR Parkinson's)	24	4	García et al.2008, Huss et al.2015, Huss et al.2018, Jalilian et al.2017
(extremely low-frequency magnetic field) OR (extremely low-frequency electromagnetic field) AND (pregnancy OR reproductive OR fetal)	20	4	Feychting.2005, Karimi et al.2020, Lee et al.2014, Onyije et al.2022
Skupaj	139		29

Sinteza ugotovitev

Pregled se osredotoča na vpliv EMP na štiri široke razrede zdravstvenih izidov, vključno z rakom, boleznimi srca in ožilja, učinki na reproduktivno zdravje in nevrodegenerativnimi boleznimi. V nadaljevanju je podana sinteza ugotovitev za vsak rezultat.

4.2.1 Rak

Povezava med otroško levkemijo in nizkofrekvenčnimi MP, ki jih generirajo električni vodi in različni električni aparati, je bila v zadnjih 40 letih obsežno raziskana. Vendar pa pogoji, pod katerimi EMP predstavljajo dejavnik tveganja za levkemijo, še vedno niso jasni. Sistematičen pregled vključuje združene študije in metanalize, ki so upoštevale različne pristope pri ocenjevanju izpostavljenosti MP: meritve gostote magnetnega pretoka ($<0,2 \mu\text{T}$ proti $>0,2 \mu\text{T}$), razdalje med otrokovim domom in električnimi vodi ($>200 \text{ m}$ proti $<200 \text{ m}$) in razporeditev žic (nizkotokovna konfiguracija v primerjavi z visokotokovno konfiguracijo).

Rezultati kažejo razliko v stopnji povezanosti otroške levkemije in EMP med raziskavami, ki so bile izvedene pred letom 2000 in študijami, ki so bile izvedene kasneje. To ugotavljajo tudi *Brabant et al. (2022)*, ki so v obsežni raziskavi, ki je temeljila na 21 združenih analizah in na metanalizah izračunali, da je razmerje obetov (RO) za pojav otroške levkemije pri otrocih 1,26. Na to povezavo pa so vplivale pretežno raziskave, ki so bile opravljene pred letom 2000, kjer je bilo RO bistveno večje (1,51) kot pa pri kasnejših študijah (RO-1,04).

Metaanalizi, kjer je bila izpostavljenost opredeljena na osnovi oddaljenosti od daljnovidov, sta pokazali, da je bilo RO za pojav levkemije pri otrocih 1,11, če so

živeli na območju, ki je bilo oddaljeno od daljnovodov manj kot 50 m, medtem ko je bilo RO za pojav levkemije pri otrocih, ki so živeli na območju, ki je bilo oddaljeno 200 m od daljnovoda 0,98.

Rezultati kažejo, da lahko EMP, ki je večje od $0,4 \mu\text{T}$, poveča tveganje za razvoj levkemije pri otrocih, zato je dolgotrajna izpostavljenost električnim napravam, ki ustvarjajo MP, večja od $0,4 \mu\text{T}$, lahko povezana z večjim tveganjem za otroško levkemijo.

Na splošno rezultati kažejo, da se tveganje za otroško levkemijo povečuje z zmanjševanjem razdalje in povečevanjem jakosti MP. Ocena tveganja je višja, kadar je jakost MP natančneje opredeljena. Najbolj reprezentativna ocena izpostavljenosti je ocena jakosti MP v vseh prebivališčih otroka med rojstvom in diagnozo. Na podlagi teh podatkov se zdi, da je ocenjeno tveganje za levkemijo več kot dvainpolkrat večje pri otrocih, ki so bili dolgoročno izpostavljeni povprečni jakosti MP od $0,3$ do $0,4 \mu\text{T}$ ali več, v primerjavi z otroki, ki so izpostavljeni na ravni ozadja (*SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields 2021*).

Za druge vrste raka pri otrocih so na voljo le podatki o možganskih tumorjih in limfomih. Samo za možganske tumorje je na voljo dovolj podatkov za izvedbo analiz. V študijah, v katerih je bila kot merilo izpostavljenosti uporabljena razdalja, ni bilo ugotovljenih znakov povezave z možganskim rakom pri otrocih. V študijah, ki kot merilo izpostavljenosti uporabljajo jakost MP, pa se zdi, da je tveganje za možganskega raka skoraj 1,5-krat večje pri otrocih, ki so bili doma dolgotrajno izpostavljeni MP s povprečno jakostjo $0,4 \mu\text{T}$ ali več. Pri tej oceni tveganja obstaja precejšnja negotovost, zato je bolj verjetno, da gre pri tem povečanju za naključno ugotovitev kot v primeru levkemije.

Podatki o raku pri odraslih niso pokazali povezave z izpostavljenostjo EP ali MP (*Davis et al. 2002*). V več obsežnih študijah, izvedenih v devetdesetih letih prejšnjega stoletja, o levkemiji in možganskem raku so uporabili izboljšane metode za individualno oceno poklicne izpostavljenosti MP in morebitnih motečih dejavnikov. V posameznih študijah, pa tudi v meta- in združenih analizah ni bilo potrjeno, da bi izpostavljenost EMP vplivala na povečano tveganje za pojav možganskih tumorjev pri odraslih (*Kheiftes et al. 1995*).

Čeprav so nekatere prejšnje študije, ki so temeljile na registrih, opozorile na možno povezavo med izpostavljenostjo EMP in rakom dojke pri ženskah, pa zelo obsežna študija, ki je vključevala meritve izpostavljenosti pri delavkah, ni pokazala povezave (*Forssen et al. 2005*).

4.2.2 Bolezni srca in ožilja

Proučevanje akutnih posledic izpostavljenosti EMP na funkcije srca, kažejo, da izpostavljenost EMP do jakosti 120 μT nimajo pomembnega vpliva na srčni ritem. Do teh ugotovitev so prišli ob izvajanju eksperimentalnih študij s prostovoljci. Tudi v primeru proučevanja dolgotrajne izpostavljenosti EMP poklicno izpostavljenih moških delavcev niso našli negativnih učinkov na delovanje srca in ožilja (*Kheifets et al. 2007*). *Koeman et al. (2013)* niso ugotovili nobenih znakov povezanosti med izpostavljenostjo EMP in umrljivostjo zaradi bolezni srca in ožilja v celoti kot tudi ne ob upoštevanjem posameznih skupin bolezni srca in ožilja. *Röösli et al. (2008)* so sklenili, da njihove ugotovitve ne podpirajo hipoteze, da izpostavljenost EMP povečuje tveganje za bolezni srca. Raziskava je vključevala delavce, ki so bili različno izpostavljeni EMP. V proučevanje so vključili aritmijo, akutni miokardni infarkt ter umrljivostjo zaradi ateroskleroze. Za vse vzroke umrljivosti zaradi bolezni srca in ožilja je bilo tveganje za smrt med bolj izpostavljenimi v primerjavi z manj izpostavljenimi 1,09 (95 % CI: 1,00-1,19). Prednost te študije je bila velika skupina zaposlenih na železnici, kjer so bile okoliščine izpostavljenosti dobro opredeljene. Žal pa tudi tukaj niso imeli podatkov o drugih dejavnikih tveganj, ki lahko prispevajo k razvoju bolezni srca in ožilja. *McNamee et al. (2009)* so opravili obsežen pregled epidemioloških raziskav, ki so pokazale, da ni dokazov za sklep, da izpostavljenost EMP povečuje tveganje za obolevanje ali smrt zaradi bolezni srca in ožilja.

4.2.3 Učinki na reproduktivno zdravje

Pregled preglednih člankov o reprodukciji in EMP, ki so izpolnjevali merila za vključitev v ta pregled, kaže na pomanjkanje dokazov o povezavi med izpostavljenostjo EMP in reprodukcijo (*Feychting 2005, Karimi et al 2020, Lee et al 2014, Onyije et al 2022*). Ocene tveganja, ki so bile opravljene v vključenih raziskavah ne kažejo, da bi obstajala povezava med izpostavljenostjo staršev ali fetusa EMP in negativnimi vplivi na reproduktivno zdravje.

Le ena ocena tveganja je pokazala statistično pomembne učinke. *Wang et al. (2013)* so poročali o nivoju tveganja za spontani splav 1,72 (CI 1,10-2,69), vendar pa so avtorji izpostavili, da zaradi razmeroma nizke ravni izpostavljenosti MP in prisotnosti motečih spremenljivk niso mogli zaključiti, da je 50 Hz MP vzročni dejavnik oziroma predstavlja izpostavljenost tveganje za spontani splav.

Auger et al. (2019) so v retrospektivni kohorti 784 944 novorojenčkov med letom 2006 in 2016 v Quebecu v Kanadi raziskali, ali izpostavljenost EMP med nosečnostjo povečuje tveganje raka pri otrocih. Otroke so spremljali od rojstva do prve hospitalizacije zaradi raka, smrti ali zaključka študije 31. marca 2017 z uporabo podatkov o hospitalizaciji. Izpostavljenost prebivalcev EMP je bila ocenjena z izračunom razdalje med centrom naselij, ki so jih opredeljevale šestmestne poštno številke in najbližjo transformatorsko postajo ali visokonapetostnim daljnovodom (≥ 120 kV). Podatki so prilagojenimi za materino starost, materino komorbidnost, spol dojenčka, večplodnost, makrosomijo, prirojeno anomalijo, ekonomsko situacijo in podeželsko prebivališče. Odnos med izpostavljenostjo in odzivom je bil modeliran z uporabo dihotomizirane spremenljivke. Skupaj je bilo opazovanih 1114 naključnih primerov raka. Šestindvajset primerov se je pojavilo v oddaljenosti 200 m od transformatorske postaje, 181 primerov pa v oddaljenosti 100 m od visokonapetostnega daljnovoda. Razdalja 80 m od transformatorske postaje je bila povezana z razmerjem tveganja 1,08 (95 % CI: 0,98-1,20) za kateregakoli raka, 1,04 (95 % CI: 0,88-1,23) za krvotvornega raka in 1,11 (95 % CI: 0,99-1,25) za solidne tumorje v primerjavi z oddaljenostjo 200 m. Povezave z daljnovodi ni bilo. Velikost vzorca je razmeroma velika, retrospektivna zasnova pa je omogočila vključitev praktično vseh otrok na preučevanem območju. O morebitni izgubi sodelujočih v raziskavi pri nadaljnjem spremljanju in kakovosti povezav za ugotavljanje primerov ni poročano. Omejitev študije je netočna razvrstitev izpostavljenosti. Koordinate prebivališča so netočne (šest digitalnih poštnih števil) in podzemni kabli niso bili izključeni iz analize, čeprav ravni MP hitro upadajo z oddaljenostjo od teh kablov. Prav tako je bilo mogoče upoštevati samo izpostavljenost na naslovu rojstva. Zaradi odsotnosti podatkov o izpostavljenosti MP ni znano, ali so otroci, ki so oddaljeni 200 m od transformatorskih postaj, izpostavljeni višjim ravнем MP kot otroci, ki so oddaljeni 100 m od visokonapetostnega voda. Običajno je izpostavljenost MP večinoma povečana na razdalji do 50 m od nadzemnega daljnovoda najvišje napetosti (≥ 220 kV). Takšna analiza razdalje ni bila opravljena.

4.2.4 Nevrodegenerativne bolezni

Rezultati proučevanja vpliva EMP na pojav nekaterih nevrodegenerativnih bolezni ne kažejo na povezanost med izpostavljenostjo EMP ter pojavom nevrodegenerativnih bolezni. Izjema je morda Alzheimerjeva bolezen (AB), kjer nekatere

študije kažejo na morebitno povezavo med EMP in to boleznijo, vendar pa so tu potrebne še nadaljnje raziskave, kjer bodo zajeti tudi drugi dejavniki, ki prav tako lahko prispevajo k razvoju te bolezni.

Sistematični pregled literature in meta analize, ki ga je opravila *Huss (2015)* na 11 raziskavah, ni pokazal, da bi izpostavljenost EMP povečala tveganje za razvoj Parkinsonove bolezni.

Garcia et al. (2008) so opravili obsežno meta analizo, kamor so vključili devet študij primerov in kontrol ter pet kohortnih študij. Proučevali so povezanost med poklicno izpostavljenostjo EMP in pojavom Alzheimerjeve bolezni. Kljub določenim omejitvam, ki so posledica pomanjkljivega upoštevanja motečih dejavnikov ter izzivov pri opredeljevanju izpostavljenosti, so zaključili, da rezultati nakazujejo določeno povezavo in je potrebno s proučevanjem nadaljevati.

Cilj populacijske študije primera in kontrole, ki jo je izvedel *Gervasi s sodelavci (2019)*, je bil raziskati morebitno povezavo med izpostavljenostjo MP zaradi visokonapetostnih daljnovodov in pojavom nevrodegenerativnih bolezni, kot sta Alzheimerjeva in Parkinsonova bolezen, v metropolitanskem območju Milana (Italija). Kot približek izpostavljenosti MP je bila uporabljena razdalja stanovanjskega naslova do najbližjega visokonapetostnega nadzemnega daljnovoda (> 30 kV). V študijo so bili vključeni primeri, diagnosticirani med letoma 2011 in 2016 (Alzheimer: $n = 9835$, Parkinson: $n = 6810$), in štiri kontrolne osebe na bolnika. Avtorji so ugotovili rahlo povečano, vendar neznačilno povečano tveganje za Alzheimerjevo bolezen (OR=1,11, 95 % CI: 0,95-1,30) in Parkinsonovo bolezen (OR=1,09, 95 % CI: 0,92-1,30) pri osebah, ki živijo manj kot 50 m od visokonapetostnega daljnovoda, v primerjavi z osebami, katerih naslov prebivališča je vsaj 600 m oddaljen od visokonapetostnega daljnovoda. Prednosti študije so velik vzorec in dejstvo, da so avtorji upoštevali pomembne moteče dejavnike, vključno z indeksom socialno ekonomske prikrajšanosti. Zanimiv je rezultat validacijske analize, opravljene v zvezi s sladkorno boleznijo (pozitivni kontrolni rezultat). Po pričakovanjih je bila ta bolezen povezana z bližino prometnih cest, ne pa tudi z bližino visokonapetostnih daljnovodov. Zanimivo bi bilo videti analizo, omejeno na daljnovode višje napetosti (> 200 kV), kar bi bilo morda mogoče glede na razmeroma veliko število primerov, ki so živeli v oddaljenosti do 50 m od daljnovoda ($n=241$), ki je bil tukaj opredeljen kot vsaj 30 kV.

4.3 VRZELI V ZNANJU IN OMEJITVE

Glavna vrzel v znanju o povezavah med izpostavljenostjo EMP in škodljivimi posledicami za zdravje v trenutno razpoložljivi literaturi je pomanjkanje dokazov o interakcijskih mehanizmih, ki povezujejo EMP z zdravstvenimi tveganji, kot so rak (zaradi starševske ali neposredne izpostavljenosti) in nevrodegenerativne bolezni. Skoraj vse študije, vključene v ta pregled, so namreč navajale pomanjkanje (odsotnosti) podatkov o biološkem mehanizmu, ki bi pojasnil možne učinke EMP na zdravje.

Pregled opravljenih raziskav iz področja vpliva izpostavljenosti EMP na zdravje pokaže, da obstajajo resne omejitve, ki zmanjšujejo zanesljivost rezultatov in možnost posploševanja ugotovitev na širšo populacijo. Tako je še vedno odprto vprašanje informacijske pristranosti, predvsem v smislu določanja jakosti in trajanja izpostavljenosti ter upoštevanja drugih dejavnikov, ki imajo morda pomembno vlogo pri pojavu zdravstvenih posledic- t.i. moteči dejavniki.

4.4 OPREDELITEV IZPOSTAVLJENOSTI

- Uporabljajo se različni načini ugotavljanja izpostavljenosti od meritev izpostavljenosti z različnimi inštrumenti (točkovno, dnevno, nočno, 24 urno, 48 urno,...) doma, v šolskem okolju, na delovnem mestu ali pri posamezniku, do ocene oddaljenosti bivališča do najbližjih električnih vodov, do vprašalnikov glede izpostavljenosti zaradi uporabe gospodinjskih naprav.
- Pri odraslih se za poklicno izpostavljenost pogosto uporablja tudi t.i. matrika poklicne izpostavljenosti (JEM iz angl. Job Exposure Matrix), ki na osnovi poklica opredeljuje povprečno izpostavljenost posameznika, ki pa se pri konkretnem posamezniku lahko bistveno razlikuje od povprečne tabelarične vrednosti. Pri izpostavljenosti je potrebno upoštevati tudi trajanje izpostavljenosti, tako v posameznem dnevu, kot v daljšem obdobju (npr. število let zaposlitve na nekem delovnem mestu, preselitev z ene lokacije na drugo,...).
- Mnoge študije upoštevajo le eno lokacijo izpostavljenosti (le izpostavljenost doma ali na delovnem mestu), pri nekaterih pa skušajo s pomočjo različnih modelov upoštevati različne izpostavljenosti v daljšem časovnem obdobju.
- Pri proučevanju umrlih oseb se za podatke o izpostavljenosti uporabljajo

podatki, pridobljeni od tretjih oseb (običajno svojcev umrlih), kar vnaša dodatno negotovost glede točnosti opredelitve izpostavljenosti.

- Pogosto je v študijah prisotna tudi pristranost izbora, predvsem v smislu slabe odzivnosti kontrolnih oseb, ki so manj motivirane za sodelovanje.
- Osnovna pomanjkljivost večine študij pa je majhno število ljudi, ki so vključeni v raziskavo (majhno število oseb, ki so sploh izpostavljene višjim jakostim polj, majhno število oseb, ki imajo določen opazovan zdravstveni izid), kar onemogoča trdnejše zaključke.

4.5 MOTEČI DEJAVNIKI

- Večina študij v zelo omejenem obsegu vključuje vpliv drugih motečih dejavnikov, ki lahko sami bistveno vplivajo na opazovan zdravstveni izid kot na primer poklicna izpostavljenost benzenu in vpliv na pojav levkemije, ali kajenje matere v času nosečnosti in posledično nizka porodna teža novorojenčka.
- Običajno upoštevajo raziskovalci pri načrtovanju, izvedbi in analizi le majhno število motečih dejavnikov, če sploh. Tako raziskave, ki ugotavljajo sočasen vpliv EMP in drugih nevarnostnih dejavnikov iz okolja (fizični in kemični agensi) pri enakih opazovanjih dajejo nasprotujoče zaključke. Vpliv sočasne izpostavljenosti EMP in drugim dejavnikom iz okolja tako ostaja še nepojasnen.

4.6 OMEJITVE

Pričujoči pregled ima svoje omejitve. Nekatere uvedene omejitve vključujejo nezmožnost ustrezne ocene neangleških člankov, objavljenih o EMP, in dostopa do nekaterih člankov, ki bi lahko bili primerni za pregled zaradi omejitev dostopa na spletu. Poleg tega so neustrezna imena člankov, povzetki in ključne besede morda omejili odkrivanje relevantnih člankov s pomočjo te strategije iskanja. Poleg tega je treba opozoriti, da je bila vključena le podatkovna zbirka PubMed. Čeprav ta podatkovna zbirka zajame veliko večino študij na tem področju, so bile nekatere študije, ki niso bile na voljo tej podatkovni zbirki, morda izpuščene. Opravljeno je bilo sicer še ročno iskanje, da bi na ta način zmanjšali število izpuščenih člankov, vendar to morda še vedno ni zajelo vseh primernih člankov.

4.7 LITERATURA

- Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J: A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer*83(5): 692-8, 2000
- Auger N, Arbour L, Luo W, Lee GE, Bilodeau-Bertrand M, Kosatsky T. Maternal proximity to extremely low frequency electromagnetic fields and risk of birth defects. *Eur J Epidemiol*, 34, 689-697, 2019
- Brabant C, Geerinck A, Beaudart C, Tirelli E, Geuzaine C, Bruyère O: Exposure to magnetic fields and childhood leukemia: a systematic review and meta-analysis of case-control and cohort studies. *Rev Environ Health*. 2022
- Carpenter DO: Extremely low frequency electromagnetic fields and cancer: How source of funding affects results. *Environ Res* 178:108688. doi: 10.1016/j.envres.2019.108688, 2019
- Davis S, Mirick DK, Stevens RG. Residential magnetic fields and the risk of breast cancer. *Am. J. Epidemiol.* 155:446– 54,2002
- Deadman JE, Armstrong BG, McBride ML, Gallagher R, Thériault G. Exposures of children in Canada to 60- Hz magnetic and electric fields. *Scand J Work Environ Health*. 1999;25(4):368–75
- Feychting M, Ahlbom A, Kheifets L: EMF and health. *Annu Rev Public Health* 26:165-89, 2005
- Feychting M: Non-cancer EMF effects related to children. *Bioelectromagnetics*. Suppl 7:S69-74, 2005
- Forsse'n UM, Rutqvist LE, Ahlbom A, Feychting M. Occupational magnetic fields and female breast cancer: a case-control study using Swedish population registers and new exposure data. *Am. J. Epidemiol.* 2005
- Gajšek P, Ravazzani P, Grellier J, Samaras T, Bakos J, Thuróczy G. Review of studies concerning electromagnetic field (EMF) exposure assessment in Europe: Low frequency fields (50 Hz–100 kHz). *Int J Environ Res Public Health*. 13(9):pii:E875, 2016;
- García AM, Sisternas A, Hoyos SP: Occupational exposure to extremely low frequency electric and magnetic fields and Alzheimer disease: a meta-analysis. *Int J Epidemiol* 37(2):329-40, 2008
- Gervasi F, Murtas R, Decarli A, Russo AG. Residential distance from highvoltage overhead power lines and risk of Alzheimer's dementia and Parkinson's disease: a population-based case-control study in a metropolitan area of Northern Italy. *Int J Epidemiol*, 48, 1949-1957, 2019
- Habash M, Gogna P, Krewski D, Habash RWY: Scoping Review of the Potential Health Effects of Exposure to Extremely Low-Frequency Electric and Magnetic Fields. *Crit Rev Biomed Eng* 47(4):323-347, 2019
- Health Council of the Netherlands: Power line and health part I: Childhood cancer 1-44, 2018
- Huss A, Koeman T, Kromhout H, Vermeulen R: Extremely Low Frequency Magnetic Field Exposure and Parkinson's Disease--A Systematic Review and Meta-Analysis of the Data. *Int J Environ Res Public Health*. 12(7):7348-56, 2015
- Huss A, Peters S, Vermeulen R: Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and the risk of ALS: A systematic review and meta-analysis. *Bioelectromagnetics*. 39(2):156-163, 2018
- IARC - International Agency for Research on Cancer. Non-ionizing radiation, part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon: IARC, 2002
- Jalilian H, Teshnizi SH, Röösli M, Neghab M: Occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and risk of Alzheimer disease: A systematic review and meta-analysis. *Neurotoxicology* 69:242-252, 2018
- Karimi A, Ghadiri Moghaddam F, Valipour M: Insights in the biology of extremely low-frequency magnetic fields exposure on human health. *Mol Biol Rep*. 47(7):5621-5633, 2020
- Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM, Feychting M, Johansen C, Monroe J, Murphy MF, Oksuzyan S, Preston-Martin S, Roman E, Saito T, Savitz D, Schüz J, Simpson J, Swanson J, Tynes T, Verkasalo P, Mezei G: A pooled analysis of extremely low-frequency magnetic fields and childhood brain tumors. *Am J Epidemiol* , 172(7):752-61, 2010
- Kheifets L, Ahlbom A, Johansen C, Feychting M, Sahl J, Savitz D: Extremely low-frequency magnetic fields and heart disease. *Scand J Work Environ Health* 33(1):5-12, 2007
- Kheifets L, Bowman JD, Checkoway H, Feychting M, Harrington JM, Kavet R, Marsh G, Mezei G, Renew DC, van Wijngaarden E: Future needs of occupational epidemiology of extremely low frequency electric and magnetic fields: review and recommendations. *Occup Environ Med* 66(2):72-80, 2009
- Kheifets L, Renew D, Sias G, Swanson J: Extremely low frequency electric fields and cancer: assessing the evidence. *Bioelectromagnetics* 31(2):89-101. doi: 10.1002/bem.20527, 2010
- Kheifets L, Shimkhada R. Childhood leukemia and EMF: review of the epidemiologic evidence. *Bioelectromagnetics Suppl* 7:S51-9, 2005
- Kheifets LI, Afifi AA, Buffer PA, Zhang ZW. Occupational electric and magnetic field exposure and brain cancer: a meta-analysis. *J. Occup. Environ. Med.* 37:1327–41, 1995
- Koeman T, Slotje P, Kromhout H, Schouten LJ, Gold-bohm RA, Van Den Brandt PA, Vermeulen R. Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and cardiovascular disease mortality in a prospective cohort study. *Occup Environ Med*. 70(6):402–7, 2013
- Lee SK, Park S, Gimm YM, Kim YW: Extremely low frequency magnetic fields induce spermatogenic germ cell

- apoptosis: possible mechanism. *Biomed Res Int* 2014;567183. doi: 10.1155/2014/567183. Epub 2014
- McNamee DA, Legros AG, Krewski DR, Wisenberg G, Prato FS, Thomas AW: A literature review: the cardiovascular effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic fields. *Int Arch Occup Environ Health* 82(8):919-33, 2009
- Miah T, Kamat D: Current Understanding of the Health Effects of Electromagnetic Fields. *Pediatr Ann* 46(4):e172-e174, 2017
- Nittby H, Grafström G, Eberhardt JL, Malmgren L, Brun A, Persson BR, Salford LG: Radiofrequency and extremely low-frequency electromagnetic field effects on the blood-brain barrier. *Electromagn Biol Med* 27(2):103-26, 2008
- Onyije FM, Olsson A, Baaken D, Erdmann F, Stanulla M, Wollschläger D, Schüz J: Environmental Risk Factors for Childhood Acute Lymphoblastic Leukemia: An Umbrella Review. *Cancers (Basel)*. 14(2):382, 2022
- Otto M, von Mühlendahl KE: Electromagnetic fields (EMF): do they play a role in children's environmental health (CEH)? *Int J Hyg Environ Health* 210(5):635-44, 2007
- Preece AW, Hand JW, Clarke RN, Stewart A: Power frequency electromagnetic fields and health. Where's the evidence? *Phys Med Biol* 45(9):R139-54, 2000
- Repacholi M: Concern that "EMF" magnetic fields from power lines cause cancer. *Sci Total Environ* 426:454-8, 2012
- Rööslö M, Egger M, Pfluger D, Minder C: Cardiovascular mortality and exposure to extremely low frequency magnetic fields: A cohort study of Swiss railway workers. *Environ Health* 7:35, 2008
- Schüz J, Ahlbom A: Exposure to electromagnetic fields and the risk of childhood leukaemia: a review. *Radiat Prot Dosimetry* 132(2):202-11, 2008
- Schüz J: Exposure to extremely low-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer: update of the epidemiological evidence. *Prog Biophys Mol Biol* 107(3):339-42, 2011
- Seomun G, Lee J, Park J: Exposure to extremely low-frequency magnetic fields and childhood cancer: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 16(5), 2021
- SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Recent Research on EMF and Health Risk - Fifteenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, Swedish Radiation Safety Authority 2021
- Teepen JC, van Dijck JA: Impact of high electromagnetic field levels on childhood leukemia incidence. *Int J Cancer* 131(4):769-78, 2012
- Wang Q, Cao Z, Qu Y, Peng X, Guo S, Chen L: Residential exposure to 50 Hz magnetic fields and the association with miscarriage risk: A 2-year prospective cohort study 8(12), 2013
- Wertheimer N and Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 109(3): 273-84, 1979
- World Health Organization. Environmental Health Criteria 238 Extremely Low Frequency Fields. Geneva (Switzerland): WHO Press; 2007



5

Ocena tveganja za zdravje – načela in ugotovitve

Chiaramello E., Bonato M., Ravazzani P.

*Istituto di Elettronica e di Ingegneria dell'Informazione e delle Telecomunicazioni
IEIIT CNR, Italija*

5.1 UVOD

Dandanes je uporaba naprav, ki v svoji okolici povzročajo nizkofrekvenčna (v nadaljevanju NF) elektromagnetna polja (v nadaljevanju EMP), sestavni del vsakdanjega življenja. Razloge je mogoče iskati predvsem v neverjetnih inovacijskih tehnologijah ter v drastičnih spremembah delovnih in družbenih navad, ki so značilne za sodobni svet (SZO 2007, Eichholz 2002). Če se osredotočamo ločeno na izpostavljenost NF električnim (v nadaljevanju EP) in magnetnim poljem (v nadaljevanju MP), ki zavzemajo spodnji del elektromagnetnega spektra v frekvenčnem območju 0-3000 Hz, so primarni viri polj povezani s proizvodnjo, prenosom, distribucijo in uporabo električne energije. Zaskrbljenost zaradi možnih škodljivih vplivov na zdravje se je zato osredotočila na izpostavljenost zaradi visokonapetostnih daljnovodov, vendar obstaja veliko drugih potencialnih virov kot so gospodinjske naprave. Poleg tega se zaradi hitrega razvoja tehnologije v zadnjih letih in zaradi pojava in širjenja novih tehnoloških paradigem, kot je električni promet (Gryz et al. 2022), prehod na nov distribucijski sistem (Mariscotti 2021), kot so pametna omrežja, in vse večja uporaba tehnologij za uporabo obnovljivih virov energije, kot so fotovoltaične ali vetrne elektrarne (Alexias 2020) pojavljajo novi scenariji izpostavljenosti poljem.

Leta 2001 je **Mednarodna agencija za raziskave raka (IARC)** razvrstila izpostavljenost NF EP v skupino 3 potencialnih rakotvornih snovi, za katere "razvrstitev ni mogoča", medtem ko je izpostavljenost NF MP razvrstila kot »mogoče rakotvorna za ljudi« (skupina 2B) na podlagi »omejenih dokazov kancerogenosti

pri ljudeh« in »neustreznih dokazov kancerogenosti pri poskusnih živalih« (IARC 2002). To oceno je dodatno potrdil Znanstveni odbor Evropske komisije za nastajajoča in na novo ugotovljena tveganja za zdravje (SCENIHR 2015). Ta tema je še posebej pomembna za izpostavljenost otrok, saj je bila predvidena možna povezava med izpostavljenostjo NF MP in otroško levkemijo, s povečanjem tveganja pri časovno povprečni vrednosti NF MP nad 0,3–0,4 μT . Vendar je vzrok za to mogočo korelacijo še vedno negotov (Grellier et al. 2014), dolgotrajne povprečne izpostavljenosti, ki presegajo 0,3–0,4 μT , pa niso pogoste v bivalnem okolju (Lewis et al. 2016).

Poleg otroške levkemije so bili raziskani različni možni drugi negativni vplivi na zdravje, vključno z reproduktivno funkcijo (Lewis et al. 2016), Alzheimerjevo boleznijo (Huss et al. 2008), možganskim tumorjem (Kheifets et al. 2008) in limfomi (Koeman et al. 2014). Kljub vsem tem prizadevanjem je možna vzročna povezava med NF MP in negativnimi vplivi na zdravje še nejasna in splošno sprejetega mehanizma o bioloških učinkih zaradi izpostavljenosti nizkim vrednostim NF MP še vedno ni na voljo.

Kljub temu je natančna analiza tveganja za zdravje, ki je potrebna za zagotavljanje ustreznega upravljanja tveganj in priprave politik javnega zdravja glede na izpostavljenost NF MP, še vedno v teku in zahteva natančno poznavanje ravni izpostavljenosti NF MP v vsakodnevnih življenjskih situacijah.

Ta ogromna raziskovalna prizadevanja o vplivu NF MP na zdravje ljudi v zadnjih 40. letih redno pregledujejo neodvisne znanstvene in vladne organizacije po vsem svetu z namenom oceniti morebitna tveganja za zdravje zaradi izpostavljenosti NF MP ter uporabiti to oceno tveganja za izoblikovanje priporočil nacionalnim organom glede politik varovanja zdravja. Pri izvajanju teh pregledov strokovne komisije sistematično in temeljito preučujejo vse dokaze o določenem vprašanju, da bi lahko ocenile, ali skupni podatki predstavljajo logično skladno in dosledno sliko. Pri tem pregledu se vse raziskovalne študije obravnavajo skupaj, pri čemer se daje več pomena študijam višje kakovosti in se z uporabo uveljavljenega analitičnega okvira pride do sklepa o možni vzročni povezavi med izpostavljenostjo in določenimi biološkimi učinki. Posamezne študije je potrebno sistematično oceniti in pregledati njihovo znanstveno ustreznost in kakovost.

Na voljo so številni pregledi in/ali postopki za oceno tveganja za zdravje, ki jih izvajajo mednarodne organizacije kot so: Svetovna zdravstvena organizacija (SZO 2007), Mednarodna agencija za raziskave raka (IARC 2002), Ameriški nacionalni inštitut za okolje in zdravje (NIEHS 1999), Svetovalna skupina za

neionizirna sevanja (AGNIR 2001), Mednarodna komisija za varstvo pred ne-ionizirnimi sevanji (ICNIRP 2010), Evropska mreža za ocenjevanje tveganj zaradi elektromagnetnih polj – EFHRAN (Ravazzani et al. 2018), Znanstveni odbor Evropske komisije za nastajajoča in na novo ugotovljena tveganja za zdravje (SCENIHR 2015), Ministrstvo za zdravje iz Nove Zelandije (NZMH 2015), ter Švedska uprava za varstvo pred sevanji (SSM 2016, 2018, 2019, 2020, 2021).

V nadaljevanju so predstavljena izhodišča postopka za ocenjevanje tveganj za zdravje ter ugotovitve in zaključki, ki sta jih v svoji monografiji predstavila Svetovna zdravstvena organizacija in Mednarodna agencija za raziskave raka. Opisani bodo glavni ugotovljeni biološki učinki in ustrezni zaščitni ukrepi ter posledice razvrstitev NF MP glede vidikov obveščanja o tveganju, obvladovanja negotovosti in odprtih vprašanj.

5.2 OCENA TVEGANJA ZA ZDRAVJE

Za opis postopka za oceno tveganja za zdravje je potrebnih nekaj definicij:

- **nevarnost** je opredeljena kot nekaj, kar lahko povzroči škodo; vendar ne ogroža vedno zdravja; »lastnina ali položaj, ki bi lahko v določenih okoliščinah povzročil škodo« (EAO 1999);
- **tveganje** je kombinacija verjetnosti ali pogostosti pojava določene nevarnosti in obsega posledic tega pojava; ocena tveganja je opredeljena kot »sistematičen pristop za karakterizacijo narave in obsega pojava nevarnosti« (EAO 1999).

Proces analize ocene tveganja je dobro uveljavljen postopek (Repacholi 1997, van Deventer et al. 2005), ki zagotavlja mehanizem za strukturiran pregled informacij, pomembnih za oceno vplivov izpostavljenosti NF EMP na zdravje ali okolje. Postopek za oceno tveganja vključuje štiri glavne korake:

1. **Identifikacija nevarnosti:** identifikacija škodljivih vplivov na zdravje, ki so lahko posledica izpostavljenosti določenemu dejavniku (v tem primeru NF MP). Predvsem se obravnavata dve vprašanji:
 - a. ali so NF MP lahko nevarna za zdravje ljudi,
 - b. v katerih okoliščinah se lahko pojavi ugotovljena nevarnost. Identifikacija nevarnosti temelji na analizah najrazličnejših podatkov, ki segajo od rezultatov študij *in vitro*, *in vivo* ali študij na ljudeh. Dejavnosti v zvezi z razvrščanjem povzročitelja glede na njegovo rakotvornost, ki jih izvajajo

mednarodne organizacije, kot je IARC, spadajo v sklop ugotavljanja tveganj.

2. **Ocena povezave med izpostavljenostjo (dozo) in odzivom:** ocena kvantitativne povezave med izpostavljenostjo in pojavnostjo ali resnostjo določenih bioloških učinkov. Za večino vrst možnih škodljivih učinkov (tj. nevrolški, vedenjski, imunološki, reproduktivni ali razvojni učinki) se na splošno šteje, da obstaja prag izpostavljenosti NF MP, pod katerim se škodljivi učinki ne bodo pojavili. Vendar pa za druge učinke, kot je rak, morda prag ne obstaja.
3. **Ocena izpostavljenosti:** Za ocenjevanje izpostavljenosti NF MP in EP so bili uporabljeni različni pristopi, na primer okoljske meritve, osebne meritve s prenosnim ekspoziometrom, simulacije, ki temeljijo na numeričnih metodah in z uporabo inovativnih pristopov, kot sta stohastična dozimetrija in strojno učenje. Ta korak ocene zdravstvenega tveganja NF MP je eno najbolj razvijajočih se področij, saj razvoj novih tehnologij vodi do novih scenarijev izpostavljenosti, ki zahtevajo pravilno in bolj realistično oceno ravni izpostavljenosti.
4. **Ocena tveganja:** ocena celotnega vpliva dejavnika tveganja na javno zdravje. Namen tega zadnjega koraka za oceno tveganja je zagotoviti upravljalcem tveganj bistvene znanstvene dokaze, ki jih potrebujejo za sprejemanje odločitev. Pri opredelitvi tveganja so podane ocene tveganja za zdravje ljudi glede na ustrezne scenarije izpostavljenosti. Karakterizacija ocene tveganja temelji na ovrednotenju in integraciji razpoložljive znanstvene literature ter se uporablja za oceno narave, pomembnosti in obsega tveganja za zdravje, vključno s prepoznavanjem in karakterizacijo negotovosti, za katero je mogoče razumno oceniti, da je posledica izpostavljenosti NF MP.

Ocena tveganja za zdravje se lahko uporabi kot izhodišče za upravljanje s tveganji, ki zajema vse dejavnosti, potrebne za sprejemanje odločitev o tem, ali izpostavljenost določenemu dejavniku zahteva kakršno koli odzivanje ter izvajanje ukrepov. Pri oceni tveganja za zdravje ljudi so podatki o epidemioloških študijah, kadar koli so na voljo, na splošno bolj informativni kot podatki o raziskavah na živalih (*in vivo*) ali celicah (*in vitro*).

Študije na živalih in celicah lahko podprejo dokaze epidemioloških raziskav, zapolnijo vrzeli v razumevanju ali pa se uporabijo za odločanje o tveganjih, kadar študije na ljudeh niso ustrezne ali jih enostavni ni. Vse študije je treba ovrednotiti

in presojati glede na njihovo znanstveno kakovost, nato pa vse skupaj v postopku tetanja dokazov. Pomembno je ugotoviti, v kolikšni meri niz dokazov spremeni verjetnost, da lahko izpostavljenost NF MP predstavlja povečanje tveganja za zdravje. Ta ugotovitve so na splošno trdne, če jih potrdijo rezultati različnih študij, ki temeljijo na različnih znanstvenih pristopih, kot so epidemiološki in laboratorijski (*in vivo*, *in vitro*).

V nadaljevanju navajamo podrobnosti ugotovitev postopka ocene tveganja, o katerih sta poročala IARC (2002) in SZO (2007), ki jih je pozneje potrdilo tudi poročilo EU (SCENIHR 2015).

5.2.1 Identifikacija nevarnosti

Prepoznavanje nevarnosti zaradi izpostavljenosti NF MP ali NF EP je mogoče razdeliti glede na dve vrsti možnih učinkov na zdravje, tj. tiste zaradi akutne izpostavljenosti visokim jakostim NF MP in NF EP in tiste zaradi dolgotrajne izpostavljenosti nizkim jakostim NF MP in NF EP.

Akutni učinki

NF MP in EP lahko vplivajo na živčni sistem in povzročijo vplive, kot je stimulacija živcev, če so ravni izpostavljenosti dovolj visoke. Izpostavljenost nižjim jakostim NF MP in EP povzroči spremembe v razdražljivosti živčnega tkiva v centralnem živčnem sistemu, kar lahko vpliva na spomin, in druge možganske funkcije. Izpostavljenost NF EP povzroči tudi površinski električni naboj, ki lahko povzroči zaznavne, a nenevarne učinke, vključno z električnimi mikro razelektritvami.

Na podlagi znanstveno potrjenih ugotovitev o akutnih učinkih na delovanje živčnega sistema, ki se lahko pojavijo pri visokih jakostih NF MP in EP, so bile sprejete smernice za omejevanje izpostavljenosti ljudi, ki jih je objavila ICNIRP (2010).

Kronični učinki

Nekatere epidemiološke študije so pokazale, da bi lahko kronična izpostavljenost NF MP nizkih jakosti povečala tveganje za dolgoročne negativne učinke na zdravje ljudi. Raziskana je bila povezava med izpostavljenostjo NF MP in različnimi vrstami bolezni:

- **Otroška levkemija:** od poznih sedemdesetih let prejšnjega stoletja so

številne epidemiološke študije ocenjevale povezavo med izpostavljenostjo NF MP in otroško levkemijo. Dve združeni analizi epidemioloških študij sta ugotovili vzročno povezavo med otroško levkemijo in ocenjeno izpostavljenostjo dnevni povprečnim vrednostim MP 0,3–0,4 μ T (Ahlbom et al. 2000, Greenland et al. 2000). IARC je te ugotovitve razvrstil kot »omejeno dokazane«. Epidemiološke študije namreč niso bile podprte z laboratorijskimi raziskavami na celicah in živalih. Tako ni bilo mogoče jasno ugotoviti možnih mehanizmov za razlago povezave med NF MP in otroško levkemijo. Drugi rezultati raziskav o raketvornosti pa so bili v poskusih na živalih razvrščeni kot »neustrezni«. Zaradi pomanjkanja jasne vzročne povezave v rezultatih raziskav je IARC leta 2002 razvrstil NF MP v skupino 2B med mogoče rakotvorne snovi oziroma dejavnike tveganja za ljudi (IARC 2002). To razvrstitev je v pregledu iz leta 2007 tudi potrdila SZO in zaključila, da so »dokazi za vzročno povezavo med izpostavljenostjo NF MP in otroško levkemijo omejeni« (SZO 2007). Podobno je SCENIHR v svojem poročilu iz leta 2015 sklenil, da »ni bilo ugotovljenih nobenih ustreznih mehanizmov v eksperimentalnih študijah, ki bi lahko pojasnili te ugotovitve, kar skupaj s pomanjkljivostmi v epidemioloških študijah onemogoča vzročno razlago (SCENIHR 2015).

- **Drugi raki pri otrocih in odraslih:** v primerjavi z raziskavami o NF MP in otroški levkemiji je bilo manj študij osredotočenih na druge vrste raka pri otrocih in odraslih. Znanstveni dokazi, ki podpirajo povezavo med izpostavljenostjo NF MP in katerokoli od teh bolezni, so šibkejši kot za otroško levkemijo in v nekaterih primerih (na primer za raka dojke) dokazi kažejo, da NF MP ne povzročajo bolezni. Splošni zaključek razvrstitve IARC iz leta 2002, ki ga je SZO dodatno potrdila leta 2007, je, da pri ljudeh ni ustreznih dokazov o raketvornosti NF MP v povezavi z vsemi drugimi oblikami raka razen otroške levkemije.
- **Imunologija in hematologija:** v študijah na ljudeh ali živalih niso odkrili nobenih doslednih učinkov zaradi izpostavljenosti NF MP ali v kombinaciji z NF EP. Zato sta IARC (2002) in SZO (2007) povečano tveganje razvrstila kot nedosledno.
- **Reproduktivni in razvojni učinki:** rezultati študij na ljudeh, ki jih je pregledala IARC (2002), ne kažejo na povezavo med izpostavljenostjo NF MP in NF EP in škodljivimi učinki na razvoj in reprodukcijo. To pomanjkanje povezave je leta 2007 potrdila tudi SZO (2007), pri čemer je



Slika 5.1: Skupine, ki jih IARC uporablja za klasifikacijo potencialnih rakotvornih snovi na podlagi objavljenih znanstvenih dokazov.

V **skupini 1** so tiste snovi, za katere je dovolj dokazov o rakotvornosti za ljudi (npr. azbest, različne kemikalije, predelano meso, ionizirna sevanja, UV svetloba, tobačni dim, alkoholne pijače).

V **skupini 2A** so tiste snovi, za katere vzročna zveza še ni znanstveno dokazana, je pa verjetna (npr. različne kemikalije, rdeče meso, vroče pijače nad 65°C).

Za snovi v **skupini 2B** je še manj dokazov o rakotvornosti oziroma ni mogoče izključiti tudi drugih možnih razlag (npr. dizelsko gorivo, izvleček celega lista Aloe vera, nizkofrekvenčno magnetno polje, različne kemikalije, VF EMS).

V **skupini 3** so kemikalije in drugi dejavniki, ki so jih sicer že proučevali, vendar jih zaenkrat še ni mogoče uvrstiti v nobeno od prej omenjenih skupin (npr. nizkofrekvenčno električno polje, statično magnetno polje).

poudarila, da so nekateri ugotovljeni dokazi o povečanem tveganju spontanega splava, povezanem z materino izpostavljenostjo NF MP, neustrezni. V svojem poročilu je SZO sklenila: »Obstaja nekaj dokazov o povečanem tveganju za spontani splav v povezavi z izpostavljenostjo matere NF MP, vendar so ti dokazi neustrezni« (SZO 2007). Aktualni pregled literature, ki ga je izvedel SCENIHR, je ugotovil, da nedavni rezultati ne kažejo, da bi lahko NF MP vplivala na reproduktivno funkcijo pri ljudeh (SCENIHR 2015).

- **Nevrodegenerativne bolezni:** raziskave o možnem vplivu izpostavljenosti NF MP na razvoj nevrodegenerativnih bolezni so se začele v devetdesetih letih prejšnjega stoletja, z velikim poudarkom na Alzheimerjevi bolezni in posebni vrsti bolezni motoričnih nevronov, imenovani *amiotrofična*

lateralna skleroza (ALS). Večina študij, ki jih je pregledala SZO, je poročala o statistično pomembni povezavi med poklicno izpostavljenostjo NF MP in umrljivostjo zaradi Alzheimerjeve bolezni in ALS, čeprav so strokovnjaki SZO zasnovo in uporabljene metode teh študij ocenili kot šibke.

Epidemiološki podatki sicer niso bili podprti z laboratorijskimi, zato sta IARC in SZO ugotovili, da ni ustreznih rezultatov raziskav, ki bi kazali na povezavo med NF MP in Alzheimerjevo boleznijo ter ALS, in navedli, da »v vseh študijah obstajajo le zelo omejeni dokazi o povezavi med izpostavljenostjo NF MP in tveganjem za razvoj Alzheimerjeve bolezni«. Aktualno poročilo SCENIHR (2015) je zaključilo, da na novo objavljene študije »ne zagotavljajo prepričljivih dokazov o povezavi med izpostavljenostjo NF MP in povečanim tveganjem za nevrodegenerativne bolezni, vključno z demenco« (IARC 2002).

- **Bolezni srca in ožilja:** Tako kratkoročne kot dolgotrajne eksperimentalne študije kažejo, da medtem ko je električni udar očitna nevarnost za zdravje, je malo verjetno, da bi se pojavili drugi nevarni učinki na srce in ožilje, povezani z izpostavljenostjo NF MP ali NF EP pri jakostih, ki se običajno pojavljajo v bivalnem okolju ali na delovnem mestu. Učinki NF MP na kardiovaskularni sistem, o katerih so poročali v literaturi, kažejo na majhne učinke in nedoslednost med izvedenimi študijami (IARC 2002, SZO 2007). SZO v svojem poročilu zaključuje, da »na splošno rezultati izvedenih raziskav ne podpirajo povezave med izpostavljenostjo NF EMP in srčno-žilnimi boleznimi« (SZO 2007).

Skratka, dokazi o povečanem zdravstvenem tveganju za pojav bolezni imunoloških in hematoloških sistemov, reprodukcije in razvoja, nevrodegenerativnih in kardiovaskularnih bolezni so bili ocenjeni kot zelo omejeni ali celo neustrezni. Zato izpostavljenosti NF MP ni bilo mogoče razvrstiti bodisi zaradi nezadostnih ali nedoslednih znanstvenih podatkov s strani IARC, SZO in SCENIHR.

Kar zadeva NF MP, je bila z uporabo standardne klasifikacije IARC, ki temelji na rezultatih raziskav na ljudeh, živalih in celicah, rakotvornost razvrščena v skupino 2B kot mogoče rakotvorno za ljudi.

Pomembno podlago nudijo omejeni rezultati, ki so jih prispevale epidemiološke študije o otroški levkemiji in izpostavljenosti NF MP. Dokaze za vse druge vrste raka pri otrocih in odraslih ter druge vrste izpostavljenosti (tj. statičnim poljem in NF EP) ni bilo mogoče razvrstiti zaradi nezadostnih ali nedoslednih rezultatov znanstvenih raziskav (IARC 2002).

Statičnih EP ali MP in NF EP pa na podlagi obstoječih znanstvenih raziskav o rakotvornosti za ljudi ni mogoče razvrstiti (IARC 2002, SZO 2007).

5.2.2 Povezava med izpostavljenostjo (dozo) in odzivom

Ocena povezave med izpostavljenostjo (dozo) in odzivom nanjo je proces ugotavljanja kvantitativnih povezav med izpostavljenostjo NF MP in pojavnostjo ali resnostjo določenih bioloških učinkov. Ta korak lahko temelji na dveh različnih pristopih. Pri prvem identificiramo prag, pod katerim škodljivi učinki ne morejo nastopiti; ta pristop je bil uporabljen za določitev frekvenčno odvisnih pragov za akutne učinke na električno vzdražna tkiva in tvori osnovo smernic ICNIRP (ICNIRP 2010). Drugi pristop pa temelji na karakterizaciji povezave med izpostavljenostjo in dozo na osnovi epidemioloških podatkov ter ga uresničujemo z izvajanjem ocen relativnega tveganja na enoto izpostavljenosti prek celotnega razpona kategorij izpostavljenosti; ta pristop pa je prevladoval pri izdelavi ocen povečevanja tveganja pri kroničnih izpostavljenostih, za katere ni bil identificiran noben prag učinkov.

5.2.3 Ocena izpostavljenosti

Za objektivni proces izdelave ocene tveganja za zdravje je ključnega pomena ovrednotenje ravni izpostavljenosti prebivalstva, do katerih prihaja v realističnih razmerah. Zato so bile številne in obsežne raziskave usmerjene v preučevanje izpostavljenosti v bivalnih okoljih, kot sta uporaba gospodinjskih naprav in bivanje blizu daljnovodov, pa tudi poklicne izpostavljenosti, denimo pri serviserjih in vzdrževalcih električnega omrežja. Prvotno so mnoge študije izpostavljenost ocenjevale poenostavljeno, zgolj prek razdalje med bivalnim okoljem in najbližjim virom NF MP, ali z izvedbo anket o uporabi gospodinjskih aparatov, pri poklicnih izpostavljenostih pa s pavšalnim razvrščanjem poklicev v le nekaj razredov, a so bile v zadnjih desetletjih metode vrednotenja izpostavljenosti precej dodelane in izpopolnjene (glej npr. Gajšek et al. 2016). Študije izpostavljenosti NF MP tako danes temeljijo na uporabi več pristopov, vključno z vrednotenji ravni polj, ki jih generirajo specifične električne naprave ali gospodinjski aparati, s točkovnimi in dolgotrajnimi meritvami, z vrednotenjem izpostavljenosti telesa s kompaktnimi osebnimi dozimetri, z računalniško podprtimi metodami

spremljanja doze inducirane EP na ravni posameznika ali posameznega organa ali tkiva zaradi specifičnih virov, kombiniranimi s stohastičnimi metodami in algoritmi strojnega učenja na bazah zbranih podatkov, kar omogoča vrednotenje variabilnosti scenarijev izpostavljenosti NF MP in dejavnikov s pomembnim vplivom na jakost izpostavljenosti. Poleg študij vplivov na zdravje (SZO 2007) so bile izvedene tudi mnoge raziskave z namenom bolje razumeti porazdelitev izpostavljenosti po kraju in času ter relativne prispevke različnih virov k celotni izpostavljenosti posameznika. Sistematični pregled izpostavljenosti v Evropi (Gajšek et al. 2016) je ugotovil, da so na prostem na javno dostopnih površinah v urbanih okolij povprečne jakosti NF MP med 0,05 in 0,2 μT , a lahko neposredno pod visokonapetostnimi daljnovodi, ob stenah transformatorskih postaj in ob ograjah razdelilnih transformatorskih postaj dosežejo tudi nekaj μT . V zaprtih prostorih so največje vrednosti izmerili v neposredni bližini nekaterih gospodinjskih aparatov, realno pa je izpostavljenosti največja pri tistih napravah, ki se ob uporabi nahajajo povsem ob telesu, npr. pri sušilnikih za lase in brivnikih, in lahko dosežejo tudi nekaj tisoč μT .

5.2.4 Ocena tveganja

Pri izdelavi ocene tveganj – njihove narave, pomembnosti in velikosti – za zdravje, povezanih z izpostavljenostjo NF MP, se v splošnem osredotočamo na dva različna vidika:

- Akutni učinki: mejne vrednosti, ki temeljijo na akutnih učinkih električno vzdražnih tkiv, predvsem v centralnem živčnem sistemu, je predlagalo več mednarodnih organizacij (ICNIRP 2010, IEEE 2019). Ta pristop temelji na določitvi praznih vrednosti, pod katerimi so tveganja za zdravje minimalna.
- Kronični učinki: morebitni učinek na javno zdravje lahko ocenjujemo prek pripisanih delnih prispevkov, ki jih definiramo kot delež pojavnosti bolezni, ki jih je mogoče pripisati posamezni vrsti izpostavljenosti ob privzetju vzročnosti (kavzalnosti). Čeprav vzročno-posledično razmerje med NF MP in otroško levkemijo (še) ni bilo ugotovljeno, je SZO izvedla oceno tveganja, da bi tako javnosti ponudila vsaj nekaj vpogleda v morebitno tveganje za zdravje ob privzetju vzročnosti tega razmerja (SZO 2007). Ta ocena je pokazala, da ob privzetju vzročnosti prispevek izpostavljenosti NF MP k pojavnosti otroške levkemije znaša med 0,2 in 4,9 % (med 100 in 2400 od skupaj 49 tisoč obolelih za to boleznijo na svetovni ravni v letu 2000).

5.2.5 Negotovosti ocene tveganja

Čeprav v več desetletjih poglobljenih raziskav učinkov NF MP ni bilo identificirano nobeno pomembno (statistično značilno in ponovljivo) tveganje za zdravje, pa negotovosti ostajajo. Te so prisotne v vseh zgoraj obravnavanih korakih vrednotenja tega tveganja (identifikaciji nevarnosti, vrednotenju povezave med dozo in odzivom, oceni izpostavljenosti, oceni tveganja) in jih je vsaj do neke mere treba vzeti v poštev – kvantitativno ali vsaj kvalitativno – pri vsaki izdelavi ocene tveganja za zdravje.

Vire največjih negotovosti gre pretežno iskati v morebitni pristranskosti metodologij v opazovalnih študijah, ekstrapolacijah iz živalskih študij na človeka, ekstrapolacijah iz študij z visoko dozo izpostavljenosti na nizke doze, pa tudi v ekstrapolacijah iz posamezne osebe oziroma primera na prebivalstvo. Dodatni viri negotovosti so slabo definirani pristopi in metodologije posameznih študij, pa tudi pomanjkanje ponovljivosti in premajhni vzorci pri ponovitvenih in potrditvenih študijah (EK 2018). Če se ocena tveganja uporablja za odločitve o ukrepih oziroma predpisih, je treba vzeti v poštev takó številsko oceno kot vse z njo povezane negotovosti. Poleg tega pa se znanstveno razumevanje skoraj vseh vidikov za ocenjevanje tveganj vseskozi razvija, posledično pa se tudi smernice za izdelavo takšnih ocen sproti izpopolnjujejo.

5.3 ZAKLJUČEK IN ODPRTA VPRAŠANJA

Če strnemo, je proces ocenjevanja tveganj za zdravje, ki so ga opravile mednarodne ustanove, nedvoumno ugotovil, da lahko imajo akutni biološki učinki stimulacije vzdražnih tkiv zaradi izpostavljenosti NF MP škodljive posledice za zdravje. Mejne vrednosti izpostavljenosti, kot so določene v smernicah ICNIRP in IEEE (ICNIRP 2010, IEEE 2019) so te ugotovitve že ustrezno naslovile, zato skladnost s temi smernicami zagotavlja ustrezno zaščito pred akutnimi učinki. Glede kroničnih učinkov pa epidemiološke raziskave dosledno nakazujejo zgolj morebitno povezavo med dolgotrajno izpostavljenostjo NF MP in povečanim tveganjem otroške levkemije, pri čemer vzročnosti tega razmerja doslej niso uspeli zanesljivo ugotoviti. Klasifikacija NF MP kot mogoče rakotvornega dejavnika za ljudi (IARC 2002) pomeni zgolj, da gre za dejavnik, za katerega obstajajo omejeni indici rakotvornosti pri človeku in neustrezna podprtost z eksperimentalnimi študijami na živalih. Ta klasifikacija je najšibkejša od treh, ki jih IARC na osnovi objavljenih

znanstvenih dognanj uporablja za razvrstitev potencialno rakotvornih snovi in dejavnikov (»rakotvorno za ljudi«, »verjetno rakotvorno za ljudi«, »mogoče rakotvorno za ljudi«).

Ta razvrstitev IARC naslavlja vprašanje, ali bi lahko NF MP pomenilo tveganje za nastanek raka (Repacholi 2002). Naslednja koraka v procesu ugotavljanja dejanskega stanja sta ovrednotenje pojavnosti oziroma tveganja nastanka raka zaradi dejanskih izpostavljenosti NF MP in iskanje morebitnih mehanizmov, na katerih bi lahko temeljila rakotvornosti NF MP, s poudarkom na primeru otroške levkemije, pri čemer velja vnovič poudariti, da dosedanje raziskave niso ugotovile vzročne povezave med izpostavljenostjo NF MP in povečanim tveganje raka. To je bilo izhodišče za odločitev SZO, da je leta 2007 potrdila uvrstitev NF MP v kategorijo »mogoče rakotvorno za ljudi« in to pospremila s sklepom, da so dokazi za vzročno povezavo omejeni in zato ne podpira uvedbe zavezujočih mejnih vrednosti na osnovi epidemioloških ugotovitev, a priporoča previdnostne ukrepe (SZO 2007). To je imelo pomembne posledice tako za znanstvene raziskave kot ukrepe za javno zdravje v zvezi z upravljanjem tveganj NF MP.

Z vidika ukrepov varovanja zdravja so priporočila SZO obsegala tudi sprejetje smernic glede NF MP tako za prebivalstvo kot poklicno izpostavljene delavce, s ciljem preprečiti znanstveno dokazane akutne učinke na osnovi usmeritev glede ravni izpostavljenosti in načel znanstvenega pregleda literature, ki so jih začrtale mednarodne smernice ICNIRP in IEEE, ter uvedba programov varovanja zdravja pred NF MP vključno s postopki ocene izpostavljenosti, namen katerih je zagotoviti, da mejne vrednosti niso presežene ne pri prebivalstvu ne pri poklicno izpostavljenih delavcih. Zaradi negotovosti glede obstoja kroničnih učinkov, ob hkrati omejenih dokazih povezave med izpostavljenostjo NF MP in otroško levkemijo, priporočila SZO vključujejo tudi sprejetje previdnostnih pristopov, a ob poudarku, da »ni priporočeno, da bi se mejne vrednosti v smernicah zniževale v arbitrarni meri s sklicevanjem na previdnost«, saj »bi takšna praksa rušila znanstvene temelje, na katerih so osnovane mejne vrednosti, in bi bila verjetno draga, obenem pa ne bi nujno pomenila kakršnegakoli izboljšanja v smislu zagotovljenega varovanja zdravja« (SZO 2007).

Kot zadnja točka je bila priporočena izvedba učinkovite in odprte komunikacijske strategije, ki bo omogočila informirano odločanje vseh deležnikov, vključno z informacijami o tem, kako lahko posamezniki zmanjšajo lastno izpostavljenost (SZO 2002).

Z znanstvenega vidika je SZO opredelila glavne vrzeli v znanju in opisala ustrezne znanstveno-raziskovalne usmeritve za zapolnitev teh vrzeli, zlasti glede

karakterizacije ravni izpostavljenosti z meritvami in dozimetričnimi pristopi ter glede razumevanja biofizikalnih mehanizmov, na katerih temeljijo interakcije med NF MP in biološkimi sistemi, za širok spekter bolezni, od nevrodegenerativnih do raka, s študijami tako in vitro kot na živalih in pri ljudeh.

Ta priporočila so privedla do obsežnih znanstvenih prizadevanj dodatno raziskati možna zdravstvena tveganja izpostavljenosti NF MP. Tako je tudi Evropska komisija leta 2009 financirala projekt »Evropska mreža za oceno tveganja za zdravje pri izpostavljenosti elektromagnetnim poljem« (European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure – EFHRAN). Rezultati tega projekta so pokazali, da obstoječe študije ne dajejo prepričljivih dokazov za vzročno povezavo med izpostavljenostjo NF MP in vedenjskimi motnjami, vzdražnostjo možganske skorje, povečanim tveganjem za nevrodegenerativne bolezni (vključno z demenco) ali neželenimi izidi nosečnosti (Ravazzani et al. 2018). Projekt EFHRAN ni ugotovil nobenih mehanizmov in ni zaznal nobene podpore pri rezultatih eksperimentalnih študij, ki bi lahko pojasnili povečano tveganje za otroško levkemijo zaradi izpostavljenosti NF MP, zaznано v nekaterih epidemioloških študijah.

V želji ustrezno nasloviti ta vidik je Evropska komisija v obdobju 2011-2015 financirala projekt »Napredne raziskave mehanizmov interakcije pri elektromagnetnih izpostavljenostih organizmov z oceno tveganja« (Advanced Research on Interaction Mechanisms of electroMagnetic exposures with Organisms for Risk Assessment – ARIMMORA) v sedmem okvirnem programu EU za raziskave in tehnološki razvoj (FP7). ARIMMORA je preučevala mogoče mehanizme, ki bi lahko razložili povezavo med NF MP in otroško levkemijo, vendar njeni rezultati niso pokazali vzročne povezave med izpostavljenostjo NF MP in povečanim tveganjem za levkemijo pri otrocih (Schüz et al. 2016).

Tako lahko sklenemo, da kljub dejstvu, da je bilo zaradi klasifikacije IARC izvedeno veliko število študij in znanstvenih raziskav ter je posledično prišlo do široke in intenzivne razprave, vsa dosedanja znanstvena prizadevanja v zvezi z oceno tveganja za zdravje niso razkrila jasnega vzročnega mehanizma, na katerem bi lahko temeljilo kronično tveganje za zdravje pri izpostavljenostih NF MP jakosti, nižjih od mejnih vrednosti v mednarodnih smernicah.

Zaradi novougotovljenih vrzeli v znanstvenih spoznanjih (ICNIRP 2020), potrebe po strogi in znanstveno utemeljeni oceni tveganja izpostavljenosti NF MP, pa tudi stalnega nastajanja novih scenarijev izpostavljenosti, bodo znanstvena razprava in raziskovalna prizadevanja za čim objektivnejšo oceno izpostavljenosti NF MP tudi v prihodnje aktiven proces.

5.4 LITERATURA

- AGNIR (Advisory Group on Non-ionising Radiation). 2001. *ELF Electromagnetic Fields and the Risk of Cancer: Report of an Advisory Group on Non-Ionising Radiation*. National Radiological Protection Board. 184 strani.
- Ahlbom, A., et al. 2002. »A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia«. *British Journal of Cancer* 83 (5): 692–698. <https://doi.org/10.1054/bjoc.2000.1376>
- Alexias, A., et al. 2020. »Extremely Low Frequency Electromagnetic Field Exposure Measurement In The Vicinity Of Wind Turbines«. *Radiation Protection Dosimetry* 189 (3): 395–400. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncaa053>
- EAO (Evropska Agencija za okolje). 1999. »Introduction to Risk Assessment Concepts«. <https://www.eea.europa.eu/publications/GH-07-97-595-EN-C2/chapter1h.html>
- Eichholz, G. G. 2002. »Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields.« *Health Physics* 83 (6): 920. <https://doi.org/10.1097/00004032-200212000-00021>
- EK (Evropska Komisija). 2018. »Memorandum on weight of evidence and uncertainties: revision 2018.« European Commission, Directorate General for Health and Food Safety. 48 strani. <https://data.europa.eu/doi/10.2875/386011>
- Gajšek, P., Ravazzani, P., Grellier, J., Samaras, T., Bakos, J., Thuróczy, G. 2016. »Review of Studies Concerning Electromagnetic Field (EMF) Exposure Assessment in Europe: Low Frequency Fields (50 Hz–100 kHz)«. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13 (9): 875. <https://doi.org/10.3390/ijerph13090875>
- Greenland, S., Sheppard, A. R., Kaune, W. T., Poole, C., Kelsh, M. A. 2000. »A Pooled Analysis of Magnetic Fields, Wire Codes, and Childhood Leukemia.« *Epidemiology* 11 (6): 624–634. <https://doi.org/10.1097/00001648-200011000-00003>
- Grellier, J., Ravazzani, P., Cardis, E. 2014. »Potential health impacts of residential exposures to extremely low frequency magnetic fields in Europe.« *Environment International* 62: 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.09.017>
- Gryz, K., Karpowicz, J., Zradziński, P. 2022. »Complex Electromagnetic Issues Associated with the Use of Electric Vehicles in Urban Transportation.« *Sensors* 22 (5): 1719. <https://doi.org/10.3390/s22051719>
- Huss, A., Spoerri, A., Egger, M., Roosli, M. 2008. »Residence Near Power Lines and Mortality From Neurodegenerative Diseases: Longitudinal Study of the Swiss Population.« *American Journal of Epidemiology* 169 (2): 167–175. <https://doi.org/10.1093/aje/kwn297>
- IARC (International Agency for Research on Cancer). 2002. *Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields*. 395 strani. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK390731/>
- ICNIRP (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection). 2010. »Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz to 100 kHz)«. *Health Physics* 99 (6): 818–836. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181f06c86>
- ICNIRP (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection). 2020. »Gaps in Knowledge Relevant to the “Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz–100 kHz)”.« *Health Physics* 118 (5): 533–542. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001261>
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). 2019. »IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz« <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2019.8859679>
- Kheifets, L., Monroe, J., Vergara, X., Mezei, G., Afifi, A. A. 2008. »Occupational Electromagnetic Fields and Leukemia and Brain Cancer: An Update to Two Meta-Analyses«. *Journal of Occupational & Environmental Medicine* 50 (6): 677–688. <https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e3181757a27>
- Koeman, T., et al. 2014. »Occupational extremely low-frequency magnetic field exposure and selected cancer outcomes in a prospective Dutch cohort.« *Cancer Causes Control* 25 (2): 203–214. <https://doi.org/10.1007/s10552-013-0322-x>
- Lewis, R. C., et al. 2016. »Exposure to Power-Frequency Magnetic Fields and the Risk of Infertility and Adverse Pregnancy Outcomes: Update on the Human Evidence and Recommendations for Future Study Designs.« *Journal of Toxicology and Environmental Health B* 19 (1): 29–45. <https://doi.org/10.1080/10937404.2015.1134370>
- Mariscotti, A. 2021 »Assessment of Human Exposure (Including Interference to Implantable Devices) to Low-Frequency Electromagnetic Field in Modern Microgrids, Power Systems and Electric Transports.« *Energies* 14 (20): 6789. <https://doi.org/10.3390/en14206789>
- NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences). 1999. *NIEHS Report on Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields*. NIEHS. 80 strani. <https://www.niehs.nih.gov/health/>

- assets/docs_p_z/report_powerline_electric_mg_predates_508.pdf
- NZMH (New Zealand Ministry of Health). 2015. »Interagency Committee on the Health Effects of Non-Ionising Fields: Report to the Ministers«. Wellington, New Zealand: Ministry of Health. 62 strani. ISBN 9780478448115. <https://www.health.govt.nz/system/files/documents/publications/interagency-committee-on-health-effects-on-non-ionising-fields-may15.pdf>
- Ravazzani, P., et al. 2018. »Biological effects from electromagnetic field exposure. The experience of the European EFHRAN Project«, v knjigi Licitra, G., d'Amore, G., Magnoni, M. (uredniki) *Physical Agents in the Environment and Workplace*, CRC Press. 310 strani. ISBN 9780367571818.
- Repacholi, M. H. 2002. »What advice to give when ELF is classified as possible human carcinogen«. WHO, Geneva. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/115/37115829.pdf
- Repacholi, M. H., Cardis, E. 1997. »Criteria for EMF Health Risk Assessment«. *Radiation Protection Dosimetry* 72 (3–4): 305–312. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a032102>
- SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks). 2015. *Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)*. European Commission, Directorate General for Health and Consumers. <https://data.europa.eu/doi/10.2772/75635>
- Schüz J., et al. 2016. »Extremely low-frequency magnetic fields and risk of childhood leukemia: A risk assessment by the ARIMMORA consortium: Risk Assessment ELF-MF and Childhood Leukemia.« *Bioelectromagnetics* 37 (3): 183–189. <https://doi.org/10.1002/bem.21963>
- SSM (Swedish Radiation Safety Authority). 2016. »Recent Research on EMF and Health Risk - Eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields«. Stockholm: Swedish Radiation Safety Authority.
- SSM (Swedish Radiation Safety Authority). 2018. »Recent Research on EMF and Health Risk - Twelfth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields«. Stockholm: Swedish Radiation Safety Authority.
- SSM (Swedish Radiation Safety Authority). 2019. »Recent Research on EMF and Health Risk - Thirteenth Report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields«. Stockholm: Swedish Radiation Safety Authority.
- SSM (Swedish Radiation Safety Authority). 2020. »Recent Research on EMF and Health Risk - Fourteenth Report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields«. Stockholm: Swedish Radiation Safety Authority.
- SSM (Swedish Radiation Safety Authority). 2021. »Recent Research on EMF and Health Risk - Fifteenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields«. Stockholm: Swedish Radiation Safety Authority.
- SZO (Svetovna zdravstvena organizacija). 2007. *Extremely low frequency fields*. 519 strani. ISBN 9789241572385. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241572385>
- SZO – Svetovna zdravstvena organizacija (World Health Organization), Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields. Geneva: World Health Organization: United Nations Children's Fund, 2002.
- van Deventer, T. E., Saunders, R., Repacholi, M. H. 2005. »WHO health risk assessment process for static fields.« *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 87 (2–3): 355–363. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2004.08.017>



6

Mejne vrednosti izpostavljenosti EMP

Peter Gajšek, Blaž Valič

Inštitut za neionizirna sevanja

6.1 UVOD

Popolnoma varno je spiti vsebino steklenice pomarančnega soka, preden ji poteče rok trajanja. Če pa zaužijete sok po preteku tega roka, vam proizvajalec ne more več jamčiti za njegovo neoporečnost. Najverjetneje pa še nekaj tednov ali mesecev po preteku tega roka zaradi tega ne boste imeli zdravstvenih težav. Podobno velja za priporočila o izpostavljenosti elektromagnetnim poljem (v nadaljevanju EMP). Če izpostavljenosti EMP presežejo določen prag, ki je določen na podlagi obstoječih znanstvenih raziskav in predstavlja temelj mednarodnim smernicam IC-NIRP, lahko tudi EMP predstavljajo zdravstveno tveganje. Zato so postavljene mejne vrednosti, ki zagotavljajo, da pri izpostavljenostih, manjših od sprejetih mejnih vrednosti, ne bo prišlo do znanih negativnih vplivov na zdravje. V mejne vrednosti je vključen dodaten varnostni faktor, tako da tudi pri izpostavljenostih, ki so nekajkrat višje od mejnih vrednosti, običajno ne pride do škodljivih učinkov na zdravje.

Znano je, da z uporabo EMP lahko talimo kovino in kuhamo hrano. Vendar pa, za razliko od ionizirnih sevanj, vsi priznani znanstveni dokazi kažejo, da imajo lahko EMP negativen vpliv na zdravje šele tedaj, ko je prekoračen določen prag izpostavljenosti. Visoke izpostavljenosti so lahko dosežene na nekaterih delovnih mestih v bližini virov (razdelilne transformatorske postaje, elektromotorji, talilne peči, ...) in zahtevajo posebno pozornost in takojšnje ukrepanje. Nasprotno pa so izpostavljenosti v našem bivalnem in naravnem okolju običajno daleč pod dovoljenimi in dosega le nekaj odstotkov tiste vrednosti, pri kateri so bili ugotovljeni vplivi na zdravje.

6.2 IZHODIŠČA ZA DOLOČITEV MEJNIH VREDNOSTI

Mejne vrednosti temeljijo na znanih škodljivih vplivih EMP na človeka. Škodljive vplive delimo na trenutne (akutne) in zapoznele (kumulativne).

Pragovne vrednosti za nizkofrekvenčno (v nadaljevanju NF) električno (v nadaljevanju EP) in magnetno polje (v nadaljevanju MP), pri katerih nastopijo trenutni učinki, so dobro znane in pojasnjene. Pri nizkih frekvencah so škodljivi vplivi posledica indukcije električnega toka oziroma EP znotraj telesa. Ob izpostavljenosti zunanjim NF EMP se v človeku inducira EP in če to polje preseže določen prag, lahko povzroči vzdraženje živčnih ali mišičnih tkiv. Prag, pri katerem pride do vzdraženja, je odvisen do frekvence inducirane EP v tkivih. Zaradi razlik med ljudmi (starost, velikost, teža,...) so za določanje mejnih vrednosti upoštevali kar 20-kratni varnostni faktor in so mejne vrednosti postavili pri vrednostih, ki so kar 20-krat nižje od praga, pri katerem bi na podlagi znanstvenih raziskav lahko prišlo do škodljivih vplivov.

Poleg tega lahko izpostavljenost NF EMP povzroči površinske vplive zaradi električnega naboja. Odzivnost živčevja in mišičnih vlaken na električne dražljaje, ki jih povzroči izpostavljenost NF EMP, je zelo dobro raziskana. S pomočjo numeričnih izračunov na heterogenem anatomskem modelu človeka in podatkov o izpostavljenosti v konkretnih situacijah je bil določen najmanjši prag za EP v telesu, ki lahko povzroči stimulacijo perifernih živcev in znaša med 4 in 6 V/m.

Zunanja NF EP lahko inducirajo EP v telesnih tkivih. Ker površina telesa zagotavlja visoko stopnjo zaščite je inducirano polje v telesu več velikostnih razredov manjše od zunanjega polja. Načeloma inducirana EP povzročijo podobne vplive kot polja, ki jih inducira izpostavljenost NF MP. Posledica te zaščite pa je, da je inducirano EP običajno prešibko, da bi izzvalo neželene učinke, značilne za zunanja EP, ki nastajajo na delovnem mestu. Poleg tega NF EP povzročajo še en vpliv, ki ni prisoten pri MP. Človek lahko občuti zbadanje ali ščemenje na koži, če se nahaja v EP velikih jakosti; to je včasih mogoče občutiti v suhem vremenu neposredno pod VN daljnovodom. Pojav nastane, ker postane zaradi NF EP površina telesa nabita z nabojem, ki povzroči vibriranje dlak na koži.

Zunanja NF MP inducirajo EP v človeškem telesu, ki lahko stimulirajo čutila pri nižjih jakostih polja ter živce in mišice (zlasti v rokah in nogah) pri višjih jakostih polj. Vplivi na čutila niso škodljivi, lahko pa so nadležni in moteči za delavce, vplivi v močnejših poljih pa so lahko neprijetni ali celo boleči. Občutljivost posameznih tkiv se spreminja s frekvenco EMP.

Tabela 6.1. Interakcije nizkofrekvenčnih EMP s človekom

Vplivi	Mesto interakcije	Največja občutljivost (Hz)
Okus po kovini	Receptorji v jeziku	1 Hz
Vrtoglavica, slabost Stimulacija živcev in mišic	Notranje uho Električna polja v tkivih, inducirana zaradi pretoka krvi	0,1 - 2 Hz
Fosfeni -Svetlikanje pred očmi, zaznavanje migotanja svetlobe na robu vidnega polja	Vzdražne celice v mrežnici	20 Hz
Čutne zaznave in bolečina Inducirano krčenje mišic Vpliv na srce	Periferni živci Periferni živci in mišice Srce	50 Hz

Najbolj poznan učinek EP, ki je pod pragom za neposredno živčno ali mišično stimulacijo, je pojav fosfenov – t.i. zaznavanje migotanja svetlobe na robu vidnega polja. Fosfeni so posledica interakcije induciranih EP z električno vzdražnimi celicami v mrežnici. Ocenjeno je, da prag za pojav fosfenov v mrežnici leži med približno 50 in 100 mV/m pri frekvenci 20 Hz. Drugi nevrološki učinki na električno aktivnost možgan, kognitivne funkcije, spanec in razpoloženje pri proustvoljcih, izpostavljenih NF EP in MP, so veliko manj raziskani (ICNIRP 2010).

Pri pripravi smernic je bila uporabljena vsa znanstvena literatura ustreznere ravnire znanstvene kakovosti, ki je poročala tako o **trenutnih** (npr. bolečina) kot tudi o **dolgoročnih** (npr. rak) učinkih zaradi izpostavljenosti EMP. Vključena je bila tudi znanstvena literatura, ki poroča o preobčutljivosti na izpostavljenosti EMP.

Določeno število epidemioloških raziskav, objavljenih zlasti v 80-tih in 90-tih letih, je ugotovilo povezavo med dolgotrajno izpostavljenostjo MP omrežne frekvence 50 oziroma 60 Hz ter povečanim tveganjem za otroško levkemijo. Dve obsežni študiji kažeta (IARC 2001), da lahko obstaja povečano tveganja za otroško levkemijo pri trajni izpostavljenosti MP nad 0,3 do 0,4 μ T. Epidemiološke študije so sicer nakazale vzročno povezavo, vendar pa doslej biološkega mehanizma učinkovanja, ki bi razložil pojav levkemije ali spodbujanje rasti rakavih celic pri otrocih pod vplivom NF MP, še ni bilo mogoče potrditi. Brez nedvoumnih dokazov o kancerogenih vplivih pri odraslih ali verodostojnih izsledkov na podlagi eksperimentov na živalih ali izoliranih celicah, epidemiološki dokazi niso dovolj močni, da bi opravičili trden zaključek, da takšna polja povzročajo levkemijo pri otrocih.

Povezava med izpostavljenostjo MP in levkemijo zaradi nedoslednosti pri ugotavljanju izpostavljenosti in zaradi pomanjkanja podpore drugih potrebnih raziskav (predvsem glede verjetne razlage osnovnih mehanizmov) ne izpolnjuje kriterijev za nedvoumno potrditev vzročne povezave. Zato je potrebno ugotovljeno povezavo med MP in levkemijo razumeti kot zelo šibko. Zaradi navedenih razlogov ICNIRP v svojih smernicah leta 2010 ni izoblikovala mejnih vrednosti, ki bi upoštevale tveganje za pojav otroške levkemije kot posledice izpostavljenosti MP. Kljub temu pa je to možno tveganje potrebno vzeti resno in uvajati ukrepe načela previdnosti.

Kot je navedeno zgoraj, so epidemiološke študije ugotovile, da je vsakodnevna kronična izpostavljenost NF MP povezana s povečanim tveganjem za otroško levkemijo. Vendar pa laboratorijske študije niso podprle te povezave in vzročno razmerje med MP in otroško levkemijo ali nobenim drugim dolgoročnim učinkom ni bilo ugotovljeno. Odsotnost ugotovljene vzročnosti je razlog, da epidemiološki rezultati niso bili upoštevani pri izoblikovanju mejnih vrednosti. ICNIRP se dobro zaveda, da so rezultati teh epidemioloških študij botrovali zaskrbljenosti med prebivalstvom v številnih državah. ICNIRP zastopa stališče, da je to problematiko, povezano z zaznavanjem in komuniciranjem tveganj, potrebno obravnavati v okviru nacionalnih programov za obvladovanje tveganj. Obvladovanje tveganj na splošno temelji na številnih različnih vidikih, vključno s socialnimi, gospodarskimi in političnimi vprašanji. Svetovna zdravstvena organizacija in nekatere mednarodne organizacije so dodatno izoblikovali priporočila glede tveganj, vključno z upoštevanjem previdnostnih ukrepov.

Razlikujemo ***neposredne učinke polja*** (ti so posledica tokov, ki jih v telesu povzroči MP; migotanje pred očmi, spremenjena rast celic, spremembe celičnih membran, učinki draženja) in ***površinske učinke***, relevantne pri EP (naježenje dlak, mikrorazelektrivte).

Velik problem pomeni upoštevanje dognanj o vplivih polj najnižjih jakosti na človeka (hormoni, spremembe v transportu kalcija...) pri določitvi mejnih vrednosti, saj znanje biologije, medicine in elektrotehnike še ne zadostuje za pojasnitev vseh teh subtilnih bioloških učinkov. Obstaja torej relativno veliko neopredeljeno območje. Kljub temu pa najnovejša priporočila ICNIRP postavlja mejne vrednosti ravno v to območje.

Omejitve izpostavljenosti temeljijo na znanstveno ugotovljenih in potrjenih učinkih. NF EMP povzročajo inducirane tokove in EP v telesu, visokofrekvenčna

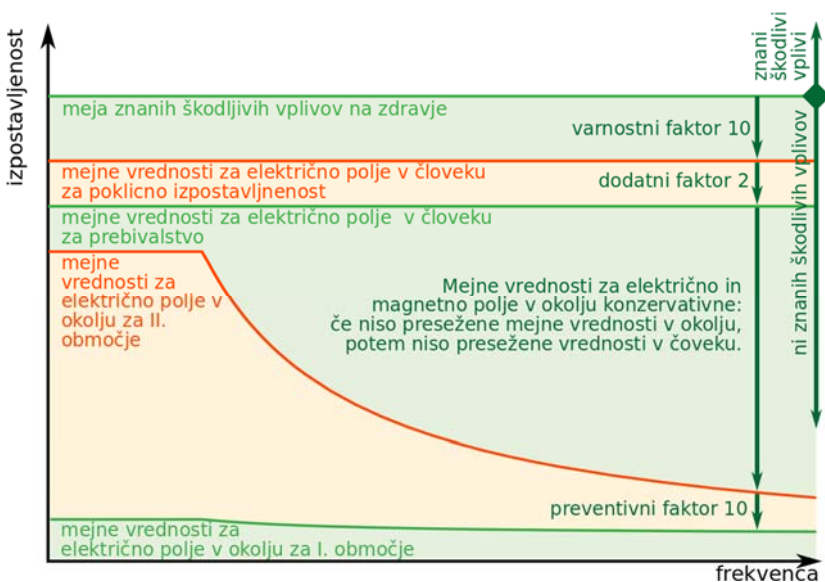
EMP pa termične učinke.

Razpoložljivi znanstveni podatki ne kažejo, da bi lahko NF EP in/ali MP vplivala na neuroendokrini sistem na način, da bi to lahko vodilo do negativnih vplivov na zdravje. Ni dokazov o povezavi med izpostavljenostjo NF EMP in določenimi boleznimi, kot so Parkinsonova bolezen, multipla skleroza in bolezen srca in ožilja. Dokazi za povezavo med izpostavljenostjo NF EMP in Alzheimerjevo boleznijo ter amiotrofično sklerozo niso prepričljivi. Dokazi za povezavo med EMP ter razvojnimi in reprodukcijskih učinki so zelo šibki (ICNIRP 2010, Gajšek et al. 2021).

6.3 MEJNE VREDNOSTI NF EMP

Namen mejnih vrednosti je preprečiti, da bi zaradi čezmerne izpostavljenosti EMP v različnih primerih prišlo do tveganj za zdravje ljudi. Mejne vrednosti temeljijo na trenutnem stanju stroke na tem področju in upoštevajo vse znanstveno dokazane vplive na ljudi. Določene so tako, da za izpostavljenosti, manjše od mejnih vrednosti, ni znanih nobenih škodljivih vplivov na zdravje. Oblikujeta se dve vrsti omejitev – **mejne vrednosti** in **opozorilne vrednosti**.

Mejne vrednosti so določene za dozimetrične veličine znotraj človeškega telesa, in sicer za NF EMP kot jakost EP v tkivih (E , enota V/m). Mejne vrednosti



Slika 6.1: Prikaz opozorilnih vrednosti (okolje) in mejnih vrednosti (znotraj človeškega telesa) za NF EMP.

izhajajo iz upoštevanja najslabšega možnega primera za vse parametre izpostavljenosti.

Opozorilne vrednosti pa so določene za veličine izven človeškega telesa, ki jih lahko neposredno merimo, na primer za jakost EP, gostoto magnetnega pretoka in gostoto pretoka moči. Opozorilne vrednosti so konzervativne, skladnost z mejnimi vrednostmi je zagotovljena pri vsaki izpostavljenosti, ki je pod opozorilnimi vrednostmi. Vendar pa preseganje opozorilnih vrednosti ne pomeni nujno preseganje tudi mejnih vrednosti.

Dejanske mejne vrednosti, ki ne smejo biti presežene, so za izpostavljenost NF EMP določene za EP znotraj človeškega telesa. Kakor pa je razvidno tudi iz zgornje slike, preseganje mejnih vrednosti ne pomeni, da bo to imelo za posledico nastanek neke bolezni ali drugače škodovalo našemu zdravju. Šele ob 20-kratnem preseganju mejnih vrednosti za prebivalstvo oziroma 10-kratnem preseganju mejnih vrednosti za zaposlene bi se lahko pojavili znani trenutni škodljivi vplivi na zdravje (Gajšek et al. 2021).

Določanje EP znotraj človeka je zelo zahtevno, zato smernice ICNIRP določajo tudi t.i. izvedene mejne vrednosti, to je mejne vrednosti, ki veljajo izven človeškega telesa. Pri nizkih frekvencah so določene za jakost EP in gostoto magnetnega pretoka izven človeškega telesa, kar je v praksi precej lažje izmeriti ali izračunati. Izvedene mejne vrednosti so konservativne, kar pomeni, da ob upoštevanje izvedenih mejnih vrednosti, izhodiščne mejne vrednosti, ki veljajo znotraj človeškega telesa, zagotovo niso presežene.

Pri EMP imamo na področju bioloških učinkov praviloma opraviti s stopenjskim sistemom. Tako pri zelo šibkih jakostih polja sicer še obstaja možnost vpliva na organizme (pri NF EMP pride do gibanja nosilcev naboja), praviloma pa to nima pomembnejših posledic za zdravje. Pri višjih poljskih jakostih lahko pride do zaznavnih bioloških učinkov. Vendar je tu še precej nejasnosti, saj organizem človeka ali živali sam izravna številne vplive in le-ti nimajo vplivov na zdravje. Do določene jakosti polja bo organizem vplive praviloma popolnoma izravnal. Z naraščanjem jakosti lahko pride do zaznavnih vplivov, reverzibilnih učinkov in končno, če intenzivnost še narašča, do ireverzibilnih poškodb.

V splošnem se z mednarodnimi smernicami ICNIRP določene mejne vrednosti za prebivalstvo razlikujejo od mejnih vrednosti za poklicno izpostavljene. Razlogi so naslednji (Gajšek et al. 2021):

- poklicno izpostavljene so odrasle osebe, njihovo izpostavljenost je moč nadzorovati;

- nadzora nad izpostavljenostjo prebivalstva ni;
- prebivalstvo se zelo razlikuje glede na občutljivost, starost in zdravstveno stanje;
- prebivalstvo je 24 ur na dan oz. vse življenje izpostavljeno sevanju;
- ne moremo pričakovati nadzora nad indirektnimi učinki polj in zato tudi ne preprečiti obremenitev in bolečin zaradi razelektritev (mikrošokov) ob dotiku s prevodnim predmetom.

Tabela 6.2.: Referenčne ravni mejnih vrednosti za prebivalstvo, ki jih določajo smernice ICNIRP (2010).

Značilnost izpostavljenosti	Frekvenčno območje	Notranje EP (V/m)
Centralni živčni sistem glave	1 - 10 Hz	0,1 / f
	10 Hz - 25 Hz	0,01
	25 Hz - 1000 Hz	$4 \times 10^{-4} f$
	1000 Hz - 3 kHz	0,4
	3 kHz - 10 MHz	$1,35 \times 10^{-4} f$
Vsa tkiva glave in telesa	1 Hz - 3 kHz	0,4
	3 kHz - 10 MHz	$1,35 \times 10^{-4} f$

Opombe:

f je frekvenca v Hz

v frekvenčnem območju nad 100 kHz je treba dodatno upoštevati druge specifične osnovne omejitve.

6.4 POMEN MEDNARODNIH SMERNIC ICNIRP

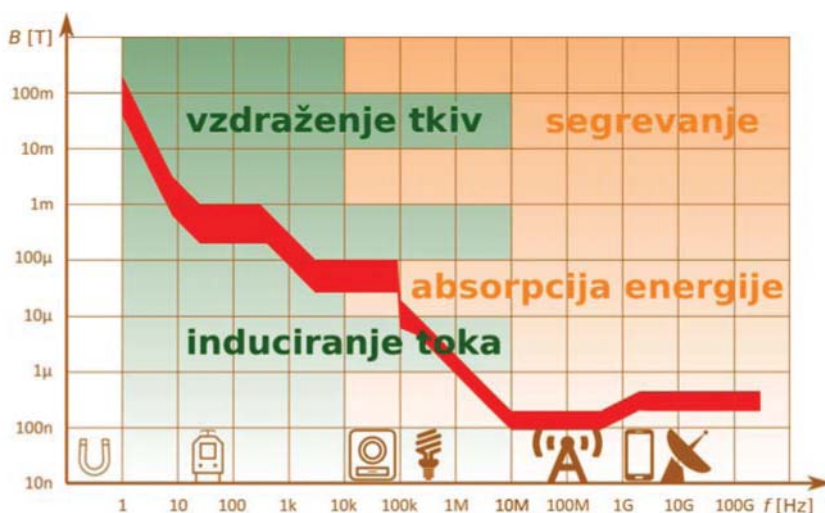
Največja avtoriteta za spremljanje znanstvene literature in njeno vrednotenje v smislu ugotavljanja kakršnekoli zdravstvenih tveganj, ki bi pretila ljudem zaradi izpostavljanja EMP, je **Mednarodna komisija za varstvo pred neionizirnimi sevanji (ICRNIP)**. Komisija ni povezana z nobeno industrijsko panogo; finančno jo podpirajo Evropska unija (EU), Mednarodno združenje za varstvo pred sevanji (IRPA), Mednarodni urad za delo (ILO) in vlade nekaterih držav. ICNIRP je mednarodne smernice o mejnih vrednostih izpostavljenosti EMP, ki temeljijo na trenutnih znanstvenih ugotovitvah in spoznanjih, sprejela leta 1998 ter določila ukrepe, ki so potrebni za zmanjšanje zdravstvenega tveganja. Določanje mejnih vrednosti je stalen proces, ICNIRP v povezavi s **Svetovno zdravstveno organizacijo (SZO)** stalno spremlja in preverja, ali je potrebno obstoječe mejne vrednosti

glede na najnovejše znanstvene raziskave spremeniti oziroma dopolniti. Tako je ICNIRP v letu 2010 na podlagi analize vseh znanstvenih raziskav mejne vrednosti za nizke frekvence dopolnila in jih celo zvišala.

Pred določitvijo dokončnih praznih vrednosti za nastanek škodljivih vplivov na zdravje je potrebno opraviti poglobljeno delo. V svetu potekajo številne aktivnosti, ki naj bi na podlagi preučitve obstoječih *in vitro*, *in vivo* raziskav ter raziskav na človeku pripeljale do enotnih in učinkovitih mejnih vrednosti. Poleg seznama podatkov o bioloških učinkih je glavnina zahtevnega dela ocena učinkov glede na možne škodljive zdravstvene posledice. Pri ocenjevanju je treba razlikovati med potrjenimi ter hipotetičnimi, začasnimi in nedokazanimi učinki. Naslednja točka, ki je prav tako pomembna kot omenjeno ocenjevanje, je identifikacija pomanjkljivosti v znanju. Vse to so naloge, ki jih opravlja ICNIRP.

Za sklepanje o dejavnikih, ki povzročajo škodljive učinke, ICNIRP uporablja rezultate znanstvenih raziskav o bioloških učinkih in tveganjih za zdravje, ki so objavljeni v znanstvenih revijah z recenzijo. Pri tem pa ICNIRP uporablja točno določene minimalne znanstvene kriterije, ki jo mora izpolnjevati literatura, ki jo bodo pri tem sklepanju uporabili (ICNIRP 2010):

1. eksperimentalne in opazovalne metode, tehnike in okoliščine morajo biti kar najbolj objektivne;
2. analize podatkov morajo biti povsem objektivne, pomembnih podatkov ne smemo obiti, uporabljati je potrebno enotne analitične metode;



Slika 6.2: Prikaz frekvenčno odvisnih opozorilnih vrednosti. Zunanja NF EMP lahko v telesu povzročijo inducirane tokove in EP, ki vzdražijo tkiva. Zunanja polja visokih frekvenc se v telesu absorbirajo in lahko vodijo do njegovega segrevanja. V delu srednjih frekvenc se oba pojava prekrivata.

3. opis metod mora biti dovolj podroben, da se lahko prepričamo o tem, da so bili izpolnjeni pogoji pod točkama 1) in 2);
4. rezultati morajo predstavljati relevantne spremenljivke pri visoki stopnji statistične pomembnosti in pri uporabi primernih statističnih testov;
5. relevantni učinki se morajo pokazati pri večini testiranih organizmov, posledice pa morajo biti v skladu z znanstveno potrjenimi mehanizmi;
6. rezultati morajo biti merljivi in preverjeni s strani neodvisnih raziskovalcev.

Varnost postavljenih mejnih vrednosti se stalno spremlja in preverja, ali je potrebno obstoječe mejne vrednosti glede na znanstvene raziskave in nove ugotovitve spremeniti. Zato ICNIRP stalno spremlja in presoja znanstveno literaturo in raziskave na področju vplivov EMP na zdravje. Na podlagi presoje znanstvene literature ICNIRP pripravlja predloge za mejne vrednosti za izpostavljenost EMP, katerim sledijo številne organizacije in države po svetu. Pomen smernic ICNIRP je zelo velik, saj zakonodaja v večini držav po svetu temelji na teh smernicah. To velja tudi za večino držav EU vključno s Slovenijo. Uporabo smernic ICNIRP pri pripravi politik varovanja zdravja na področju neionizirnih sevanj priporoča tudi SZO.

6.5 STANJE V DRŽAVAH ČLANICAH EU

Evropska komisija je leta 1999 izdala priporočila o omejevanju izpostavljenosti prebivalstva EMP, ki v celoti temeljijo na smernicah ICNIRP. Vendar za države EU priporočila niso zavezujoča in tako je urejanje izpostavljenosti prebivalstva EMP v EU prepuščeno vsaki državi članici posebej. Oblikovale so se različne politike omejevanja izpostavljenosti prebivalstva EMP, ki jih v veliki meri lahko razdelimo na tri različne pristope: države z zakonodajo, ki je primerljiva priporočilom EU, države brez zakonodaje ali z milejšo zakonodajo od priporočil EU ter zadnjo skupino z zakonodajo, ki je strožja od priporočil EU.

V **prvi skupini** držav članic z zavezujočo nacionalno zakonodajo oziroma nacionalno politiko z mejnimi vrednostmi, primerljivimi priporočilom EU, so Češka, Estonija, Francija, Grčija, Madžarska, Nemčija, Irska, Luksemburg, Portugalska, Slovaška in Romunija. Na Češkem se referenčne ravni razlikujejo od priporočil EU, vendar so osnovne mejne vrednosti enake. V Franciji omejitve veljajo samo za nove ali rekonstruirane naprave. V Nemčiji in na Slovaškem se referenčne ravni iz priporočila EU uporabljajo kot dejanske mejne vrednosti izpostavljenosti,

brez sklicevanja na osnovne omejitve. Dodatno nekatere države uvajajo previdnostne politike ali pa so se za njihovo uvajanje operaterji odločili prostovoljno. Druga možnost je, da zakonodaja vsebuje obveznost za zmanjševanje izpostavljenosti EMP, kolikor je to še mogoče storiti z razumnimi stroški in posledicami. Motivacija je bodisi epidemiološki dokaz za morebitno povečano tveganje za otroško levkemijo pri otrocih, ki živijo v bližini VN daljnovodov, ali bolj splošen argument, da bi glede na znanstveno negotovost ohranili čim nižjo izpostavljenost prebivalstva EMP. Primeri držav iz prve skupine s preventivno politiko:

- **Francija:** Ministrsko priporočilo svetuje prefekturam, naj se čim bolj izogibajo gradnji novih bolnišnic, porodnišnic in vzgojno-varstvenih ustanov v bližini daljnovodov, kablovodov in transformatorskih postaj, kjer bi lahko bili otroci izpostavljeni MP, močnejšemu od $1 \mu\text{T}$. Za novo ali spremenjeno elektroenergetsko infrastrukturo se operater omrežja pri načrtovanju razvoja novega omrežja običajno skuša čim bolj izogniti umeščanju nove elektroenergetske infrastrukture v bližini takšnih lokacij. Operater omrežja ima zakonsko obveznost spremljati izpostavljenost EMP v bližini daljnovodov v urbanih okoljih. Prebivalci lahko od lokalnih skupnosti prek župana zahtevajo tudi informacije o izpostavljenosti EMP.
- **Nemčija:** Nacionalna zakonodaja zahteva, da se pri umeščanju ali rekonstrukciji naprav za prenos in distribucijo električne energije z napetostjo (enosmerno ali izmenično) nad 1 kV izčrpajo vse možnosti za zmanjšanje EMP v skladu s trenutnim stanjem tehnike. Visokonapetostni daljnovodi na novi načrtovani trasi ne smejo potekati čez objekte, namenjene bivanju ljudi. Obveznost zmanjševanja EMP velja samo za stanovanjske površine, bolnišnice, šole, vrtce, igrišča ali katero koli drugo lokacijo, ki ni namenjena izključno bivanju ljudi. Ukrepi za zmanjševanje morajo biti sorazmerni glede na stroške, funkcionalnost ali negativne učinke na okolje, dobro počutje in varnost pri delu.
- **Luksemburg:** Obstaja ministrsko priporočilo, da se ne gradijo nobeni novi bivalni prostori v neposredni bližini visokonapetostnih daljnovodov (znotraj 20 metrov za 65 kV daljnovodov in 30 metrov za 100 do 220 kV daljnovodov).

V **drugi skupini** držav članic nacionalne omejitve, ki temeljijo na priporočilu EU ali ICNIRP, niso zavezujoče, obstajajo milejše omejitve ali pa ni zakonsko določenih omejitev. Lahko pa se zgodi, da organi ali operaterji v praksi uporabljajo omejitve iz priporočil EU. Države članice EU v tej skupini so Avstrija, Ciper,

Danska, Finska, Latvija, Malta, Nizozemska, Španija, Švedska in Združeno kraljestvo. Tudi v drugi skupini so nekatere države uvedle previdnostne politike:

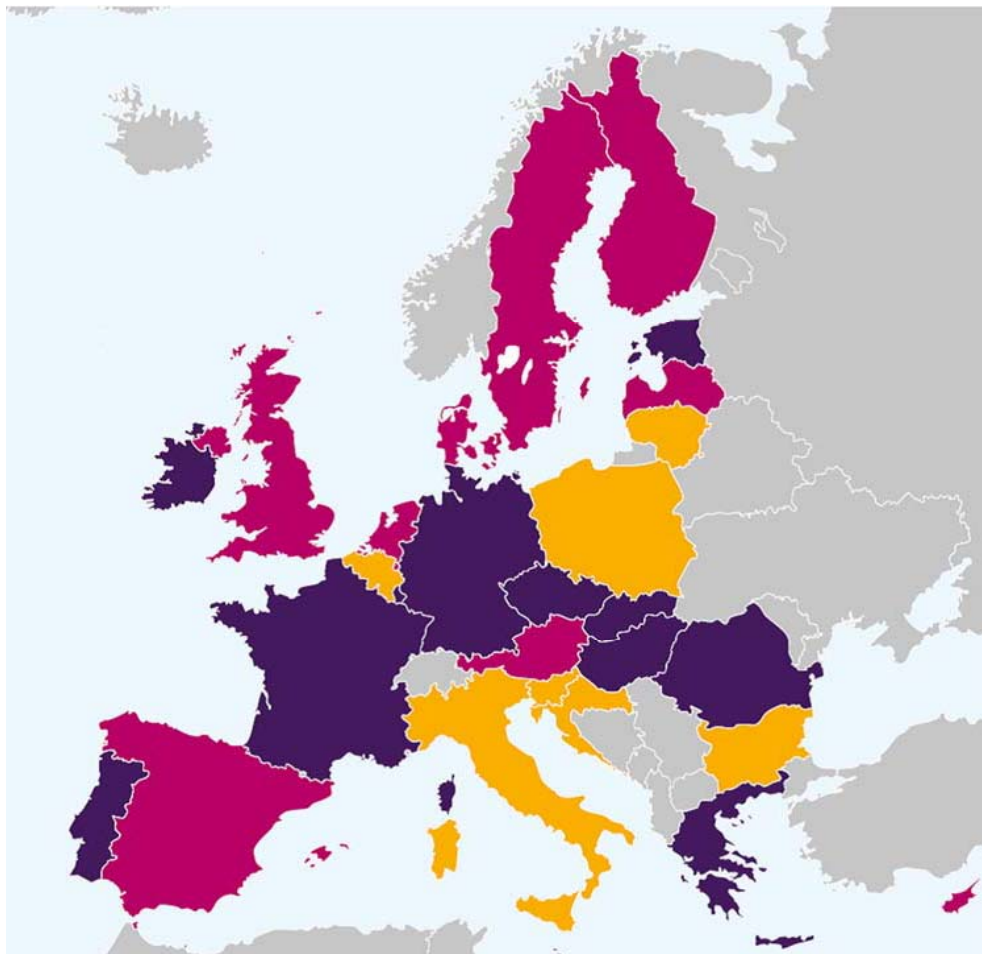
- **Avstrija:** Čeprav previdnostne omejitve niso uradno priporočene, skupina strokovnjakov, ki jih imenuje pristojni organ, za nove VN daljnovode, za katere je potrebna presoja vplivov na okolje, običajno zahteva skladnost z največjo dovoljeno vrednostjo MP $1 \mu\text{T}$ (1 % referenčnih ravni EU).
- **Danska:** Danska uprava za zdravje je leta 1993 priporočila, da se novi domovi ali otroške ustanove ne gradijo v bližini daljnovodov, prav tako pa se tudi novih daljnovodov ne gradi v bližini domov ali otroških ustanov. Natančna razdalja je bila prepuščena pragmatičnim premislekom. Danski elektroenergetski sektor je objavil smernice za situacije, v katerih je treba raziskati ukrepe za zmanjšanje MP z razumnimi stroški. Priporočila danske zdravstvene uprave veljajo samo za novogradnje.
- **Finska:** Organ za varstvo pred sevanji (STUK) odsvetuje gradnjo bivalnih površin na območjih, kjer trajna vrednost MP presega $0,4 \mu\text{T}$.
- **Nizozemska:** Ministrsko priporočilo glede EMP lokalnim oblastem in operaterjem nalaga, da se čim bolj izogonejo novim situacijam, ki bi vodile v dolgotrajno izpostavljenost otrok z letno povprečno vrednostjo MP nad $0,4 \mu\text{T}$ v okolici VN daljnovodov. Priporočilo se nanaša predvsem na izdelavo prostorskih načrtov oziroma pri spreminjanju obstoječih načrtov za visokonapetostne daljnovode. Za obstoječe stanje pa veljajo priporočila EU za EMP.

V **tretji skupini** držav članic so države s strožjimi osnovnimi omejitvami in/ali referenčnimi ravnmi, ki temeljijo na previdnostnem načelu ali so nastale zaradi pritiska javnosti. Te strožje referenčne ravni se pogosto uporabljajo kot dejanska mejna vrednost izpostavljenosti, ki je ni mogoče preseči. Ker obstaja velika raznolikost posebnih pravil in omejitev, je podan povzetek po državah članicah:

- **Belgija:** V Belgiji je omejitev izpostavljenosti EMF prebivalstva stvar treh decentraliziranih regij. V Flandriji ministrsko priporočilo za načrtovanje novih daljnovodov navaja, da se je treba izogibati približevanju ali prečkanju šol in otroških vrtcev ter čim bolj omejiti križanje s stanovanji. Novih šol in vrtcev ne bi smeli postavljati v območja, kjer so presežene letne povprečne vrednosti MP $0,4 \mu\text{T}$ (0,4 % referenčne ravni v priporočilu EU). Poleg tega uredba v domovih in javnih zgradbah zahteva, da je izpostavljenost MP omrežne frekvence pod $10 \mu\text{T}$ (10 % referenčne ravni v priporočilu EU) in svetuje, naj si prizadevajo za „kakovost cilj“ - to je $0,2 \mu\text{T}$ (0,2 % referenčne
-

ravni v priporočilu EU). V regiji Bruselj ministrsko navodilo za okoljevarstvena dovoljenja zahteva, da je MP v bližini na novo nameščenih transformatorskih postaj, kjer lahko bivajo otroci mlajši od 15 let, v 24-urnem povprečju nižje od 0,4 μ T. Valonija nima previdnostne politike za MP, vendar za transformatorje uporablja omejitve iz priporočila EU.

- **Bolgarija:** Veljajo minimalne razdalje med domovi in visokonapetostnimi daljnovodi ali transformatorskimi postajami. Drugih omejitev za izpostavljenost prebivalstva MP omrežne frekvence ni.
- **Hrvaška:** Na splošno veljajo omejitve za EP in MP, ki so enake mejnim vrednostim, ki jih določajo priporočila EU. Za »občutljiva območja« (domovi, pisarne, šole, igrišča, vrtci, porodnišnice, bolnišnice, domovi za starejše ter turistične nastanitve) veljajo omejitve za EP in MP, ki znašajo do 40 % mejnih vrednosti glede na priporočila EU.
- **Italija:** Za vse nizkofrekvenčne vire, razen daljnovodov, veljajo referenčne ravni in osnovne omejitve, ki jih določajo priporočila EU. Poleg tega veljata „opozorila mejna vrednost“ in „ciljna mejna vrednost“ za 24-urno povprečno izpostavljenost v domovih, na otroških igriščih, šolah in krajih, kjer se lahko ljudje zadržujejo več kot štiri ure. „Opozorilna mejna vrednost“ znaša 10 % mejne vrednosti EU za MP in velja za obstoječe situacije. „Ciljna mejna vrednost“ znaša 3 % mejne vrednosti EU za MP in velja za nove situacije. Še strožja mejna vrednost za MP (0,2 % referenčne ravni) je bila sprejeta v treh regijah, preden je začel veljati zvezni zakon. To velja tudi za visokonapetostne daljnovode v bližini domov, šol in drugih krajev, kjer se ljudje lahko zadržujejo več kot 4 ure na dan.
- **Litva:** V stanovanjskih in javnih zgradbah velja omejitev 10 % (EP) ali 20 % (MP) mejne vrednosti glede na priporočila EU. Za bivalno okolje zunaj stavb velja omejitev 20 % (EP) ali 40 % (MP) mejne vrednosti glede na priporočila EU.
- **Poljska:** Omejitev 20 % (EP) ali 75 % (MP) mejne vrednosti glede na priporočila EU velja za stanovanjska območja.



Slika 6.3.: Pregled mejnih vrednosti za izpostavljenost prebivalstva EMP omrežne frekvence v EU.

Skupina 1 (**temno vijolična**): implementirana zakonodaja, ki temelji na priporočilih EU, previdnostna politika uvedena v nekaterih državah

Skupina 2 (**rožnata**): brez zakonsko določenih mejnih vrednosti, previdnostna politika uvedena v nekaterih državah;

Skupina 3 (**rumena**): zakonsko določene strožje mejne vrednosti kot v priporočilih EU.

6.6 STANJE V SLOVENIJI

Slovenija spada med države iz tretje skupine, saj uvaja dodatne omejitve za EP in MP za nove vire EMP. Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (UL RS 70/1996), določa samo referenčne ravni (ki se v uredbi imenujejo mejne vrednosti), torej omejitve, ki veljajo izven človeškega telesa.

Zaradi tega je naša zakonodaja bolj konservativna od mednarodnih smernic ICNIRP in tudi priporočil Evropskega sveta, saj ne dopušča preseganja mejnih vrednosti za EP in MP izven človeškega telesa in ugotavljanja skladnosti na podlagi osnovnih mejnih vrednosti za EP v človeškem telesu. Dodatno uredba uvaja še tako imenovano I. območje varstva pred sevanji, kjer so mejne vrednosti še dodatno 10 krat nižje. V I. območje varstva pred sevanji spadajo tista območja, ki so namenjena bivanju, oziroma kjer se prebivalstvo zadržuje dlje časa: območja objektov vzgojnovarstvenega in izobraževalnega programa in zdravstvenega varstva, bolnišnic, objektov namenjenih bivanju, igri in rekreaciji, javnih zelenih in rekreacijskih površin, trgovsko-poslovno-stanovanjska območja, ki so hkrati namenjena bivanju in obrtnim ter podobnim proizvodnim dejavnostim, javna središča, kjer se opravljajo upravne, trgovske, storitvene ali gostinske dejavnosti in podobno. II. območje varstva pred sevanji predstavlja ostala območja: gozdove, kmetijske površine, transportna in industrijska območja, prometne površine...

Za obstoječe vire, to je vire, ki so bili v uporabi že ob uveljavitvi uredbe leta 1996, uredba določa, da se, četudi se nahajajo na I. območju varstva pred sevanji, uporabljajo mejne vrednosti za II. območje. V Sloveniji tako za EP veljajo za I. območje 10-krat nižje mejne vrednosti, za MP pa 20-krat nižje mejne vrednosti od smernic ICNIRP, za II. območje pa za MP velja 2-krat nižja vrednost in za EP 2-krat višja vrednost od smernic ICNIRP. Čeprav je zakonodaja v Sloveniji v veljavi že od leta 1996, ni zastarela v smislu slabega ali nezadostnega varovanja prebivalstva pred EMP.

Za poklicno izpostavljenost pa velja zakonodaja s področja varovanja zdravja pri delu, to je Uredba o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem (UL RS 49/16).

Tabela 6.3.: Pregled opozorilnih vrednosti za NF EP in MP, ki veljajo v Sloveniji v primerjavi s smernicami ICNIRP in priporočili EU

	mejne vrednosti za	
	EP [kV/m]	MP [μ T]
Uredba I. območje	0,5	10
Uredba I. rekonstrukcija*	1,8	15
Uredba II. območje	10	100
Priporočila EU (1999)	5	100
Smernice ICNIRP (2010)	5	200

* V primeru rekonstrukcije obstoječega podzemnega ali nadzemnega voda veljajo v bivalnih prostorih in vseh drugih prostorih zgradb, v katerih se zadržujejo ljudje, posebne mejne vrednosti.

Svetovna zdravstvena organizacija v povezavi z ICNIRP navaja, da vsi pregledi znanstvenih raziskav jasno kažejo, da sevalne obremenitve, ki so nižje od mednarodnih smernic, ne povzročajo poznanih negativnih vplivov na zdravje.

6.7 LITERATURA

- EU. Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). Official Journal of the European Communities L 199/59, 1999.
- Gajšek P, Valič B. Elektromagnetna sevanja – mejne vrednosti in zdravje. Projekt Forum EMS, Ljubljana, 2021.
- IARC. Classification of static and extremely low frequency electric and magnetic fields (volume 80 of the IARC monographs series., J Radiol Prot. 21(3): 313-4, 2001.
- ICNIRP. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics 74(4): 494–522, 1998.
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz), Health Physics 99(6): 818-836, 2010.
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz), Health Physics 118(5): 483–524, 2020.
- Ministrstvo za okolje in prostor RS. Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju. UL RS 70/96, 1996.
- Svetovna zdravstvena organizacija: Fact Sheet No. 193: Electromagnetic fields and public health: Mobile telephones and their base stations, 2014.



7 Ocenjevanje skladnosti

Blaž Valič, Peter Gajšek

Inštitut za neionizirna sevanja Ljubljana

7.1 OCENJEVANJE SKLADNOSTI

Ocenjevanje skladnosti je postopek, pri katerem se ugotavlja, ali določen vir obremenjuje okolje v skladu z izbranim kriterijem. Kriterij je običajno zakonsko določena mejna vrednost.

Podrobno je področje mejnih vrednosti in domače zakonodaje, ki služi kot kriterij za ugotavljanje skladnosti, opisano v poglavju 6 te monografije. Vrednosti električnega (v nadaljevanju EP) in magnetnega polja (v nadaljevanju MP) so skladne z zahtevami Uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (UL RS 70/96), če indeks izpostavljenosti SI ne presega vrednosti 1:

$$SI = \frac{EP,MP_{ocenjena}}{EP,MP_{mejna}},$$

kjer je $EP,MP_{ocenjena}$ izmerjena ali izračunana vrednost EP ali MP in EP,MP_{mejna} mejna vrednost.

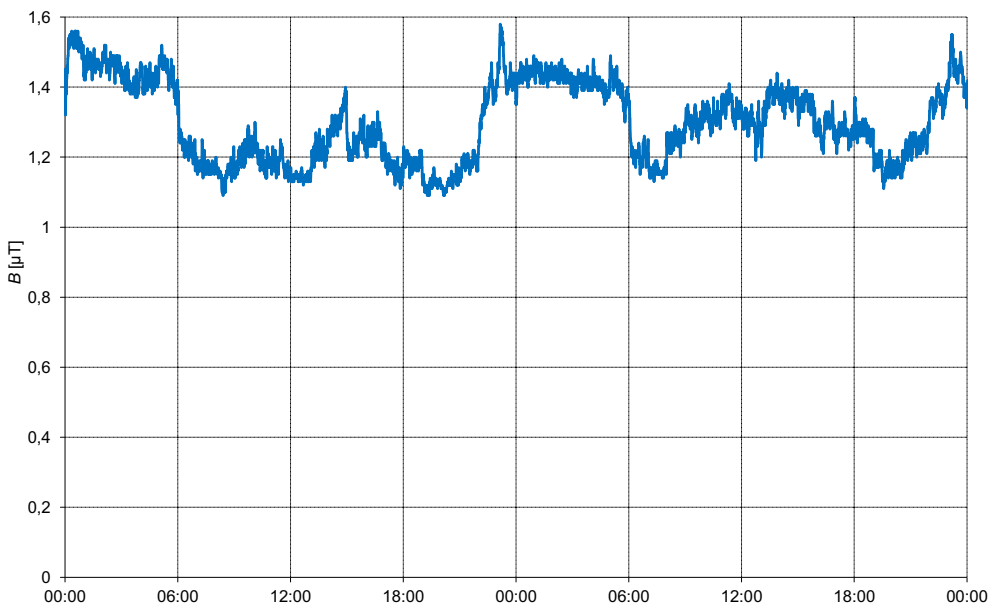
7.1.1 izračuni ali meritve emp

Vrednosti EMP se lahko določijo z meritvami ali z numeričnimi izračuni. Obe metodi imata svoje prednosti in slabosti, sta pa obe metodi predvideni tudi v uredbi o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju, čeprav uredba kot primarno metodo opredeljuje meritve.

Prednost meritev je, da je z njimi mogoče neposredno izmeriti vrednosti elektromagnetnih veličin. Metoda je lahko akreditirana, kar pomeni, da je zagotovljena sledljivost izmerjene vrednosti. V primeru ugotavljanja skladnosti glede na

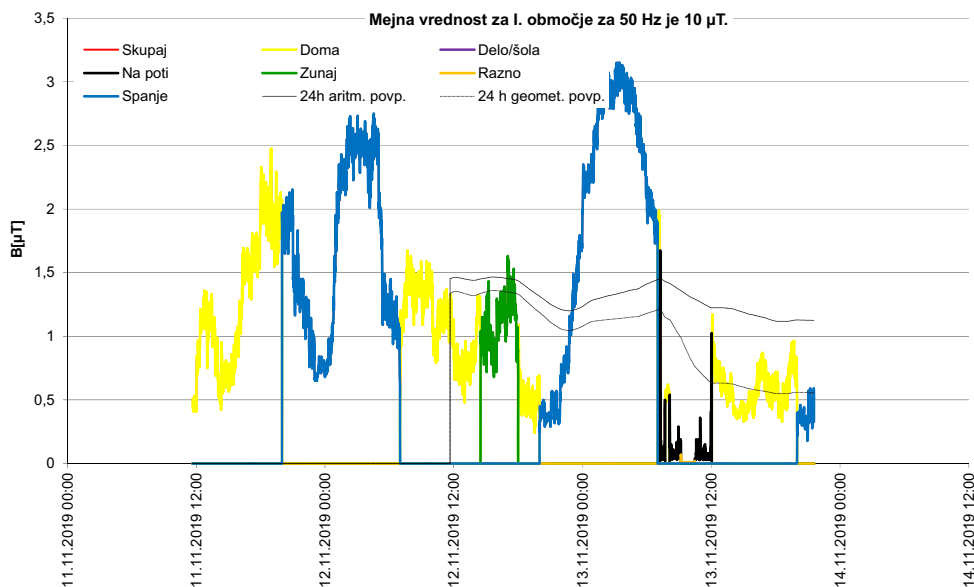
slovensko zakonodajo je akreditacija celo obvezna. Zavedati se je potrebno, da so merilne negotovosti merilnih metod za merjenje nizkofrekvenčnih (v nadaljevanju NF) EP in MP velike v primerjavi z merilnimi negotovostmi kakih drugih veličin, saj je tipična merilna negotovost za terensko izvajanje meritev med 20 in 30 odstotki. Meritve omogočajo takojšnjo pridobitev podatka o obremenjenosti okolja, delno pa omogočajo tudi kasnejši preračun izmerjenih vrednosti za primer največjih mogočih obremenitev okolja.

Poleg običajnih točkovnih meritev, ki se ob določenem času izvedejo na izbranih merilnih mestih, je s primerno merilno opremo mogoče izvesti tudi trajne meritve v dalj časa trajajočem obdobju, s katerimi se lahko poleg trenutnih vrednosti določijo tudi realne največje vrednosti merjene veličine. Vrednosti MP se namreč spreminjajo sorazmerno z obremenitvijo električnih naprav in sistemov. Te običajno niso nikoli nazivno obremenjene, tipično so transformatorske postaje in daljnovodi (v nadaljevanju DV) obremenjeni do 40 odstotkov nazivnih obremenitev (Valič et al. 2019). S trajnimi meritvami je mogoče pridobiti podatke o dejanskih najvišjih vrednostih MP na obravnavanem mestu (slika 7.1).



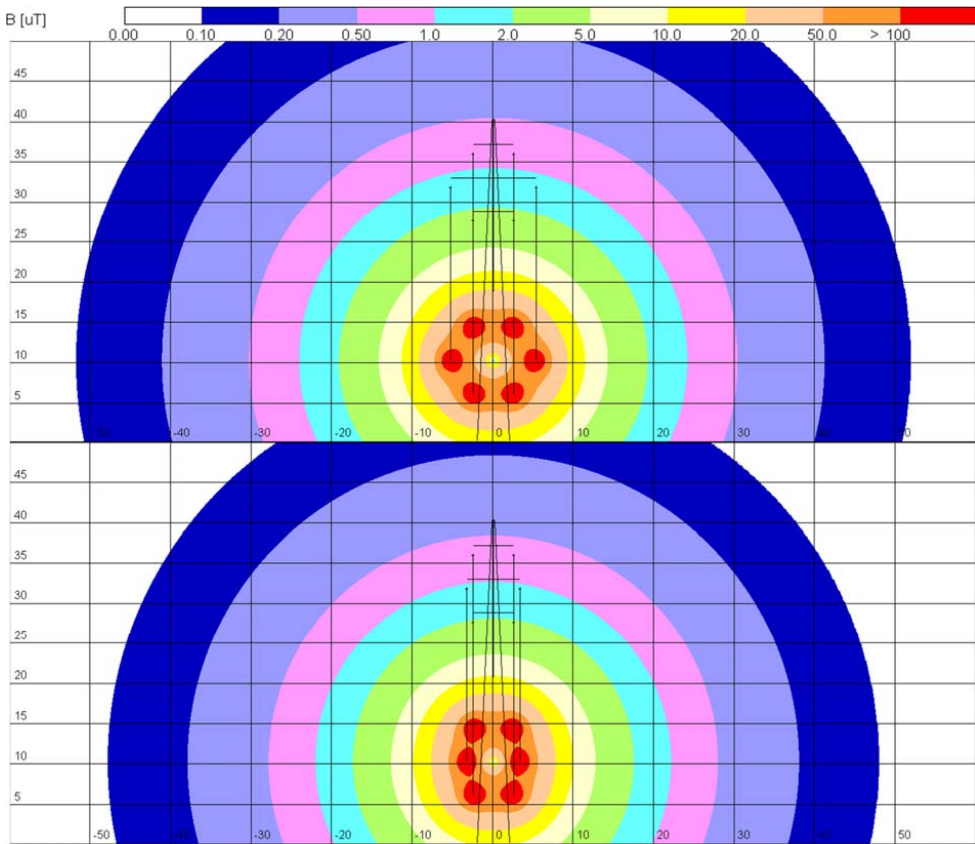
Slika. 7.1: Potek NF MP v μT v stanovanjski hiši na oddaljenosti 60 m od enosistemskega 400 kV DV Beričevo-Divača.

Prav tako je mogoče izvesti meritve osebne izpostavljenosti (slika 7.2). Pri tem oseba ves čas nosi osebni ekspozimeter, ki neprestano beleži vrednosti MP. V kombinaciji z izpolnjevanjem dnevnika o aktivnostih v času meritev ter s shranjevanjem koordinat je na tak način mogoče pridobiti podrobne podatke o osebni izpostavljenosti prebivalcev ter o tipičnih vzorcih izpostavljenosti. Izpostavljenosti je mogoče klasificirati glede na trenutno lokacijo oziroma trenutno aktivnost in tako pridobiti podatke o izpostavljenosti doma, med spanjem, v šoli/na delu, zunaj in podobno.



Slika 7.2: Graf poteka MP posameznika, ki biva na oddaljenosti 20 m od enosistemskega 400 kV DV Maribor-Krško.

Meritve je seveda mogoče izvesti samo za vire, ki že delujejo. Pri virih, ki se šele načrtujejo ali pa je predvidena njihova rekonstrukcija in nas zanimajo obremenitve po izvedeni rekonstrukciji, je edina možnost za ugotavljanje skladnosti izvedba numeričnega izračuna (simulacije). Numerični izračun temelji na izdelavi digitalnega modela vseh relevantnih obstoječih in novih postrojev in naprav ter spremljajočih dejavnikov, kot so relief terena, zgradbe in podobno. Numerično modeliranje poleg pridobitve podatkov o obremenitvah omogoča tudi analizo vpliva posameznih dejavnikov, rešitev ali tehničnih parametrov na obremenjevanje okolja (Valič et al. 2009). Na sliki 7.3 je predstavljen vpliv analize izbire konstrukcije DV stebra na vrednosti NF MP. Prednost numeričnega modeliranja je



Slika 7.3: Primer analize vpliva izbire konstrukcije DV stebra. V obeh primerih so predstavljene vrednosti NF MP v okolici 110 kV DV tipa sod, vendar se izračuna razlikujeta v izbrani konstrukciji DV stebra. Iz slike je razvidno, da zgornja konstrukcija stebra povzroča višje vrednosti NF MP.

tudi v tem, da omogoča izračun za poljubne obratovalne razmere vira oziroma virov, kot npr. za povprečne vrednosti, nazivne vrednosti, najvišje vrednosti v enem letu in podobno. Z numeričnimi izračuni je mogoče določiti vrednosti EP in MP v tridimenzionalnem prostoru na veliko točkah sočasno, medtem ko je izvedba meritev omejena na manjši nabor merilnih mest in tudi na pogoj, da je merilno mesto dostopno. Z numeričnim izračunom je mogoče vrednosti določiti tudi npr. več metrov nad tlemi, kar je lahko aktualno v primeru, da se v okolje umešča nov objekt v bližini DV, zanimajo pa nas vrednosti MP v volumnu celotnega načrtovanega objekta. Z numeričnim izračunom se lahko ugotovi obremenjenost okolja na celotnem volumnu, kjer se bo v prihodnje nahajal objekt, z meritvami pa je obremenjenost okolja mogoče določiti samo na dostopnih mestih, torej v primeru, da objekta še ni, samo na tleh.

Odločitev o tem, ali se ocenjevanje skladnosti izvede z meritvami ali z numeričnim izračunom, je pogojeno z več dejavniki, kot so zakonska določila, namen ocenjevanja skladnosti, obstoj vira, potreba po analizi variant in drugi. Odločitev je bolj kot samemu naročniku, ki običajno ni ustrezno usposobljen za to, prepuščena izvajalcem tovrstnih storitev, ki bi morali glede na zakonske zahteve in ob upoštevanju vseh drugih dejavnikov izbrati pravilno metodo glede na potrebe.

7.1.2 Referenčna točka izpostavljenosti

Pri določanju merilnih mest je zelo pomembno, da se izberejo pravilna merilna mesta, ki podajajo dejanske obremenitve okolja. Pri izboru merilnih mest je potrebno upoštevati vrsto dejavnikov, ki lahko izhajajo iz same zakonodaje (npr. delitev na I. in II. območje varstva pred sevanji v primeru meritev v okolju v skladu z zahtevami Uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju), standardov ter iz tehničnih lastnosti vira in geografskih razmer. Pri izbiri merilnih mest za merjenje NF EP je potrebno upoštevati tudi vpliv objektov, ki zelo vplivajo na porazdelitev NF EP in zagotoviti ustrezen odmik merilnih mest od objektov (Gajšek et al. 2014). Izbor merilnih mest je lahko oblikovan tudi na podlagi želja naročnika, vendar to ne more veljati v primerih, ko se meritve izvajajo za namene ugotavljanja skladnosti z zakonodajo, saj je v teh primerih naloga akreditiranega izvajalca meritev, da izbere primerna merilna mesta v skladu z zakonodajo, da se zagotavlja najvišja stopnja varovanja okolja.

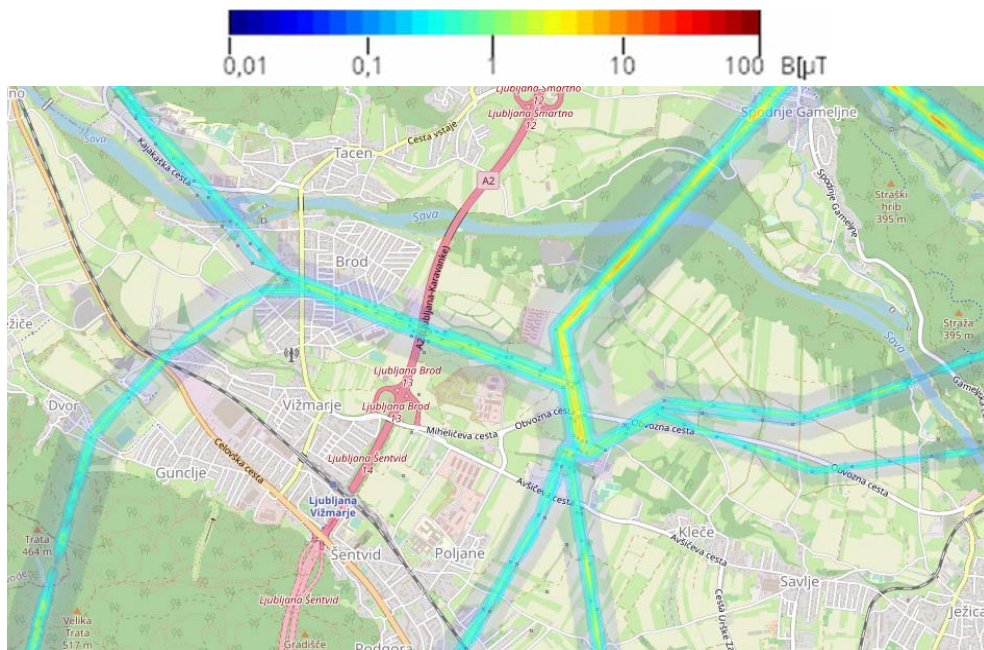
Izbor mest opazovanja pri numeričnem izračunu je manj pomemben, saj se numerični izračun običajno izvede za večje območje, ki pokriva več 1000 točk, v katerih se izračunajo vrednosti EP ali MP. Zato so običajno z numeričnim izračunom pokrita večja območja in je možnosti, da bi spregledali določeno mesto, kjer so obremenitve največje, majhna. Pri meritvah kljub skrbnemu načrtovanju meritev tovrstna možnost namreč vedno obstaja.

7.1.3 Pogoji obremenitve

Ovisno od namena ugotavljanja skladnosti je potrebno ustrezno upoštevati tudi pogoje obremenitev virov v času meritev. Pri ocenjevanju obremenjenosti okolja z EP in MP v skladu z Uredbo o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju je meritve potrebno izvesti trikrat, in sicer takrat, ko vir najbolj

obremenjuje okolje, kar je določeno v 5. členu Pravilnika o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu za vire elektromagnetnega sevanja ter o pogojih za njihovo izvajanje (UL RS 70/96). Ker je skorajda nemogoče zagotoviti, da viri NF EP in MP, kot so DV, transformatorske postaje in drugi, med izvajanjem najbolj obremenjujejo okolje, se zato v praksi uporablja pristop, kjer se vrednosti NF EP in MP izmerijo pri trenutnih obremenitvah, na podlagi podatkov o trenutnih obremenitvah in nazivnih obremenitvah pa se nato izračunajo vrednosti NF MP za najneugodnejše razmere.

Z vidika ocenjevanja izpostavljenosti ljudi pa so pogosto bolj kot najvišje povprečne vrednosti NF MP. Povprečne vrednosti NF MP se lahko določajo ali na podlagi trajnih meritev s preračunom izmerjenih vrednosti ali izračunov na povprečne obremenitve. Zato so potrebni podatki o povprečnih obremenitvah oziroma podatki o celotni zgodovini obremenitev za željeno obdobje opazovanja. Intervali izračunavanja povprečnih vrednosti so lahko različni, od 24-urnih povprečnih vrednosti, ki kažejo spreminjanje obremenitev na dnevni ravni pa vse do večletnih povprečnih vrednosti, ki podajajo večletne ali celoživljenjske povprečne izpostavljenosti prebivalstva na določenem območju. Na karti obremenjenosti okolja v Sloveniji z NF MP so vrednosti prikazane za povprečne obremenitve DV v obdobju od 1. 1. 2006 do 31. 12. 2017 (glej sliko 7.4).



Slika 7.4: Prikaz vrednosti NF MP v karti obremenjenosti okolja. Vrednosti so prikazane za povprečne obremenitve DV v obdobju od 1. 1. 2006 do 31. 12. 2017.

7.2 VPLIVNA OBMOČJA

Z izrazom vplivno območje opišemo tisto območje v prostoru, kjer so presežene mejne vrednosti za I. območje varstva pred sevanji glede na določila uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju. Torej je vplivno območje nekega vira tisto območje v prostoru, ki bi bilo namenjeno bivanju oziroma kjer bi se ljudje zadrževali dalj časa: bivalna območja, območja namenjena za vzgojo in izobraževanje... Vplivno območje nekega vira je odvisno od več dejavnikov, kot so tip vira, nazivni tokovi in napetosti, umestitev vira v prostoru in podobno. V nadaljevanju so vpliva območja podana za najbolj značilne vire NF EP in MP.

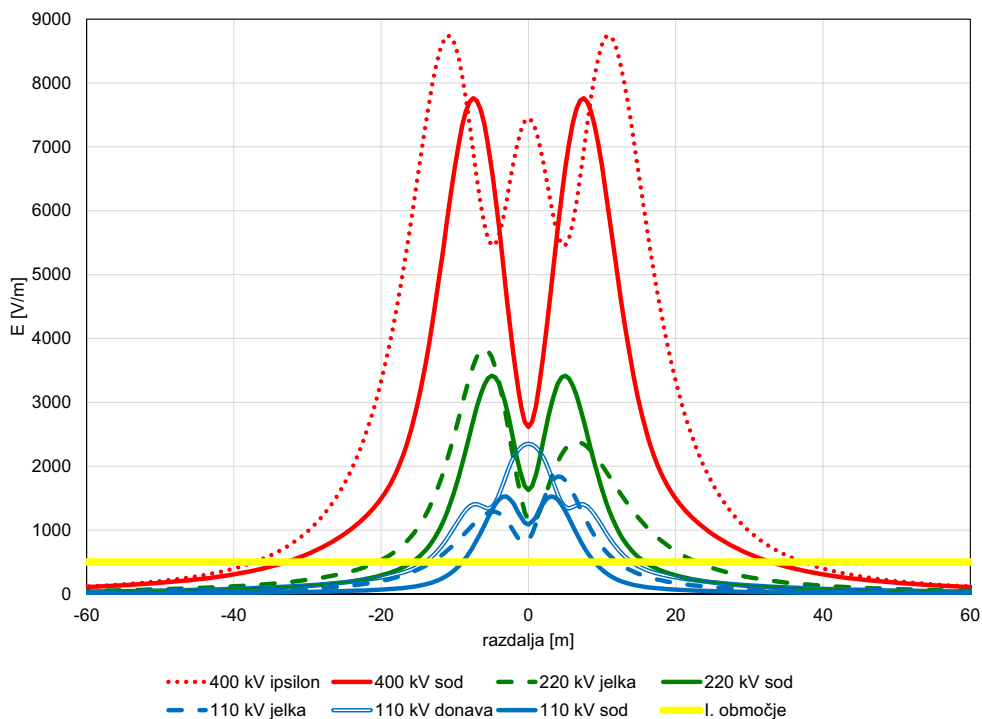
7.2.1 Visokonapetostni daljnovodi

Za prenos električne energije se v Sloveniji uporabljajo različni tipi DV. Razlikujejo se tako po nazivni napetosti, ki je lahko 220 ali 400 kV, kot tudi po številu nameščenih sistemov, in razporeditvi vodnikov na stebrih DV. 110 kV DV, ki v Sloveniji po številu in dolžini presegajo 220 in 400 kV DV, se ne uporabljajo za prenos električne energije, ampak za njeno distribucijo – dobavo do končnih uporabnikov.

Glede na število sistemov poznamo enosistemske in dvosistemske DV. Pri enosistemskih DV je na stebru nameščen en trifazni sistem, ki ga sestavljajo trije vodniki, ki so pod napetostjo in po katerih teče električni tok. Vsi trije vodniki so priključeni na enako visoko napetost in po njih teče enako velik tok, razlika pa je v fazi valovanja v posameznem vodniku. V Sloveniji se uporablja izmenični tok 50 Hz, kar pomeni, da v vodnikih tok in napetost nihata sinusno in 50 krat v sekundi zamenjata svojo smer. V vseh treh vodnikih, ki skupaj tvorijo en trifazni sistem, pa se tokovi in napetosti razlikujejo v tem, da so med seboj časovno zamaknjene za 120° , zato je njihova vsota v vsakem trenutku enaka ali zelo blizu 0.

Če je pri enosistemskem DV na enem stebru nameščen en trifazni sistem, pa sta pri dvosistemskem DV nameščena dva trifazna sistema, zato dvosistemski DV omogoča dvakrat večji prenos električne energije. Poleg vodnikov, ki so del trifaznega sistema, so na DV stebrih nameščeni tudi zaščitni vodniki, običajno eden ali dva, ki so namenjeni odvajanju strele.

DV se razen po nazivni napetosti in po številu nameščenih sistemov razlikujejo tudi po razporeditvi vodnikov. Za enosistemske visokonapetostne DV se uporabljajo stebri tipa jelka in Y, za dvosistemske pa tipa sod in donava.



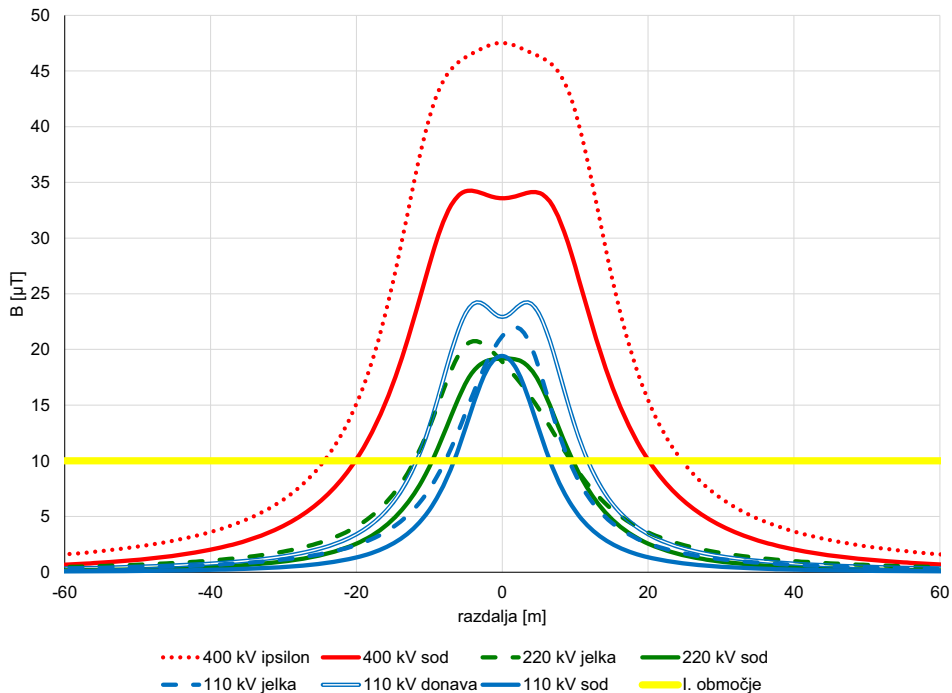
Slika 7.5: Potek vrednosti NF EP na višini 1 m nad tlemi za različne tipe DV. Rumena črta prikazuje mejno vrednost za I. območje varstva pred sevanji. Razdalja, pri kateri potek vrednosti NF EP seka rumeno črto, podaja velikost vplivnega območja za EP.

Kakor je razvidno iz primerjave slik 7.5 in 7.6 je velikost vplivnega območja za vse DV večja za EP kot za MP. V tabeli tabeli 1 so za DV iz slik 7.5 in 7.6 podane velikosti vplivnih območij v metrih.

Tabela 7.1: Velikost vplivnega območja za različne tipe DV.

nazivna napetost [kV]	tip DV	velikost vplivnega območja za EP [m]	velikost vplivnega območja za MP [m]
400	enosistemski ipsilon	37	24
400	dvosistemski sod	33	20
220	enosistemski jelka	23	12
220	dvosistemski sod	16	10
110	enosistemski jelka	13	9
110	dvosistemski donava	18	12
110	dvosistemski sod	9	7

Pri velikosti vplivnih območij je potrebno poudariti, da med DV istega tipa in



Slika 7.6: Potek vrednosti NF MP na višini 1 m nad tlemi za različne tipe DV. Rumena črta prikazuje mejno vrednost za I. območje varstva pred sevanji. Razdalja, pri kateri potek vrednosti NF MP seka rumeno črto, podaja velikost vplivnega območja za MP.

nazivne napetosti obstajajo razlike. Za določen tip DV stebra namreč obstaja več različnih konstrukcij, ki se nekoliko razlikujejo po točni legi posameznih vodnikov ter njihovi medsebojni razdalji. Zato je pri določanju vplivnega območja točno določenega DV potrebno upoštevati podrobne podatke o geometriji DV stebrov in izračune opraviti za realne podatke o DV stebrih in ne zgolj na podlagi tipa stebra. So pa razlike v velikosti vplivnih območij med različnimi konstrukcijami enega tipa DV stebra (npr. razlike med različnimi konstrukcijami 110 kV DV tipa sod) bistveno manjše kot med različnimi tipi DV stebra (razlika med 110 kV DV tipa sod in tipa jelka).

7.2.2 Kablovodi

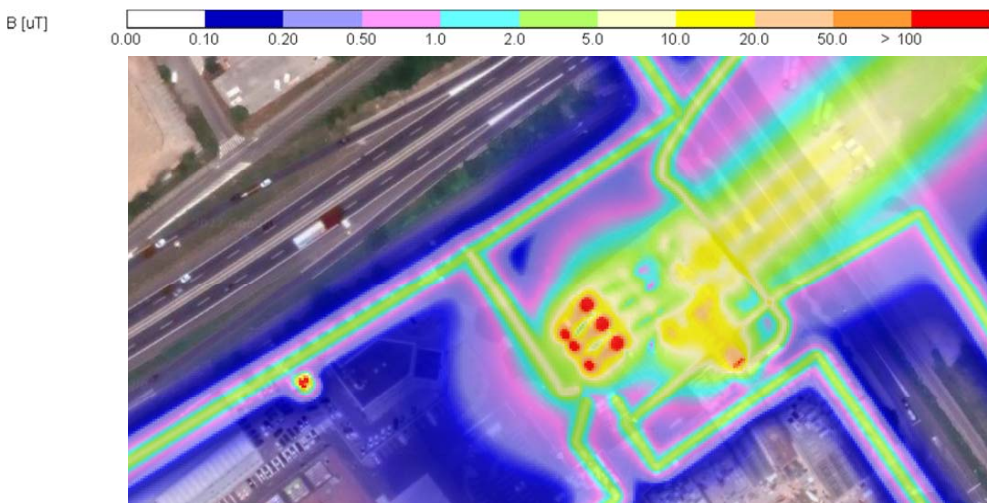
Kablovodi so električni vodi, ki potekajo pod zemljo in se tako kot DV uporabljajo za prenos električne energije. Kablovodi so bolj razširjeni pri nižjih napetostnih nivojih, predvsem pri 0,4 kV, 10 kV in 20 kV, pri 110 kV se uporabljajo redko, pri višjih napetostnih nivojih pa se kablovodi ne uporabljajo.

Kablovodi povzročajo bistveno manjša EP kot DV, saj so vodniki izolirani in običajno tudi oklopljeni ter položeni pod zemljo, zato je EP DV zanemarljivo. Tudi MP kablovoda je na isti oddaljenosti manjše od MP DV, po drugi strani pa so lahko njegove vrednosti tik nad kablovodom višje kot tik pod DV, saj je kablovod vkopan na globini med 0,7 in 1,0 m, vodniki DV pa so nameščeni na višini več metrov nad tlemi.

7.2.3 Razdelilne transformatorske postaje

Sestavni del električnega omrežja so tudi transformatorske in razdelilne transformatorske postaje, ki pretvarjajo električno energijo pri visoki napetosti v električno energijo pri nižji napetosti ali obratno. Glavni del takšne postaje je transformator, ki električno energijo pri eni napetosti pretvarja v električno energijo pri drugi napetosti in tako povezuje električna omrežja različnih napetostnih nivojev. Razdelilne transformatorske postaje povezujejo prenosno elektroenergetsko omrežje na napetostnih nivojih 110, 220 in 400 kV, z distribucijskim omrežjem na 10 ali 20 kV. Njihove moči so od nekaj MVA do več deset MVA.

Predpisane mejne vrednosti za I. območje varstva so v okolici razdelilne transformatorske postaje presežene le v omejenem območju znotraj ograje (slika 7.7). Izven ograjenega območja so lahko presežene v bližini DV in kablovodov, ki so povezani v razdelilno transformatorsko postajo.

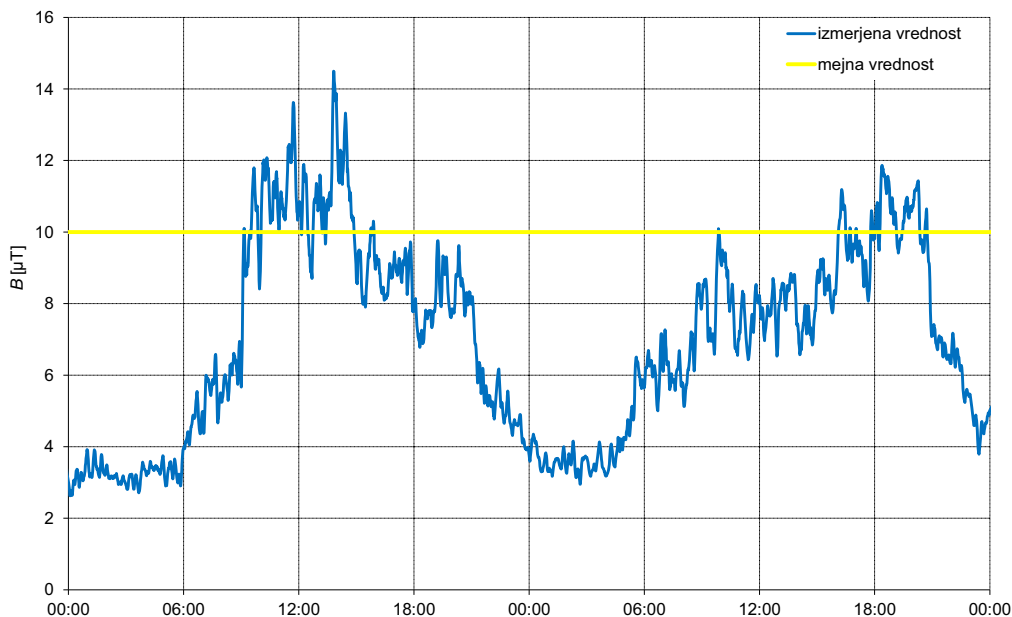


Slika 7.7: Vrednosti NF MP na višini 1 m nad tlemi v okolici razdelilne transformatorske postaje. Razvidno je, da so najpomembnejši vir NF MP električni vodi, ki v razdelilno transformatorsko postajo vstopajo oziroma iz nje izstopajo.

7.2.4 Transformatorske postaje

Transformatorske postaje so po funkciji podobne razdelilnim transformatorskim postajam, le da delujejo na nižjih napetostnih nivojih, saj povezujejo srednjena-petostno omrežje (10 in 20 kV) z nizkonapetostnim (0,4 kV). Transformatorske postaje se med seboj razlikujejo glede na izvedbo, saj so lahko izvedene kot samo-stojni manjši objekt (grajen ali montažen), vgrajene v drug večji objekt, na pode-želju pa velikokrat srečamo transformatorske postaje, nameščene na DV stebre.

Vrednosti NF MP v okolici tipične transformatorske postaje moči 630 kVA so že na razdalji večji od 5 m nižje od zakonsko določenih mejnih vrednosti za I. območje varstva pred EMS. Vrednosti NF EP transformatorske postaje so praktično zanemarljive, saj naprave delujejo pri razmeroma nizki napetosti, poteg tega pa so naprave oklopljene in ozemljene. Oddaljenosti, ki so manjše od 5 m, si zaslužijo dodatno pozornost in natančnejše meritve. Še posebej je pomembno preučiti izpostavljenosti v primeru, ko je transformatorska postaja umešča v stano-vanjski objekt in ne v ločeno, več metrov oddaljen samostojen objekt. V primeru nepravilne namestitve so lahko v stanovanjih tik ob ali tik nad transformatorsko postajo prisotne povišane vrednosti NF MP (slika 7.8).



Slika 7.8: Potek vrednosti NF MP v stanovanju nad transformatorsko postajo, ki napaja stanovanjsko območje. Viden je značilen dnevni potek vrednosti NF MP, ki so najnižje ponoči, najvišje pa popoldne in v večernih urah. Opazna je razlika med prvim dne, ki je bil nedelja, in so bile najvišje vrednosti dosežene že popoldne, ter drugim dnev, ko so bile najvišje vrednosti dosežene na večer.

7.2.5 Elektrarne

Elektrarne so naprave za proizvodnjo električne energije. Glede na način pridobivanja električne energije poznamo različne elektrarne, kot so hidroelektrarne, termoelektrarne, jedrske elektrarne, vetrne elektrarne... Pri vseh prej omenjenih elektrarnah je glavna naprava, ki proizvaja električno energijo, generator, elektrarne pa se razlikujejo po viru energije, ki zagotavlja vrtenje generatorja. Naprave znotraj elektrarne, ki povzročajo NF EP in MP so poleg generatorjev še transformatorji, stikalne naprave, črpalke, vse električne povezave ter spremljajoča električna oprema. Vsa ta oprema pa je običajno več 10 m oddaljena od javno dostopnih površin, zato tudi za elektrarne podobno kot za razdelilno transformatorske postaje velja, da so bolj kot sama elektrarna in naprave v njej za vrednosti NF EP in MP v njihovi okolici pomembni priključni vodi, ki vanjo vstopajo, še posebej, če so to DV. Običajno so namreč tako NF EP kot tudi NF MP naprav, ki so nameščene v elektrarni, na območju izven elektrarne majhne in nižje od vrednosti, ki jih tam povzročajo priključni vodi.

Od vseh prej opisanih elektrarn se nekoliko razlikujejo sončne elektrarne. Sončno elektrarno sestavlja več naprav oziroma sklopov, ki se glede na EP in MP, ki jih povzročajo, med seboj precej razlikujejo.

Prvi sklop so sončne celice. V sončnih celicah se pod vplivom sončnih žarkov pojavi enosmerna napetost in po njih teče enosmerni tok. Z vidika izpostavljenosti enosmerni tokovi povzročajo statično MP, enosmerna napetost pa statično EP. Za tovrstna polja se biološki učinki pojavijo pri zelo visokih vrednostih, posledično so tudi mejne vrednosti visoke, za statična EP pa jih celo ni. Tudi sicer stalno živimo v statičnem zemeljskem MP. Zato so izpostavljenosti, ki jih povzročajo same sončne celice, bistveno nižje od mejnih vrednosti in zato nepomembne.

Podobno velja tudi za kable, ki potekajo od sončnih celic do razsmernika. Tudi po teh kabliah tečejo enosmerni tokovi, ki so sicer lahko kar veliki, vendar povzročajo statično MP, ki je tudi v neposredni bližini kablov bistveno nižje od mejnih vrednosti. Vrednosti statičnega EP so zaradi nizkih napetosti zanemarljive.

Tretji sklop so razsmerniki, ki enosmerno napetost sončnih celic pretvarjajo v izmenično napetost frekvenca 50 Hz, kolikor znaša frekvenca v našem električnem omrežju. Razsmerniki sicer povzročajo EP in MP v širšem spektru nizkih in srednjih frekvenc, vendar do sedaj izvedene meritve kažejo, da so izpostavljenosti zaradi razsmernikov nizke. Vseeno se priporoča, da se razsmerniki namestijo vsaj 1 m od območij, kjer se zadržujemo dalj časa (spalnice, otroške sobe, dnevna soba...).

Zadnji sklop je priključni kabel, s katerim je sončna elektrarna priključena v

električno omrežje in poteka od razsmernikov do električne omarice in nato naprej do električnega omrežja. Po kablilih tečejo izmenični tokovi frekvence 50 Hz pri napetosti 240 V. Tokovi so tudi za manjše hišne sončne elektrarne razmeroma veliki (več 10 A), zato je v njihovi okolici prisotno znatno NF MP. Zato tudi za priključni kabel priporočamo, da se namesti vsaj 1 m od območij, kjer se zadržujemo dalj časa (spalnice, otroške sobe, dnevna soba...). Vrednosti NF EP so zaradi nizkih napetosti zanemarljive.

Potrebno je poudariti, da je NF MP, ki ga povzročajo sklopi sončne elektrarne, prisotno samo takrat, ko sončna elektrarna obratuje. Ponoči, ko je njena moč praktično nič, je tudi NF MP, ki ga povzročajo vsi njeni sklopi, zanemarljivo. Ko pa sončna elektrarna deluje, je vrednost NF MP sorazmerna trenutni moči sončne elektrarne in je torej največja takrat, ko sončna elektrarna deluje pri največji moči. NF EP, ki ga povzročajo sklopi sončne elektrarne, se z obremenitvijo sončne elektrarne ne spreminja in je prisotno ves čas, vendar pa je zaradi nizkih napetosti majhno in posledično nepomembno.

7.3 E-KARTA NF MP

Poleg obstoječe E-karte visokofrekvenčnih EMS, ki je javno dostopna že od leta 2013 in redno posodabljana, je bila nedavno razvita in pripravljena tudi E-karta NF MP. E-karta je spletna aplikacija, ki širši javnosti omogočajo dostop do podatkov o obremenjenosti okolja z NF MP in visokofrekvenčnimi EMS (www.inis.si). Karta prikazuje NF MP zaradi delovanja vseh visokonapetostnih DV na območju celotne Slovenije. Tovrstne javne E-karte o izpostavljenosti nizko ali visokofrekvenčnim elektromagnetnim poljem za območje države po dostopnih podatkih nima še nobena druga država na svetu.

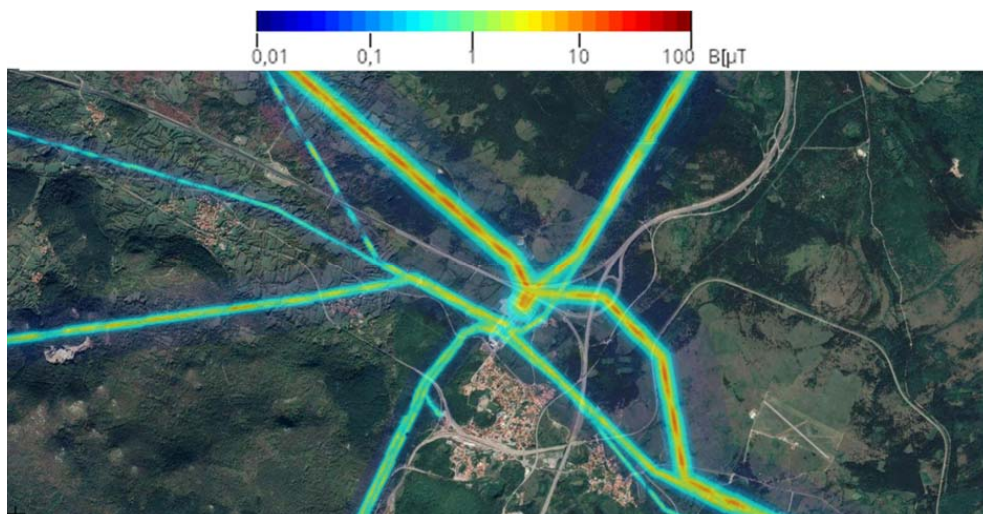
Pri izračunu so upoštevani vsi pomembnejši viri NF MP, to so vsi 400 kV, 220 kV in 110 kV DV in kablovodi v Sloveniji. Za pripravo karte so bili zbrani tehnični podatki ter podatki o obremenitvah vseh visokonapetostnih DV v Sloveniji, in sicer skupno za (slika 7.9):

- več kot 650 km 400 kV DV,
- več kot 300 km 220 kV DV,
- več kot 2600 km 110 kV DV ter
- približno 25 km 110 kV kablovodov.



Slika 7.9: Potek VN vodov, ki so bili upoštevani pri izračunu. Z rdečo barvo so prikazani 400 kV DV, z zeleno 220 kV DV in z modro 110 kV DV in kablovodi.

Poleg podrobnih tehničnih podatkov o DV in kablovodih, kot so tip in višina vsakega DV stebra, razpored vodnikov, višina vodnikov nad tlemi (natančnost podatka 1 m) je bil pri izračunu upoštevan tudi relief terena. Pri izračunu niso bili upoštevani vsi vodi napetostnega nivoja manj kot 110 kV ter transformatorske postaje in razdelilne transformatorske postaje. Za pripravo E-karte NF MP so bile razvite nove metode izračuna, ki so omogočale izračun vrednosti NF MP na tako velikem območju (Valič et al. 2021, Valič et al. 2022). Na karti so prikazane vrednosti MP, izražene v odstotkih mejnih vrednosti za II. območje varstva pred sevanji za povprečne obremenitve DV v obdobju od 1. 1. 2006 do 31. 12. 2017 (slika 7.10).



Slika 7.10: Vrednosti NF MP v E-karti NF MP v okolici razdelilne transformatorske postaje Divača.

Rezultati izračunov kažejo, da so povprečne vrednosti NF MP povišane na majhnem območju Slovenije, saj le na približno 190 kvadratnih kilometrih oziroma manj kot enem odstotku ozemlja Slovenije povprečna vrednost NF MP znaša $0,1 \mu\text{T}$ ali več, na 73 kvadratnih kilometrih oziroma približno tretjini odstotka površine Slovenije znaša vrednost $0,4 \mu\text{T}$ ali več. Najvišja vrednost znaša manj kot $15 \mu\text{T}$. Mejne vrednosti za II. območje varstva pred sevanji znašajo $100 \mu\text{T}$ in za I. območje varstva pred sevanji $10 \mu\text{T}$.

7.4 LITERATURA

- Gajšek P, Valič B. Naprave za distribucijo električne energije. Forum EMS, Ljubljana 2014.
- Ministrstvo za okolje in prostor RS. Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu za vire elektromagnetnega sevanja ter o pogojih za njihovo izvajanje, UL RS 70/96, 1996.
- Ministrstvo za okolje in prostor RS. Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju, UL RS 70/96, 1996.
- Valič B, Gajšek P. Analiza variant sanacije transformatorske postaje, nameščene v stanovanjskem objektu. 9. konferenca slovenskih energetikov, 25. – 27. maj 2009, Kranjska Gora, Slovenija, 2009.
- Valič B, Gajšek P. Povprečne obremenitve daljnovodov v Sloveniji: trendi zadnjih 10 let. 14. konferenca slovenskih energetikov, 21. – 23. maj 2021, Laško, Slovenija, 2019.
- Valič B, Gajšek P. Povprečne vrednosti magnetnega polja na območju Slovenije zaradi obratovanja VN daljnovodov. 15. konferenca slovenskih energetikov, 19. – 21. oktober 2021, Laško, Slovenija, 2021.
- Valič B, Gajšek P. Average Values of ELF MF due to HV Power Lines in Slovenia. Bioem 2022, 19 – 24. junij 2022, Nagoya, Japonska, 2022.



8 Proces umeščanja in načrtovanja daljnovodov v prostoru

Marko Fatur
LUZ d. d., Ljubljana

8.1 UVOD

Postopki umeščanja, podrobnejšega načrtovanja in dovoljevanja obsežnejših oziroma pomembnejših energetskih objektov so bili že doslej zaradi svojega vpliva na prostor in okolje vedno deležni posebne skrbi in pozornosti. Kljub natančnim zakonskim predpisom in dolgoletnim izkušnjam z umeščanjem zahtevnih objektov v prostor pa se tako v Sloveniji kot tudi sicer v razvitem svetu zaradi vse večjega zanimanja in družbene aktivnosti prebivalcev, civilne družbe in lokalnih skupnosti stalno soočamo s praviloma negativnimi odzivi na umeščanje objektov s pomembnejšimi vplivi, med njimi predvsem daljnovodov (v nadaljevanju DV) in razdelilnih transformatorskih postaj (v nadaljevanju RTP) ter vodnih in vetrnih elektrarn v prostor. DV in RTP nazivne napetosti 110 kV in več (v nadaljevanju VN DV omrežje ali VN DV in RTP¹) se namreč v večini primerov še vedno načrtujejo v nadzemni izvedbi, zato so vizualno izpostavljeni in povzročajo omejitve v prostoru, v javnosti pa je stalno prisoten strah pred elektromagnetnim poljem (v nadaljevanju EMP). Kombinacija obeh dejavnikov ob vrsti dodatnih pomislekov bistveno znižuje možnosti za optimalne rešitve in za učinkovito umeščanje DV v prostor.

V prispevku želimo osvetliti postopke za umeščanje, načrtovanje in dovoljevanje gradnje elektroenergetskih objektov, predvsem VN DV in RTP ter opredeliti vzroke za razmeroma slabo družbeno sprejemljivost teh objektov. Z upoštevanjem sodobnih principov načrtovanja in odločanja, vključevanja in sodelovanja

¹ V prispevku se uporablja izraz »VN DV« kot sopomenko za »nadzemni DV« in »podzemni kabelski sistem«. V primerih, kjer bo govora o posameznem načinu izvedbe VN DV (podzemni, nadzemni), bodo uporabljeni izrazi »nadzemni vod« in »podzemni kabel«.

javnosti, nekaterih postopkovnih izboljšav ter primerov dobrih praks pa bi bilo mogoče pri umeščanju VN DV in RTP v prostor storiti nekaj dodatnih korakov v smeri njihove večje sprejemljivosti. S tem bo zagotovljen tudi učinkovitejši pristop h gradnji oziroma obnovi slovenskega prenosnega elektroenergetskega sistema, ki je nujna podstat našemu celotnemu energetskega in gospodarskega sistema. Slovenija bo namreč le s sodobnim (novim oziroma obnovljenim) ter okoljsko in družbeno sprejemljivim elektroenergetskim omrežjem lahko kos izzivom prehoda v nizkoogljično družbo, temelječo na krožnem gospodarstvu, zmanjšanju izpustov toplogrednih plinov, učinkoviti rabi energije in uporabi obnovljivih virov energije.

8.2 UMEŠČANJE, NAČRTOVANJE IN DOVOLJEVANJE GRADNJE DV

Vsi načrtovani energetske objekti morajo biti opredeljeni v sektorskih razvojnih dokumentih, saj jim le-ti dajejo potrebno vsebinsko legitimnost (obstoj potrebe). S postopki in akti, s katerimi umeščamo, načrtujemo in dovoljujemo te objekte, pa jim je podana prostorska dimenzija – lokacija teh objektov in pogoji, pod katerimi se jih lahko izvede.

8.2.1 Sektorski razvojni dokumenti

Načrtovanje VN DV omrežja mora biti najprej utemeljeno v sektorskih razvojnih dokumentih, ki jih opredeljujeta Energetski zakon² in Zakon o oskrbi z električno energijo³. Kot ključna sektorska razvojna dokumenta sta v Energetskem zakonu določena Energetski koncept Slovenije⁴ in Nacionalni energetski in podnebni načrt⁵; prvi je trenutno še v postopku priprave, drugi pa je bil sprejet februarja 2020. Z Energetskim konceptom Slovenije se za dvajsetletno obdobje določi projekcija energetske bilance, cilji pri oskrbi in ravnanju z energijo ter ukrepi za doseganje teh ciljev in obveznosti glede obnovljivih virov energije, za izvedbo Energetskega koncepta pa se sprejmejo akcijski načrti ali operativni programi za

2 Energetski zakon (Uradni list RS, št. 17/14, 81/15, 43/19, 60/19, 65/20, 158/20 – ZURE, 121/21 – ZSRO-VE, 172/21 – ZOEE, 204/21 – ZOP in 44/22 – ZOTDS).

3 Zakon o oskrbi z električno energijo (Uradni list RS, št. 172/21).

4 Energetski koncept Slovenije pripravi Vlada RS, z resolucijo pa sprejme Državni zbor RS.

5 Nacionalni energetski in podnebni načrt pripravi pristojno ministrstvo, sprejme pa Vlada RS.

oskrbo oziroma rabo energije. Nacionalni energetske in podnebni načrt pa je državni akcijsko-strateški dokument, ki (trenutno) za obdobje do leta 2030 (s pogledom do 2040) določa cilje, politike in ukrepe na temeljnih energetskih področjih; ti so: razogljičenje, energetska učinkovitost, energetska varnost, notranji trg ter raziskave, inovacije in konkurenčnost. Nacionalni energetske in podnebni načrt posebej poudarja pomen razvoja omrežja za prenos in distribucijo električne energije; ta je opredeljen kot temelj prehoda v podnebno nevtralno družbo in pospešeno vključevanje naprav za proizvodnjo energije iz obnovljivih virov, prilagajanje proizvodnje in odjema, večjo povezljivost in uvajanje e-mobilnosti, vse s ciljem povečanja zmogljivosti omrežja, odpornosti proti motnjam, naprednosti ter izkoriščanjem prožnosti virov in bremen elektrodistribucijskega omrežja v skladu s trajnostnimi potrebami uporabnikov elektroenergetskega sistema. Oba dokumenta sta sicer strateškega značaja in jima zato manjka operativna in izvedbena komponenta, da bi lahko odražala v operativnih podrejenih dokumentih.

Operativni oziroma izvedbeni sektorski vidik razvoja elektroenergetskega omrežja v RS v Zakonu o oskrbi z električno energijo določata razvojna načrta prenosnega⁶ in distribucijskega⁷ sistema električne energije, ki ju pripravita sistemska operaterja prenosa električne energije (ELES d.o.o.) in distribucije električne energije (SODO, d.o.o.), potrdi pa Agencija za energijo kot nacionalni regulativni organ na področju trga z energijo.

8.2.2 Prostorski akti za umeščanje objektov sistema električne energije v prostor

DV in RTP napetostnega nivoja 110 kV in več so skladno z Zakonom o urejanju prostora (Uradni list RS, št. 199/21) (v nadaljevanju: ZUreP-3)⁸ objekti državnega pomena, ki se umeščajo v prostor s postopki državnega prostorskega načrtovanja; ti so lahko različni:

- umeščanje in načrtovanje prostorske ureditve državnega pomena, ki se zaključijo s sprejetjem državnega prostorskega načrta. Podrobnejše načrtovanje se izvede s postopkom izdelave dokumentacije za pridobitev integralnega (če gre za objekt z vplivi na okolje) oziroma gradbenega

⁶ Trenutno veljavni dokument je Razvojni načrt prenosnega sistema Republike Slovenije za obdobje 2021–2030, ELES d.o.o.

⁷ Trenutno veljavni dokument je Razvojni načrt distribucijskega sistema Republike Slovenije za obdobje 2021–2030, SODO d.o.o.

⁸ ZUreP-3 se uporablja od 1. 6. 2022.

dovoljenja. Ta postopek je (bil) običajno uporabljen za načrtovanje elektroenergetskih prostorskih ureditev državnega pomena nekaj desetletij, vse do junija 2018, ko se je začel uporabljati ZUreP-2, ki je omogočil umeščanje po združenem postopku iz naslednje alineje;

- umeščanje, ki se zaključí s sprejetjem uredbe o najustreznejši varianti ter podrobnejše načrtovanje in dovoljevanje prostorske ureditve državnega pomena, ki se zaključí z izdajo celovitega dovoljenja in sprejetjem uredbe o državnem prostorskem ureditvenem načrtu (v nadaljevanju: združeni postopek). Ta postopek je bil uveljavljen (sicer redke) za elektroenergetske prostorske ureditve državnega pomena, ki so bili začeti po juniju 2018;
- podrobnejše načrtovanje in dovoljevanje prostorske ureditve državnega pomena, ki se zaključí z izdajo celovitega dovoljenja in sprejetjem uredbe o državnem prostorskem ureditvenem načrtu (v nadaljevanju: delni združen postopek), če je za prostorsko ureditev že sprejeta uredba o najustreznejši varianti ali pa je prostorska ureditev lokacijsko že določena v zakonu ali razvojnem dokumentu države. Ta postopek bo uporabljen predvsem v primerih, ko se bo bodisi načrtovalo manjše spremembe prostorskih ureditev državnega pomena bodisi bo del umeščanja/načrtovanja predhodno že izveden (npr. izbrana najustreznejša varianta, ureditev že določena v drugem zakonu ali strateškem oziroma izvedbenem sektorskem dokumentu).

Umeščanje prostorskih ureditev državnega pomena v prostor se lahko izvede tudi z občinskimi prostorskimi izvedbenimi akti skupnega pomena, če je za to sklenjen dogovor med pristojnim ministrstvom za to ureditev in občino, ki ob sodelovanju ministrstva, pristojnega za ureditev in ministrstva, pristojnega za državno prostorsko načrtovanje, vodi postopek priprave in sprejemanja prostorskega akta. V praksi se ta institut uporablja predvsem za ureditve, ki potekajo znotraj območja ene občine in so praviloma manjšega obsega (kot državni/regionalni objekti) ali pa imajo manjše vplive na okolje in prostor (med energetskimi objekti so to npr. podzemni kablovod v urbanem območju, RTP s plinsko izoliranim stikališčem...). Pri tem ni nepomembno, da praviloma postopki skupnega pomena na občinski ravni potekajo bistveno hitreje kot postopki državnega prostorskega načrtovanja, predvsem zaradi angažiranja lokalne skupnosti, ki je pri takšni prostorski ureditvi bistvenega pomena. Kljub temu so tovrstni postopki za pomembnejše energetske objekte zgolj izjeme in ne pravilo (z državnim prostorskim načrtovanjem

se verjetno izvede več kot 90 % vseh državnih prostorskih ureditev⁹), zato se v nadaljevanju osredotočamo samo na postopke in procese umeščanja in načrtovanja z državnimi prostorskimi akti.

Vsako umeščanje elektroenergetskega objekta državnega pomena mora praviloma temeljiti na državnem sektorskem ((elektro)energetskem) razvojnem dokumentu, v katerem so podani cilji in razlogi za njihovo umeščanje oziroma gradnjo. Šele na tej podlagi se lahko izvede postopek umeščanja in načrtovanja, ki po potrebi (če gre za objekt, ki bi lahko pomembno vplival na okolje) vključuje tudi postopek (celovite) presoje vplivov na okolje, ki se zaključi s postopkom dovoljevanja gradnje z integralnim, gradbenim ali celovitim dovoljenjem (za gradnjo). S prostorskimi izvedbenimi akti ideje, koncepti, usmeritve itd. v sektorskih in strateških dokumentih pridobijo svojo izvedbeno komponento. Pri tem sta pomembni predvsem umestitev v prostor (določitev lokacije – odgovor na vprašanje: kje, kam?) in uskladitev z drugimi rabami prostora (pogoji za gradnjo – odgovor na vprašanje: kako?).

Glede na določila ZUreP-3 se vsi VN DV in RTP načrtujejo z državnimi prostorskimi akti¹⁰. Osnova za umeščanje v prostor in dovoljevanje gradnje so izvedbeni prostorski akti, ki so praviloma državni prostorski načrt ter uredba o najustreznejši varianti in uredba o državnem prostorskem ureditvenem načrtu, lahko pa tudi občinski prostorski načrt (v nadaljevanju: OPN) ali občinski podrobnejši prostorski načrt (v nadaljevanju: OPPN) skupnega pomena. V vseh primerih mora biti izvedbeni akt podrejen oziroma skladen z nadrejenim prostorskim aktom; v primeru državnega prostorskega načrtovanja sta to Strategija prostorskega razvoja Slovenije (v nadaljevanju: SPRS) in Prostorski red Slovenije (v nadaljevanju: PRS), v primeru OPN ali OPPN pa strateški del občinskega prostorskega načrta oziroma občinski prostorski plan ali regionalni prostorski plan. Ob tem je treba poudariti, da je že od junija 2018 z začetkom uporabe ZUreP-2 predvidena izdelava regionalnega prostorskega plana oziroma občinskega prostorskega plana, vendar do danes ni bil sprejet še noben tovrstni načrt).

SPRS in PRS¹¹ sta torej kot temeljna strateška prostorska dokumenta ki na podlagi katerih bo mogoče z upoštevanjem (elektro)energetskih sektorskih

9 Podrobnejša analiza ne obstaja, vendar je ključni razlog za izvedbo DPN na državni ravni praviloma večji (dolžinski, površinski) obseg ureditev državnega pomena (večinski delež prostorskih ureditev državnega pomena je linijskih infrastrukturnih objektov, ki praviloma posegajo na območje več občin hkrati).

10 Do junija 2022 je sicer veljalo, da mora biti elektroenergetski objekt državnega pomena hkrati tudi dolžine vsaj 1 km, zadnja zakonska sprememba (ZUreP-3) pa je to spremenila. Z vidika praktičnosti je to pomembna sprememba, saj je bilo možno doslej v primeru krajših odsekov takšne vode načrtovati z občinskimi akti brez vključevanja postopkov državnega načrtovanja, kar je bistveno skrajšalo postopke; sedaj to ni več možno.

11 Trenutno je sicer v pripravi novelacija obeh dokumentov

dokumentov (EKS, NEPS, 10-letna razvojna načrta ELES in SODO) umestiti ključne energetske objekte v prostor, za preostale pa podajata cilje in usmeritve za načrtovanje, ki bodo osnova za prostorsko načrtovanje na izvedbeni ravni, pa naj gre za državno prostorsko načrtovanje ali pa za postopke priprave občinskih izvedbenih aktov skupnega pomena.

Državni prostorski načrt (v nadaljevanju: DPN) določi:

- načrtovano prostorsko ureditev (npr. VN DV in RTP, vse za prostorsko umeščanje relevantne tehnične podatke),
- območje DPN, znotraj katerega bo izvedena gradnja in bodo v času gradnje in obratovanja lahko nastali vplivi na okolje, zato se znotraj tega območja izvedejo tudi vsi potrebni (predpisani) omilitveni ukrepi,
- prostorske izvedbene pogoje za graditev in izvedbo načrtovane prostorske ureditve in drugih posegov v tem območju, ki določajo, na kakšen način se ti izvedejo ter
- usmeritve za določitev namenske rabe prostora v občinskih prostorskih izvedbenih aktih, ki določajo, pod kakšnimi pogoji se urejanje prostor na območju in v neposredni bližini DV ali RTP.

DPN se izdelata na podlagi pobude pristojnega ministra, smernic nosilcev urejanja prostora, pripomb in pobud zainteresirane javnosti ter vladnega sklepa o državnem prostorskem načrtovanju. Rešitve v DPN temeljijo na strokovnih (tehničnih) podlag, študiji variant s predlogom najustreznejše variante ter okoljskem poročilu kot podlagi za celovito presojo vplivov na okolje, upoštevana pa so tudi stališča do pripomb in predlogov javnosti iz javne razgrnitve ter iz mnenj nosilcev urejanja prostora. DPN je neposredna podlaga za pripravo tehnične projektne dokumentacije za izdajo integralnega (če gre za poseg z vplivi na okolje) oziroma gradbenega dovoljenja za poseg v prostor. DPN sprejme Vlada RS z uredbo.

Uredba o najustreznejši varianti je končni rezultat študije variant s predlogom najustreznejše variante in določi zasnovo izbrane variante oz. najustreznejše rešitve načrtovane prostorske ureditve in njeno območje (to je območje gradnje in morebitnih vplivov ter ukrepov). Določijo se lahko tudi omejitve in dopustni posegi v tem območju, (predvsem z namenom, da ne bi določeni posegi, ki bi bili sicer po občinskih prostorskih aktih dopustni, dolgoročno onemogočili izvedbe načrtovane državne prostorske ureditve). V uredbi o najustreznejši varianti se lahko določi tudi območje predkupne pravice države za čim prejšnjo določitev

območja posega bodoče ureditve. Uredba o najustreznejši varianti je (v sklopu združenega postopka) osnova za izdelavo tehnične, okoljske in prostorske dokumentacije za pridobitev celovitega dovoljenja za gradnjo in državnega prostorskega ureditvenega načrta. Treba se je zavedati, da uredba o najustreznejši varianti ni prostorski izvedbeni dokument in je na njeni podlagi mogoča le izvedba določenih pripravljalnih del (npr. raziskave, meritve itd.). Če za določeno prostorsko ureditev ni možnih več izvedljivih rešitev, se študijo variant in uredbo o najustreznejši varianti lahko izvede tudi samo za eno rešitev, ki se v tem dokumentu podrobno utemelji.

Državni prostorski ureditveni načrt določi varovano območje prostorske ureditve državnega pomena, za katero je izdano celovito dovoljenje. Ta uredba varuje prostor pred spreminjanjem in dopolnjevanjem veljavnih ter sprejetjem novih občinskih prostorskih izvedbenih aktov in sorodnih predpisov, da se z njihovo pripravo ne onemogoči izvedba načrtovane državne prostorske ureditve. Zato se v državnem prostorskem ureditvenem načrtu določijo prostorski izvedbeni pogoji za izvedbo načrtovane državne prostorske ureditve ter usmeritve za določitev namenske rabe prostora v občinskih prostorskih izvedbenih aktih. Državni prostorski ureditveni načrt je vzporedni in dopolnjujoči dokument hkrati izdanemu celovitemu dovoljenju, ki ga je nova zakonodaja v letu 2018¹² prinesla kot ključno spremembo. Kot bistveno prednost postopka se ocenjuje možnost pridobitve pravice graditi na zemljiščih (v kolikor jih ni pridobil že prej), ki jih potrebuje investitor za gradnjo državne prostorske ureditve, šele po pridobitvi celovitega (gradbenega) dovoljenja – pravico razpolaganja zemljišča mora investitor državne prostorske ureditve po izdanem celovitem dovoljenju pridobiti do faze prijave začetka gradnje (te državne prostorske ureditve). V Sloveniji prakse z državnimi prostorskimi ureditvenimi načrti sicer še nimamo, saj se združeni postopek uporablja šele od junija 2018, in doslej še noben postopek, začel po tem datumu, ni bil dokončan. Tako kot DPN tudi Uredbo o najustreznejši varianti in o Državnem prostorskem ureditvenem načrtu sprejme Vlada RS z uredbo.

Ne glede na doslej navedeno pa je treba pri umeščanju VN DV in RTP v prostor na strateški ravni v bodoče omeniti še **regionalne prostorske plane**, s katerih izdelava se sicer še nikjer v Sloveniji ni začela (čeprav se je ZUreP-2 začel izvajati že junija 2018). Regionalni prostorski plan (sprejme ga Razvojni svet regije po vnaprejšnji potrditvi Vlade RS in Sveta regije) bo namreč prinesel usmeritve za prostorski razvoj vsake regije, predvsem usmeritve za razvoj poselitve, razvoj

¹² ZUreP-2.

gospodarske javne infrastrukture in urejanje krajine. Najpomembnejše pa je, da naj bi se v regionalnem prostorskem planu uskladile zasnove prostorskih ureditev državnega pomena, tako da bi se ob njegovi pripravi opravila vsaj predhodno vrednotenje in utemeljitev možnih variant, opredelili predlogi izvedljivih variant in predložile usmeritve za njihovo prostorsko načrtovanje. Te so podlaga za izvedbo postopkov državnega prostorskega načrtovanja po delno združenem postopku z možnostjo izdelave predloga najustrežnejše variante za prostorsko ureditev iz regionalnega prostorskega plana. Zato bodo regionalni prostorski plani v prihodnosti pomembno in obetavno orodje načrtovanja tudi elektroenergetskih objektov napetostnega nivoja najmanj 110 kV.

Seveda pa je glavna ovira pri regionalnem prostorskem načrtovanju odsotnost administrativne regionalne ravni: samo dogovorni principi načrtovanja niso nujno dovolj za najprej uskladitev in sklenitev razvojnega dogovora () in nato še za dejansko izvedbo. Glede na ZUreP-3 bi morali biti regionalni prostorski plani sprejeti do leta 2027, kar pa je že prestavljeni datum iz ZUreP-2, ki je v ta namen določil začetek leta 2023!

8.2.3 Postopek umeščanja v prostor, podrobnejšega načrtovanja in dovoljevanja objektov sistema električne energije

Za razumevanje kompleksnosti umeščanja, načrtovanja in dovoljevanja državnih prostorskih ureditev v prostoru je treba natančno poznati vse korake postopka umeščanja, ki so sicer določeni v zakonskih predpisih (ZUreP-3, podzakonski predpisi¹³) in omogočajo različne možnosti sprejemanja prostorskih izvedbenih aktov in postopkov dovoljevanja posegov v prostor. Ti koraki se združujejo v štiri ključne vsebinske sklope, korake oziroma faze:

- pobuda (faza predhodnega odločanja o posegu),
- študija variant (faza izbora in utemeljitve najustrežnejše rešitve),
- državni prostorski načrt (natančna lokacijska in tehnična opredelitev prostorske ureditve) in
- dovoljenje za gradnjo in državni prostorski ureditveni načrt (izvedbena načrtovalska raven).

¹³ Poveden primer je npr. Pravilnik o dokumentaciji pri državnem prostorskem načrtovanju kot podzakonski predpis ZUreP-3, ki je bil v maju 2022 v javni obravnavi. O dejstvu, da je bil podzakonski predpis za zakon, ki začne veljati s 1. junijem 2022, iz njega izhajajoči podzakonski predpisi pa se javno obravnavajo šele maja 2022 verjetno ne gre izgubljati besed.

Za vsako teh faz nje je treba opredeliti namen, vsebino in način obravnave posameznega koraka..

Skladno z določili ZUreP-3 se lahko umeščanje državne prostorske ureditve zaključí:

- a. z državnim prostorskim načrtom, na podlagi katerega se izdelá projektno dokumentacijo za pridobitev dovoljenja za gradnjo (DGD) in Poročilo o vplivih na okolje (PVO), če gre za objekt z vplivi na okolje, ter pridobi integralno gradbeno dovoljenje ali gradbeno dovoljenje¹⁴ ali
- b. s celovitim dovoljenjem, ki vključuje tudi postopek dovoljevanja gradnje in hkrati obravnava lokacijski (prostorski), tehnični (dokumentacija za izdajo dovoljenja za gradnjo) in okoljski (PVO) vidik.

Tako je državno prostorsko načrtovanje nedeljivo ter stalno vsebinsko in postopkovno povezano tudi s postopki presojanja vplivov na okolje in dovoljevanja gradnje in sicer:

- s (celovito) presojo vplivov na okolje (po Zakonu o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 44/22)),
- s presojo vplivov na varovana območja narave (po Zakonu o ohranjanju narave (Uradni list RS, št. Uradni list RS, št. 96/04 – uradno prečiščeno besedilo, 61/06 – ZDru-1, 8/10 – ZSKZ-B, 46/14, 21/18 – ZNOrg, 31/18, 82/20 in 3/22 – ZDeb)),
- z izdajo dovoljenj za gradnjo (po Gradbenem zakonu (Uradni list RS, št. 44/22)).

Iz zgoraj navedenih korakov umeščanja, načrtovanja in dovoljevanja prostorskih ureditev državnega pomena je jasno, da gre za kompleksno procesno ureditev z množico različnih posamičnih nalog, vsebin in udeležencev v postopku. Kot je bilo že navedeno na začetku tega poglavja, pa je treba za razumevanje poteka postopka prepoznati ključne prostorske vsebinske sklope, ki si postopkovno zaporedno sledijo. Ti ključni vsebinski sklopi so vezani na gradiva, ki se pripravijo ali so rezultat posameznega sklopa postopka in so naslednji:

- Pobuda,
- Študija variant s predlogom najustreznejše variante in Uredba o najustreznejši varianti,
- Državni prostorski načrt (DPN), sprejet z Uredbo,

¹⁴ Integralno dovoljenje se pridobi za posege z vplivi na okolje, kjer se združi postopka presoje vplivov na okolje in izdaje dovoljenja za gradnjo.

- Dokumentacija za celovito dovoljenje in državni prostorski ureditveni načrt,
- dovoljenje za gradnjo (celovito dovoljenje, gradbeno dovoljenje ali integralno gradbeno dovoljenje).

8.3 PROBLEMI PRI UMEŠČANJU VN DV V PROSTOR

V Sloveniji imamo 669 km DV na 400 kV napetostnem nivoju, 328 km DV na 220 kV napetostnem nivoju in 2.000 km DV na 110 kV napetostnem nivoju, ki povezujejo proizvajalce električne energije z distributerji električne energije in posledično odjemalci. Elektroenergetski sistem bo po izgradnji DV Cirkovce - Pince (proti Madžarski) povezan na najvišjem napetostnem nivoju z vsemi štirimi sosednjimi državami in je s tem povezan v širši evropski elektroenergetski sistem.

Po preveritvi postopkov sprejemanja prostorskih izvedbenih aktov za šest DV, ki so bili sprejeti v Sloveniji v zadnjih dvajsetih letih¹⁵, lahko ugotovimo, da so postopki umeščanja DV v prostor izjemno dolgotrajni, nikdar krajši od 7 let, v povprečju pa trajajo skoraj po 10 let. To je odraz vrste problemov, s katerimi se srečujemo pri umeščanju velikih infrastrukturnih objektov v prostor, ki je, kljub dovolj natančno opredeljenim zakonodajnim postopkom in procesom priprave, vodenja, usklajevanja, komuniciranja in sprejemanja teh aktov in ne glede na dolgoletno sobivanje z DV v prostoru, praviloma pospremljeno z nasprotovanjem javnosti, predvsem lastnikov zemljišč in prebivalcev v bližini načrtovanega DV. Na vsakem javnem srečanju, ki se ga udeleži prizadeta javnost, so na prvem mestu izpostavljena vprašanja okoljskih vplivov na zdravje ljudi (predvsem EMP in hrup) in vprašanja vidne izpostavljenosti, oboje pa se povezuje z očitki o zmanjšani kakovosti bivanja ter zmanjšanju vrednosti nepremičnin v bližini DV; predvsem se problematizira oddaljenost oz. bližina stanovanjskih hiš od DV, s tem pa izbor trase in predvsem način izvedbe, saj se večinoma zahteva podzemna izvedba oz. pokablitev. Pogosti so tudi očitki o omejitvah pri izvajanju dejavnosti, predvsem kmetijske, v bližini DV. Javnost se poleg tega pogosto sprašuje tudi o dejanski koristi prenosnih DV za lokalno skupnost, dvomi v transparentnost postopka

¹⁵ DV, za katere so bili prostorski akti sprejeti v zadnjih dvajsetih letih in so bili analizirani za potrebe tega prispevka (v oklepajih sta letnici začetka in konca postopka): DV 2×400 kV Beričevo – Krško (1998 – 2006), DV 2×110 kV Grosuplje – Trebnje (1999 – 2010), DV 2×400 kV Cirkovce – Pince (2000-2012), DV 2×110 kV Polje – Vič (2003 – 2010), DV 2×110 kV Kamnik – Visoko (2011 – 2018) in DV 2×110 kV Trebnje – Mokronog – Sevnica (2010 – 2021).

ter opozarja na slabo obveščanje in vključevanje javnosti v postopke.

V nadaljevanju je zajeta problematika umeščanja DV v prostor, urejena po smiselnih vsebinskih sklopih. Zavedati se moramo, da je treba praktično vsako prostorsko ureditev državnega pomena zaradi različne lokacije in posledično vrste in obsega vplivov obravnavati kot samostojno celoto in da je nabor problematike umeščanja DV v prostor, ki sledi, poskus zajema čim širšega spektra problemov.

8.3.1 Zakonodajna določila in postopki

V Sloveniji se vsakih nekaj let spremeni zakon s področja urejanja prostora, pri čemer so vsakič kot eden od razlogov za spremembo navedeni učinkovitejši in krajši postopki. Po že peti spremembi zakona, ki določa državno prostorsko načrtovanje, v zadnjih dvajsetih letih (ZUreP-1 v letu 2002, ZPNačrt v letu 2007, ZUPUDPP v letu 2010, ZUrep-2 v letu 2018 in ZUreP-3 v letu 2021), je na mestu vprašanje, ali so danes postopki res učinkoviti in ali z vsako naslednjo spremembo zakona zares pripomoremo k uspešnejšemu umeščanju ureditev državnega pomena, v prostor. Odgovor je žal negativen. Veliko pove že podatek, da se postopki priprave večine DPN, ki trenutno še potekajo, vodijo na podlagi kar treh različnih zakonov.

Pomembna težava je tudi dejstvo, da ob spremembah zakonov podzakonski prepisi sploh še niso pripravljene oziroma se sprejemajo naknadno, z odložnim pogojem veljavnosti zakonov; to (in tudi vsakokratna praksa) navaja na misel, da zakonske rešitve niso dovolj domišljene, saj niso prestale testiranja celovitosti obravnave postopkov in procesov.

Praksa tudi kaže, da se po uveljavitvi novih zakonskih določil, ki naj bi izboljšala postopke v urejanju prostora, mnoga sploh ne izvajajo. Tako npr. še danes nista ustanovljena Prostorski sveti in Komisija za prostorski razvoj, ki naj bi med drugim usklajevala in odločala v primeru neuskklajenih javnih interesov pri državnem prostorskem načrtovanju. Če organ, ki naj bi postopke pospešil (predvsem s sprejemanjem ključnih odločitev), sploh ni ustanovljen, je zakon samo mrtva črka na papirju, vse to pa očitno odraža splošni družbeno politični odnos do vloge in sistema urejanja prostora v Sloveniji. Znana je izjava W. Churchilla, da če ne želiš rešiti problema, ustanoviš komisijo in morda zato ustanovitev omenjenih organov niti ni obetavna. Včasih se namreč res zdi, da so novoustanovljeni organi prej v oviro kot v pomoč in morda bo Projektna skupina (PS), sestavljena

iz skupine predstavnikov posameznih nosilcev urejanja prostora (v nadaljevanju: NUP) pri vsakem posameznem DPN, le še en organ, zaradi katerega se bodo postopki prej podaljšali kot skrajšali. V PS bo namreč težko zagotoviti konstruktivno sodelovanje in ažurno sprejemanje odločitev, če bo prišlo do medsebojno resnično neusklajenih interesov.. Usklajevanje je na tej ravni sicer smiselno in dobrodošlo, vendar pa utemeljeno lahko pričakujemo da bo že sama zahtevnost posameznih neusklajenih stališč presejala kompetence in s tem možnost dogovora v PSv. Vsem, ki se dlje časa ukvarjamo s prostorskim načrtovanjem prostorskih ureditev državnega pomena, je še živ spomin na t.i. prostorske konference po ZUreP-1 iz leta 2002, ki so se izvajale z namenom, da se pridobijo in uskladijo priporočila, usmeritve in legitimni interesi lokalnih skupnosti, gospodarstva in interesnih združenj ter organizirane javnosti glede priprave prostorskega akta oziroma predvidene prostorske ureditve. Sčasoma je prostorska konferenca postala organ, ki je sicer obravnaval akte, vendar ni prinesel nobene vsebinske, še manj postopkovne dodane vrednosti in še najmanj časovno skrajšanje postopkov.

V sistemu prostorskega načrtovanja je tudi zelo pomembno, kdo so udeleženci v postopkih, kakšne so njihove natančne vloge, pristojnosti, obveznosti, pričakovanja itd. Zakon sicer opredeli vse udeležence, vendar pa je urejanje prostora tako kompleksen sistem, da ga ni mogoče določiti za vse primere in za vse priložnosti. Predvsem z vidika vključevanja javnosti je pomembno, da splošna javnost prostorsko zakonodajo razmeroma slabo pozna. Ob razmeroma nizki stopnji poznavanja značilnosti in s tem vplivov posameznih prostorskih ureditev (državni objekti in ureditve so praviloma zelo zahtevni in kompleksni) v širši javnosti je velika težava tudi nezadostno ali prepozno vključevanje posameznih skupin oziroma predstavnikov javnosti v postopke, čemur bo v nadaljevanju tega prispevka še namenjena posebna pozornost.

Različni udeleženci v postopku umeščanja v prostor podajajo različne, neredko tudi nasprotujoče si zahteve v zvezi s prostorsko ureditvijo, zato je treba te pogoje medsebojno uskladiti. Smernice številnih NUP, ki sodelujejo v postopkih, zahteve in pogoji občin in lokalnih prebivalcev ter tehnološke in druge možnosti investorjev zahtevajo stalno iskanje optimalnih rešitev ter tehtanje med varstvenimi in razvojnimi vidiki posegov. Pogosto je s strani prebivalcev podan očitek, da so njihovi interesi premalo upoštevani, in da so npr. pri odločanju o potekih tras podcenjeni in da se npr. zahteve varstvenih sektorjev (ohranjanje narave, kulturna dediščina, kmetijska in gozdna zemljišča, vode) uspešneje uveljavljajo.. Zakon na takšne dileme ne odgovarja oziroma razen splošnih določil o

usklajenem načrtovanju ne predlaga možnih rešitev problemov.

Nenazadnje je treba opozoriti tudi na pomanjkanje nujne podpore državnih organov, ki jo za umeščanje v prostor potrebujejo prostorske ureditve državnega pomena. Na deklarativni ravni so objekti državnega pomena seveda državni razvojni projekti. Vendar pa praksa kaže, da se dejansko za premnogo projektov, ki jih vodijo operater prenosnega omrežja (ELES), operater distribucijskega omrežja (SODO) oziroma lastniki elektroenergetske distribucijske infrastrukture (Elektro Celje, Elektro Gorenjska, Elektro Ljubljana, Elektro Maribor in Elektro primorska), v resnici zavzemajo samo investitorji in predstavniki pobudnika na pristojnem ministrstvu. Načelna podpora državnih organov pa se namreč praviloma ne odraža v npr. hitrem odzivanju na vloge za posredovanje mnenj NUP in še manj v iskanju konstruktivnih rešitev in v prizadevanjih za doseganje cilja, torej umestitve v prostor. Vsekakor bi bilo treba zlasti v primerih, ko so usklajevanja težavnejša, zagotoviti aktivno podporo projektom na najvišji državni ravni in zagotoviti sprejemanje ustreznih odločitev, četudi morda nepopularnih.

Dolgotrajnost postopkov je rezultat vseh navedenih težav, pa tudi nekaterih drugih, ki bodo opredeljene v nadaljevanju.. Podatek o povprečnem trajanju umeščanja v prostor skoraj 10 let (ob dejstvu, da je po sprejemu državnega prostorskega akta treba pripraviti še projekt za dovoljenje za gradnjo, PVO in pridobiti zemljišča, kar traja še vsaj 3 leta) je zaskrbljujoč in zakonodajalec se je odzval s pripravo nove generacije predpisov v zvezi z združenim postopkom. Obstaja pa bojazen, da v primeru, da ne bo prišlo do aktivnega reševanja zgoraj navedenih problemov, tudi sprememba zakonov ne bo pomagala.

V luči zakonskih predpisov je treba na koncu omeniti tudi odsotnost regionalne administrativne ravni in posledično regionalnega prostorskega načrtovanja. VN DV so tipični regionalni in celo medregionalni objekti, ki zagotavljajo oskrbo na širšem območju oziroma elektriko prenašajo na daljših razdaljah, zato bi morali biti tudi načrtovani na tem nivoju. Sistem državnega načrtovanja je pogosto preveč »oddaljen« od lokalnega nivoja, da bi lahko učinkovito načrtoval, se odzival na lokalne potrebe in z lokalnim okoljem ne najde pravega stika. Poleg tega je za veliko število majhnih občin, ki imajo pomembne pristojnosti na področju urejanja prostora, VN DV pogosto prepoznan kot objekt, ki hkrati služi več (drugim!) občinam ali celo regiji, kar pogosto vodi v vprašanja o koristnosti in pomenu posameznih DV za posamezno lokalno skupnost.

8.3.2 DV in DV koridorji v prostoru

VN DV predstavljajo pomemben grajeni element v prostoru, saj se zaradi zagotavljanja elektroenergetske oskrbe v razpršene slovenskih naseljih pojavljajo na praktično celotnem ozemlju Slovenije. V večini primerov so zgrajeni kot nadzemni vodi, ki v prostoru zaradi varnosti pred dotikom vodnikov zahtevajo vzpostavitev dokaj širokih prostorskih koridorjev. Nadzemni DV so izvedeni s stebri, katerih višine pogosto presegajo 30 m, to pa pomeni, da so DV zelo vidno izpostavljeni v prostoru. V območju pod vodniki je raba prostora omejena zaradi zagotavljanja potrebne oddaljenosti od DV vodnikov in EMP zaradi električnega toka v vodnikih; najstrožje omejitve so vezane na uporabo zemljišč pod DV ali v njihovi bližini za gradnjo stavb, vzpostavitev DV koridorjev v gozdu pa zahteva posek dreves in vegetacije, kar pogosto še poveča vidno izpostavljenost.

Gradnja novih DV (v nadzemni ali podzemni obliki) predstavlja dodatno vzpostavitev koridorja in zasedbo prostora oziroma omejitev rabe, kar lahko v odprtem prostoru (na kmetijskih površinah) pri nadzemnem poteku DV bistveno vpliva na podobo krajine, v gozdu povzroča novo ali dodatno poseko, v urbanem prostoru pa s približevanjem stavbam nadzemni DV predstavlja vizualno motnjo in s tem zmanjšuje bivalne kvalitete.. Podzemni kabli potekajo v prostorsko ožjih koridorjih, vendar so omejujoči predvsem zaradi onemogočanja kakršnih koli podzemnih ureditev (npr. temeljev) objektov na trasi.

V preteklosti (v sistemu družbenega, prostorskega in ekonomskega planiranja) so bili v prostorskih aktih DV koridorji varovana prostorsko načrtovalska determinanta, tako da so bili v dolgoročnih planih občin in v prostorskih ureditvenih pogojih obstoječi in načrtovani DV koridorji vrisani v načrtih. S tem so bili koridorji zaščiteni pred pozidavo, prostor je bil tako »rezerviran« za nujne pomembne (državne) infrastrukturne ureditve, upravljavci obstoječih in investitorji bodočih infrastrukturnih ureditev pa so lahko v teh koridorjih nadzorovali rabo prostora. V sistemu tržnega gospodarstva so načrtovani pomembnejši javni infrastrukturni sistemi kljub pomenu za širši razvoj izgubili veljavo, saj občine niso bile zainteresirane, da v novem sistemu prostorskega načrtovanja, v katerem je urejanje prostora ena njihovih najpomembnejših nalog, zagotavlja prostor za ureditve državnega pomena, s katerimi se očitno ne morejo povsem poistovetiti. Poleg tega je v zadnjih desetletjih vse bolj pereč problem odlašanje pri sprejemanju odločitev, tudi na področju določanja najustreznejših tras tovrstnih objektov in ureditev. S tem smo izgubili dolgoročno rezervirane prostorske koridorje za infrastrukturo, zato je treba vsak infrastrukturni objekt začeti v prostor umeščati praktično od

začetka, tudi če je bil v prejšnjih letih že vrisan v dolgoročne plane občin. Pri tem tudi ne smemo zanemariti dejstva, da se je v koridorje obstoječih DV pogosto posegalo z gradnjo (nelegalnih) stavb, ki sedaj omejujejo možnost njihove nadgradnje.

In nenazadnje - načrtovanje poselitvenih območij, ki je v pristojnosti občin, se pogosto ne prilagaja ali usklajuje (pravočasno) s potrebami po novi javni infrastrukturi, kar posledično povzroča konflikte pri umeščanju v prostor na lokalni ravni.

8.3.3 Načrtovanje in tehnične rešitve VN DV

Iz pregleda pripomb iz javne razgrnitve vseh omenjenih šestih DPN za DV in po pregledu dodatnih treh, ki so trenutno v fazi načrtovanja¹⁶, izhaja, da je vsem pripombam in , predlogom skupna zahteva po pokablitvi vsaj dela DV, prav tako so v vseh primerih podani očitki o prekomernih vplivih na zdravje zaradi EMP in hrupa ter o zmanjšanju bivanjskih kakovosti in vrednosti nepremičnin zaradi bližine DV in poslabšanja krajinskih vrednosti zaradi vidne izpostavljenosti DV.

Pri zahtevah za pokablitev DV je glavni očitek, da se v najzgodnejših fazah ne upoštevajo možnosti podzemne izvedbe DV in da tehnične rešitve, ki jih predlaga investitor, predstavljajo najcenejšo možno izvedbo DV v nadzemni obliki. Pogosto so variante možnih tras DV predvidene samo v nadzemni obliki, česar predvsem bližnji prebivalci ne sprejemajo, saj pričakujejo večje odmike od poselitve ter poleg nadzemnih variant predvsem v bližini stavb tudi variante tras v podzemni izvedbi. , Nadzemni vodi naj namreč v bližini poselitve generirali zdravstvena tveganja zaradi EMP in stalnega hrupa, zato se zahteva pokablitev DV ali bistveno večji odmik trase od stavb. Pokablitev DV se s strani prebivalcev in zainteresirane javnosti zahteva tudi na vseh območjih, kjer je DV bolj vidno izpostavljen ali kjer posega v vidno prostorskih determinant.

Pri postopkih vrednotenja variant v ŠV so pogosti očitki o prirejenem vrednotenju, češ da se favorizira ena varianta, da se kriteriji v vrednotenju podvajajo ali pa so nerelevantni, da so ocene subjektivne itd. ter da vse to vpliva na končni rezultat oziroma predlog najustreznejše variante. Za mnoge je v primeru najustreznejše variante v nadzemni obliki sprejemljiva ista trasa, vendar v podzemni obliki.

¹⁶ DV 2 x 110 kV Divača–Koper I, DV 2 x 110 kV Brestanica–Hudo (odsek Brestanica - Družinska vas) in RTP 220 kV Ravne z 220 kV priključnim DV

V vsakem postopku priprave DPN po že izvedeni ŠV, ko je prostorski akt že izdelan na parcelo natančno in s podrobnejšo tehnično rešitvijo ter je izdelano poročilo o vplivih na okolje se pojavljajo tudi o podani očitki, da lastniki niso bili seznanjeni z načrtovanjem – ne v trenutni ne v prejšnjih fazah. Pogosto se zahtevajo vrnitve v prejšnje faze in drugačne trase ali tehnične rešitve, predvsem pokablitve nadzemnih vodov.

V javnosti se redno pojavljajo očitki prostorskim načrtovalcem in projektantom, da so pri umeščanju objektov v prostor in njihovem načrtovanju na strani investitorjev, saj jih oni tudi plačujejo ter da so rešitve podane znotraj vnaprej postavljenega okvirja in omejitev, vse to pa je ovira za neodvisno razmišljanje in predlaganje strokovnih, od investitorja neodvisnih rešitev.

8.3.4 Vplivi na okolje in prostor

Pripombe v zvezi z vplivi na okolje (EMP, hrup, kakovost bivanja, vidna izpostavljenost, omejitve dejavnosti na urbanih, kmetijskih in gozdnih zemljiščih, gozdne poseke vpliv na pridelke) se praktično v celoti nanašajo na nadzemno VN DV. Vplivi EMP še vedno povzročajo največ nestrinjanja, saj v javnosti obstaja vtis, do so EMP zaradi DV prekomerna in škodljiva in to ne glede na oddaljenost od stavb in drugih območij, kjer se dlje časa zadržujejo ljudje. Stanovalci v bližini obstoječih DV poudarjajo vpliv hrupa – stalno prasketanje vodnikov (korona), in neugodje, ki ga pri tem občutijo. Bližina DV stavbam in naseljem po mnenju prebivalcev zmanjšuje bivalne kvalitete zaradi bližine in vidne izpostavljenosti DV, dodatno pa še zmanjšanje vrednosti nepremičnin. Prav tako je problematično približevanje rekreacijskim površinam, predvsem v ohranjenih naravnih in gozdnih prostorih, kjer je problem tudi posek gozda in omejitve rabe v varovalnem pasu DV.

V zadnjih desetletjih se poleg tega opaža vedno večje nezaupanje ljudi v sodobne tehnološke rešitve, v strokovne izsledke in dokumente, pa tudi nezaupanje v integriteto in usposobljenost strokovnjakov, ki načrtovane ureditve načrtujejo, predstavljajo oziroma zagovarjajo.

Na kmetijskih površinah se večinoma pojavljajo zahteve za upoštevanje obstoječe parcelne strukture, za umeščanje dostopov in stebrov na robne dele zemljišč, v zadnjem času pa je zaznati tudi porast pripomb v zvezi z vplivi EMP na pridelke, predvsem na certificirano biološko, integrirano ali ekološko kmetijsko proizvodnjo. Zaradi poteka vodnikov na višini vsaj 7-8 m nad koto terena je raba zemljišč

pod DV omejena; lastniki npr. navajajo oteženo izvajanje namakanja s pršenjem.

Poteki DV prek gozda so sicer manj problematični, čeprav lastniki v gozdu pogosto očitajo slabo vzdrževanje gozdnih površin oziroma površin pod DV, ki jih je treba vzdrževati delno nezaraščene. Hkrati opozarjajo, da je treba pri načrtovanju trase prek gozdnih površin upoštevati kvaliteto gozda, saj razvoj gozda terja dolgo obdobje in delo več generacij lastnikov, zato je treba izbirati manj kvalitetne površine v gozdu.

8.3.5 Finančni vidiki poteka DV v prostoru

V primerih potoke nadzemnih DV v bližini stanovanjskih objektov, lastniki menijo, da so (zaradi zdravju škodljivih vplivov DV ter zaradi razvrednotenja nepremičnin in omejene rabe zemljišč) upravičeni do odškodnine oziroma finančnega nadomestila, četudi gre za oddaljenost, ki presega območje varovalnega pasu. Vendar pa je v Sloveniji bližina DV omrežja upoštevana kot faktor zmanjševanja vrednosti v procesu vrednotenja nepremičnin¹⁷ le za razdalje do 15 m za 110 kV omrežje ter do 40 m za 220 in 400 kV omrežje, kar ustreza varovalnemu pasu VN DV.

S finančnega vidika je razlika med nadzemno in podzemno izvedbo DV zelo velika, saj je kabliranje bistveno dražje od gradnje nadzemnih vodov. V splošnem velja, da je razlika v ceni med podzemnimi kabli in nadzemnimi vodi pri napetostnem nivoju 110 kV med 1:5 - 1:8, pri 220 in 400 kV DV pa med 1:10 - 1:20, kar predstavlja izjemno finančno obremenitev za investitorja, ki je odvisen od sredstev, za tak namen pridobljenih od države. Prav tako uporaba kabliranja različnih napetostnih nivojev na noben način ni enakovredna: medtem ko je kabliranje 110 kV nivoja v tujini in pri nas že precej pogosto, se 220 in 400 kV DV tudi v tujini kablirajo le, če za to obstajajo zelo tehtni razlogi, npr. visoka gostota prebivalcev v območju ali tehnična izvedba (npr. povezava podmorskih kablov iz morskih vetrnih elektrarn). Zato se pri nas kabliranje uporablja le v primeru poteka VN DV po območjih večje gostote prebivalstva, npr. v mestih ali večjih naseljih oz. v njihovih središčih, v preostalih primerih pa kabliranje zaradi visokega stroška gradnje ni upravičeno.

Pri potekih DV prek lastniških zemljišč mora pri nas investitor lastnikom plačati služnost za gradnjo, obratovanje in vzdrževanje DV, ob tem pa še

¹⁷ Uredba o določitvi modelov vrednotenja nepremičnin (Uradni list RS, št. 22/20), priloga 1: Model vrednotenja za stanovanja (STA)

odškodnino za uporabo zemljišča v času gradnje. Lastniki imajo pogosto nerealna pričakovanja o vrednosti odškodnin, kar pogosto predstavlja dodaten problem za sprejemljivost posegov v lokalni skupnosti. Na javnih razpravah se lastniki pogosto pritožujejo, da za obstoječe DV odškodnine niso bile plačane, kar pa je težko preveriti zaradi drugačnih družbenih razmer pred letom 1991, hkrati pa slabe izkušnje v preteklosti bistveno vplivajo na odnos javnosti in lastnikov do sodobnih ureditev.

Lastniki za zemljišča, na katerih je načrtovan DV, pogosto predlagajo možnost zamenjave zemljišča (kmetijskega ali gozdnega) z zemljiščem, ki ni obremenjeno z DV. Vendar pa investitorji gradnje DV ne razpolagajo z zemljišči za zamenjave in takšnih zamenjav ne morejo niti zagotoviti niti izvesti. Nenazadnje že v okviru priprave DPN ni mogoče načrtovati tovrstnih prostorskih (pre)ureditev, saj urejanje stavbnih zemljišč za poselitev ne sodi med prostorske ureditve državnega pomena.

8.3.6 Korist za posameznika/lastnika in lokalno skupnost

Lastniki zemljišč, po katerih poteka DV ali se jim približa, so seveda v izrazito manj ugodnem položaju kot drugi državljani, saj prevzamejo breme vplivov te prostorske ureditve. Pogosto ocenjujejo, da so žrtvovani za dobro vseh, da nosijo breme za dobro skupnosti, zato pričakujejo najprej prestavitev tras z njihovih območij oziroma zahtevajo pravično kompenzacijo za to breme. Pogosto VN DV zaradi svoje dolžine in povezovanja dveh elektroenergetskih objektov (npr. RTP) na svojem poteku ne oskrbujejo objektov neposredno objektov ob trasi. Lokalna skupnost zato nima ali ne prepozna koristi takšnega objekta, in se posledično ne čuti obvezane podpirati tak projekt. Nesprejemanje projekta hitro vodi v odpor proti in zahtevo po odkluku trase z območja lokalne skupnosti (princip »ne na mojem dvorišču«).

Lastniki ali predstavniki lokalne skupnosti in v ta namen ustanovljenih civilnih iniciativ pogosto navajajo, da o projektu niso bili obveščeni, zato imajo občutek, da se dela nekaj »za njihovim hrbtom« in že v osnovi nasprotujejo projektu. Stalna pripomba prebivalcev v bližini načrtovanih DV je, da se trase pogosto prilagajajo zahtevam za varstvo narave in drugim okoljskim omejitvam, za dobro malega človeka pa ne skrbi nihče. Pogosto so kritike usmerjene tudi v vodstvo občine itd., češ da premalo naredi za zavrnitev neustreznih potekov tras DV.

8.3.7 Vključevanje javnosti v postopke umeščanja in načrtovanja prostorskih ureditev državnega pomena v prostor

Iz velikega števila omenjenih pripomb je moč razbrati glavni problem pri umeščanju velikih infrastrukturnih objektov v prostor: **slabo kulturo (nezadostnost, neučinkovitost) vključevanja javnosti v formalne in neformalne postopke priprave DPN**. Vključevanje javnosti je sicer vedno izvedeno formalno korektno in skladno z zakonskimi zahtevami; pogosto pa na tem področju ni zaznati dodatne vrednosti in bolj vsebinskega vključevanja javnosti predvsem v zgodnjih fazah, ko so še možni vsebinski predlogi in pripombe. Tako so pogosto zamujene priložnosti, da bi krajanom predstavili omejitve pri umeščanju tras in dejstvo, da umik z enega območja (bližina moje hiše) pomeni umestitev premik v drugo območje (bližina tvoje hiše). Ker se rešitve predstavijo javnosti v fazi, ko so že predlagane končne rešitve, imajo ljudje (kljub vsem potrebnim strokovnim utemeljitvam) občutek, da nimajo izbire in vpliva na projekt, da se njihove pripombe ne upoštevajo, da so postavljeni pred dejstvo in da se jih izrablja le za kuliso za formalizacijo postopkov.

V procesu priprave DPN se javnost trikrat vključuje v postopek – v fazi javne objave Pobude, v fazi javne objave ŠV s predlogom najustreznejše rešitve in v fazi javne objave vloge za celovito dovoljenje ali predloga DPN. Samo v času javne objave Pobude je še možna vsebinska intervencija v postopek umeščanja, vse kasnejše faze pa že temeljijo na izbranih rešitvah; zato imajo pripombe v realnosti razmeroma malo uspeha. Pri vsaki javni objavi v fazi, ko je odločitev že sprejeta, se zato pojavijo zahteve, da se je treba vrniti v prejšnjo fazo in ponovno pretehtati sprejete odločitve. Ker so takšne zahteve formalno praviloma zavržene, se pojavijo očitki o netransparentnosti postopka, kar vodi v splošno nezaupanje ljudi v rešitve, postopke in udeležence, povezane s temi postopki – predvsem investitorja in projektante tehničnih rešitev, pa tudi v izdelovalce prostorskih aktov in okoljske dokumentacije.

8.3.8 Energetska politika

Slovenija še nima sprejetega energetskega koncepta Slovenije, ki bi moral biti ključen sektorski dokument, ki bi moral imeti pomemben odraz v javnosti in ne samo med strokovno javnostjo in nevladnimi organizacijami, kot je bil primer pri NEPN. Spremenjene energetske razmere in prehod na obnovljive vire energije

bodo pomembno vplivali na razvoj energetskih sistemov, kar bo sprožilo širok spekter povezanih nujnih postopkov. Med drugim se bodo predvidoma še povečale potrebe po gradnji novih in rekonstrukciji obstoječih DV.

8.4 REŠITVE

NEPN navaja, da bo Slovenija za doseganje ambicioznih ciljev energetske in podnebne politike zagotovila boljše pogoje za pospešeni razvoj omrežja za distribucijo električne energije, ki je temelj prihodnjega prehoda v podnebno nevtralno družbo, saj bo omogočal pospešeno vključevanje naprav za proizvodnjo energije iz obnovljivih virov, prilagajanje proizvodnje in odjema, večjo povezljivost ter pospešeno uvajanje e-mobilnosti. Za vse to bo treba v elektroenergetskem sistemu povečati zmogljivost, odpornost proti motnjam in prožnost virov ter bremen elektroenergetskega omrežja v skladu s trajnostnimi potrebami uporabnikov.

V prihodnjih letih lahko zato upravičeno pričakujemo bistveno povečanje načrtovanja novih in nadgradnje (rekonstrukcije) obstoječih DV. Zato je glede na slabe izkušnje z umeščanjem DV in drugih večjih infrastrukturnih objektov v prostor, ključna naloga zakonodajalcev ter energetskega in prostorskega sektorja, da kot odgovorni za bodoči nemoteni energetski in gospodarski razvoj zagotovijo take postopke in predlagajo take rešitve, ki bodo zagotovilo, da bodo projekti na koncu izvedeni z vsaj načelnim soglasjem vseh deležnikov. Predloge za izboljšave lahko najdemo pri analizi lastnih dejanj in postopkov ter z izkušnjami in idejami iz tujine. Treba se je zavedati, da je prostor, v katerega umeščamo posamezen DV, vedno enkrat, neponovljiv, in morda so rešitve, ki so primerne za eno okolje, manj primerno za drugo. Zato je pomembno, da imamo pripravljen širok nabor možnih tehničnih, prostorskih, organizacijskih in pravnih rešitev in primerov dobrih praks za boljše družbeno sprejemljivost objektov in za čim manjši vpliv na ljudi, živali, okolje in prostor.

V nadaljevanju je predlagan nabor nekaterih možnih rešitev, vezanih na postopkovne in zakonodajne možnosti, prostorske značilnosti, tehnične rešitve in finančne vidike, vse s ciljem čim bolj učinkovitega, vključujočega in za vse sprejemljivega načrtovanja, gradnje, obratovanja in vzdrževanja DV. Umeščanje velikih infrastrukturnih objektov v prostor, še posebej pa VN DV, je vedno iskanje kompromisa kot rešitve potencialnih konfliktov med razvojnimi potrebami in varstvenimi cilji. Zavedanje o problemih in pravočasna uporaba principov razreševanja konfliktov še preden se razširijo ter zaustavijo ali celo preprečijo sicer

potreben (državni) projekt, pa je pravzaprav cilj vsakega odgovornega načrtovanja v prostoru.

8.4.1 Zakonodajni in postopkovni vidiki

Postopki in procesi umeščanja DV v prostor so zakonsko regulirani in kot taki praviloma znani v postopkovnem in časovnem oziru - pa vendarle umeščanje traja skoraj desetletje in je polno izzivov. S prilagoditvijo postopkov, predvsem s ciljem izboljšanja učinkovitosti umeščanja DV v prostor, so možne rešitve:

- zakonodajne prilagoditve postopkov podpora projektom na najvišji državni ravni,
- ustanovitev in delovanje z zakonom predpisanih organov odločanja in ad hoc ekspertnih skupin,
- uporaba zakonsko dopustnih institutov razrešitve nasprotja javnih interesov, dopuščanja izjem in prevlade javnega interesa,
- vzpostavitev načrtovanja na regionalni ravni,
- izboljšave v postopkih priprave DPN,
- vključevanje javnosti v postopke umeščanja, načrtovanja in dovoljevanja.

8.4.1.1 Zakonodajne prilagoditve postopkov

Zaradi počasnega umeščanja DV v prostor in ob zavedanju nujnosti prenove in dograditve elektroenergetskega omrežja v prihodnjih letih je treba na državni ravni sprejeti **zakonske predpise, ki pospešujejo tovrstne projekte**. Poskusi s sprejemom dosedanjih štirih zakonov¹⁸ na področju urejanja prostora v Sloveniji niso prinesli zelenega učinka, pogosto zaradi premalo aktivne implementacije določil teh zakonov.

V Nemčiji (pa tudi drugod po Evropi, npr. na Danskem) so sprejeli zakonske predpise za pospeševanje gradnje elektroenergetskega omrežja ter vključevanja javnosti v te postopke. Ob tem so zasledovali dva cilja: zagotoviti tvorno vključevanje javnosti v postopke in s tem izboljšati družbeno sprejemljivost DV v prostoru ter pospešiti gradnjo DV. Zdi se, da sta cilja medsebojno v nasprotju, vendar se dejansko dopolnjujeta. Ključna pa je seveda podpora projektom na najvišji, zakonodajni in vladni državni ravni. V Nemčiji so zaradi nujnosti izgradnje elektroenergetskega omrežja kot posledice prilagajanja podnebnim spremembam sprejeli več zveznih zakonov, ki posegajo na elektroenergetsko

18 ZUreP-1 (2002), ZPNačrt (2007), ZUPUDPP (2010), ZUreP-2 (2017) in ZUreP-3 (2021)

področje predvsem z rangiranjem elektroenergetskih objektov po pomembnosti in ureditvijo določenih najbolj perečih vprašanj v zvezi z načrtovanje elektroenergetskega omrežja. **Zakon o pospeševanju širitve omrežja za prenosno omrežje**¹⁹ je namenjen pospeševanju širitve mednarodnih in čezmejnih VN vodov. Postopki odobritve za novo gradnjo in optimizacijo DV so bili poenostavljeni in pospešeni. Pristojnost za načrtovanje je na zvezni (in ne deželni) ravni, sodelujejo pristojno ministrstvo, Vlada in Agencija za energetska omrežja. **Nemški zakon o podzemnih kablilih**²⁰ je namenjen pospešitvi širitve najpomembnejšega elektroenergetskega omrežja (hrbtenice) s podzemnimi kablji za povezave na dolgih razdaljah (npr. med severno in južno Nemčijo), predvsem velja to za enosmerni tok²¹. S tem se poveča sprejemljivost objektov v prostoru, trase pa se izvedejo v najkrajši razdalji ob upoštevanju okoljskih in prostorskih danosti. Za izmenični tok pa ostaja v veljavi pravilo, da se **večino omrežja izvede v nadzemni obliki**, saj so tveganja (tehnična in stroškovna), povezana s podzemnim prenosom izmeničnega toka, veliko večja kot pri podzemnem prenosu enosmernega toka. V **Zveznem zakonu o zahtevah za načrtovanje**²² se možnost kableske izvedbe DV (lahko gre tudi samo odsek) upošteva, če so izpolnjena določena merila: (a) majhna oddaljenost od stanovanjskih objektov - manj kot 400 metrov v primeru urejanja območja s podrobnejšim prostorskim načrtom (praviloma v naseljih), manj kot 200 metrov na drugih območjih, ali oboje, če gre za stanovanjska območja, (b) na območjih, kjer je gradnja nadzemnih vodov prepovedana ali nezakonita v skladu z Zveznim zakonom o varstvu narave in (c) kjer se prečka vodotok širine več kot 300 m. Tako **zakon** določa pogoje, pod katerimi se šele začne preverjati možnost poteka trase DV v podzemni izvedbi in s tem na zvezni ravni zavzame stališče, v katerih primerih je oddaljenost od npr. stanovanjskih objektov takšna, da utemeljuje preverjanje morebitne potrebe za kabelsko izvedbo.

V Sloveniji je korak v pravo smer možnost združenega postopka, ki jo je uvedel že ZUreP-2 in združuje postopek umeščanja v prostor (pobuda za načrtovanje in študija variant) ter priprave dokumentacije za izdajo dovoljenja za gradnjo s postopkom okoljske presoje v fazi plana (CPVO) in v fazi projektne rešitve (PVO). ZUreP-3 je prinesel manjšo spremembo (ustanovitev Projektne

19 Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG).

20 Erdkabelgesetz.

21 DV za prenos enosmernega toka v Sloveniji ni, saj je ta tehnologija namenjena predvsem direktnim ekstravisokonapetostnim povezavam (do 700 kV) med virom in porabnikom na najdaljših razdaljah. V Sloveniji sicer ELES d.o.o. sodeluje pri projektu skupnega interesa Italije in Slovenije za povezavo Salgareda (ITA)–Divača–Beričevo (SI) s podzemnim kablom HVDC 500 kV Beričevo–Divača–Salgareda. Projekt je še v začetni fazi.

22 Bundesbedarfplangesetz (BBPIG).

skupine), v prihodnjih letih pa se bo v praksi preverila učinkovitost te določbe zakona²³.

8.4.1.2 Podpora projektom na najvišji državni ravni

Zaradi nujnosti posodobitve/izgradnje elektroenergetskih objektov je pri umeščanju DV v prostor ključna podpora najvišjih pristojnih organov države. Elektroenergetsko omrežje bo namreč v prihodnosti zaradi prehoda na obnovljive vire energije postalo hrbtenica energetske neodvisnosti in to mora postati državni projekt na najvišji ravni.

V sedanje postopke so sicer že vključeni predstavniki ministrstev (pobudnika – ministrstva, ki je pristojno za energijo in pripravljavca DPN – ministrstva, pristojnega za prostor oziroma državno prostorsko načrtovanje ter ministrstva, ki so nosilci urejanja prostora), vendar bi bilo treba v primerih, ko so umestitve v prostor zahtevnejše, zagotoviti **podporo projektom na najvišji, to je vladni ravni**. Podpora je potrebna predvsem v smislu ciljne naravnosti, ažurnega odzivanja in sprejemanja odločitev o kompromisnih rešitvah, ki posledično lahko rezultirajo v finančno zahtevnejših ali prostorsko in okoljsko kompleksnejših rešitvah, pa tudi v morebitni uveljavitvi prevlade javnega interesa.

Izraz podpore na najvišji ravni je tudi promocija projektov s strani Vlade in z neposrednim usklajevanjem v lokalnih skupnostih in predstavitev javnosti, z udeležbo najvišjih predstavnikov državnih organov na posvetih, delavnicah, s pripravljenostjo na morebitne dodatne stroške za ažurno prilagajanje rešitev itd.

8.4.1.3 Ustanovitev in delovanje z zakonom predpisanih organov odločanja in *ad hoc* ekspertnih skupin

Skladno z ZUreP-2 bi morala od leta 2018 na področju urejanja prostora že delovati **Komisija vlade RS za prostorski razvoj** ter **Prostorski svet**. Komisija vlade za prostorski razvoj je stalno delovno telo vlade²⁴, ki na medresorski ravni zagotavlja usklajenost in upoštevanje ciljev urejanja prostora in strategije prostorskega razvoja Slovenije ter predvsem podaja mnenja in predloge v zvezi z državnimi prostorskimi ureditvami ter razrešitvijo nasprotij javnih interesov. Prostorski svet je organ, namen katerega je koordiniranje, usklajevanje, usmerjanje ter strokovno svetovanje ministrstvu in Komisiji za prostorski razvoj in ima zaradi (poleg predstavnikov pristojnih ministrstev) vključenosti strokovnjakov s prostorskega in

²³ Do junija 2022 še noben postopek DPN ni bil pripeljan do faze izdelave dokumentacije po združenem postopku.

²⁴ Komisija je politično telo, saj je sestavljena iz državnih sekretarjev posameznih pristojnih ministrstev, ki imajo pristojnosti na področju urejanja prostora.

gospodarskega področja bistveno pomembnejši strokovni vpliv kot Komisija za prostorski razvoj. Tako je razumeti, da bo imel **Prostorski svet pomembno nadzorno strokovno vlogo, Komisija za prostorski razvoj pa politično moč odločanja**; oboje seveda, če bo za to na politični ravni dovolj posluha. Glede na to, da niti Komisija niti Prostorski svet še nista ustanovljena, temu očitno ni tako.

Za vsak posamezni DPN mora biti ustanovljena **Projektna skupina**, ki bo skupaj z MOP formalno pripravljavec v postopku DPN in pri pripravi dokumentacije v združenem ali delnem združenem postopku. Projektna skupina bo prevzela strokovni vidik priprave akta s podajanjem usmeritev, pogojev in mnenj na akt v postopku načrtovanja in dovoljevanja ter predvsem poskrbela za razrešitev morebitnih konfliktnih točk oziroma podala predloge za ustrezne kompromisne rešitve, lahko tudi za uveljavitev prevlade javnega interesa. Kljub nedvomno dobremu namenu zakonodajalca pa bo treba poseben napor vložiti v organizacijo in operativno sposobnost Projektne skupine, da bo ažurno sprejemala optimalne odločitve. Zaradi velikega števila udeležencev bo težko že časovno uskladiti seje in zagotoviti udeležbo, vprašljive pa so tudi možnosti usklajevanja nasprotnih interesov oziroma konfliktov (zahtevna in kompleksna problematika, strokovnost in kompetentnost članov Projektne skupine) na sami seji.

Vsi zgoraj omenjeni organi (kot je že bilo povedano) spominjajo na prostorsko konferenco po ZUreP-1 (2002), ki je hitro postala sama sebi namen in tako ni izpolnila niti svojega namena niti (velikih) pričakovanj o potencialni platformi za razrešitev konfliktov pri načrtovanju posameznega DPN.

Šele po ustanovitvi vseh organov (Komisija za prostorski razvoj, Prostorski svet in Projektne skupine) se bo pokazalo, ali tovrstni instituti dejansko pomagajo k učinkovitejšemu načrtovanju in sprejemanju razvojnih odločitev v prostoru ter kakšna je njihova dejanska operativna vloga v postopku umeščanja državnih prostorskih ureditev v prostor. Ti organi morajo na podlagi verodostojnih informacij in izpeljanih postopkov prevzeti strokovno in politično vlogo pri razreševanju neskladij in konfliktov v postopkih prostorskega načrtovanja, če želimo povečati učinkovitost pri načrtovanju v prostoru. Zato je ključni element neomajna politična (ne zgolj deklarativna!) podpora tem organom.

Ne glede na zakonsko predpisane postopke pa bi bila smiselna ustanovitev tudi **ad hoc ali pop-up ekspertnih skupin** za posamezna področja (npr. umeščanje elektroenergetskih vodov), ki bi bile svetovalne narave in sestavljene iz (neodvisnih) strokovnjakov z različnih področij (tehničnega, družboslovnega, zdravstvenega, urbanističnega...) ter predstavnikov agencije za energijo kot neodvisnega regulatorja energetskega trga, strokovne javnosti, cehovskih združenj (združenja

občin, SAZU, Inženirska zbornica, Zbornica za arhitekturo in prostor, strokovnih društev z javnimi pooblastili itd.). Takšne skupine lahko nudijo strokovno pomoč v vseh fazah postopka predvsem v luči argumentacije in potrditve ali pa redefinicije oz. korekcije izhodišč, metodologij, postopkov, procesov in izbranih rešitev, tako da postopki lahko pripeljejo do uspešnega zaključka projekta. Na Danskem je tako npr. s strani pristojnega ministrstva ustanovljena *ad hoc* ekspertna posvetovalna skupina za elektriko, ki jo vodi Energinet²⁵. Ta za primere načrtovanja elektroenergetskega omrežja svetuje Vladi in ji predloži analize potencialnih rešitev, ki se nato upoštevajo kot izhodišče pri načrtovanju na strateški ali izvedbeni ravni. Prej opisani Prostorski svet bo imel sicer podobno vlogo, ki pa je veliko bolj formalna, zato je pomembno, da se take *ad hoc* skupine formirajo kot fleksibilnejši posvetovalni organ, ki pa mora biti vsebinsko kompetenten in nujno potrebuje formalno legitimnost.

8.4.1.4 Uporaba zakonsko dopustnih institutov razrešitve nasprotja javnih interesov, dopuščanja izjem in prevlade javnega interesa

Če se s prostorskim aktom načrtujejo rešitve, potrebne za uresničevanje razvojnih ali varstvenih ciljev ter kljub usklajevanju med oziroma z državnimi nosilci urejanja prostora v postopku priprave prostorskega akta ni mogoče oblikovati vsestransko strokovno sprejemljive in izvedljive rešitve, se kot skrajno sredstvo lahko uporabijo instituti razrešitve nasprotja javnih interesov po ZUreP-3, dopuščanja izjeme od doseganja ciljev po Zakonu o vodah in prevlade javnega interesa po Zakonu o ohranjanju narave. Ti instituti se lahko uporabijo, če gre za nujne razloge uresničevanja javnega interesa, v skladu z zakoni ali razvojnimi dokumenti države, in če je predvideni učinek javnega interesa, ki prevlada, večji od škodljivih posledic za javni interes, ki je bil prevladan. Pri prevladi enega javnega interesa nad drugim se navedejo tudi ukrepi, s katerimi se izravna škoda glede javnega interesa, ki je bil prevladan, ter usmeritve in pogoji za njihovo izvedbo.

Odločitev o razrešitvi nasprotja javnih interesov sprejme vlada s sklepom na podlagi mnenja pristojnih organov in za ta namen izdelanih strokovnih gradiv ter mnenj pristojnih NUP. Odločitev o prevladi enega javnega interesa nad drugim mora biti vedno strokovno utemeljena, hkrati pa tudi politično motivirana odločitev, ki zasleduje strateške državne cilje in je kot taka zagotovo ena izmed pomembnih možnosti za zagotavljanje izvedljivosti projektov.

²⁵ Energinet je državni operater prenosnega elektroenergetskega in plinovodnega omrežja na Danskem (ekvivalent družbama ELES in Plinovodi v Sloveniji).

8.4.1.5 Vzpostavitev načrtovanja na regionalni ravni

Večina prostorskih ureditev državnega pomena je prostorsko obsežna za načrtovanje na lokalnem nivoju, hkrati pa še vseeno premajhna za načrtovanje na državni ravni, zato je vmesni, regionalni nivo v večini primerov ustrezen za realizacijo takšnih projektov. Zaradi odsotnosti formalnega nivoja regionalne samouprave se prostorsko načrtovanje na regionalni ravni izvaja prek postopkov **regionalnih prostorskih planov**²⁶ (RPP) kot prostorskih strateških aktov, s katerim se država in občine na podlagi SPRS in njenega akcijskega programa, drugih državnih razvojnih dokumentov in družbeno-gospodarskih razvojnih potreb lokalnih skupnosti dogovorijo in uskladijo o prostorskem razvoju posamezne razvojne regije ter določijo bistvene razvojne priložnosti. Z vidika umeščanja energetskih prostorskih ureditev je RPP zelo primerno orodje za uskladitev zasnove prostorskih ureditev državnega pomena, tako da se opravi vsaj predhodno vrednotenje in utemeljitev mogočih variant, opredelijo predlogi izvedljivih variant in predložijo usmeritve za izvedbo postopkov državnega prostorskega načrtovanja. Priprava RPP v Sloveniji, ki jo pričakujemo v prihodnjih letih, je zato priložnost za razpravo o potrebah elektroenergetskega sektorja po novogradnjah in nadgradnji obstoječih DV ter njihovo umeščanje v prostor na ravni izbora najustreznejše variante in potrditve izvedljivega koridorja, ki bi bil usklajen tako na regionalni, s tem pa dejansko tudi na državni in, kar je še posebej pomembno, na lokalni ravni, na kateri se *de facto* izvaja prostorsko načrtovanje in ter umeščanje in uskladitev z drugimi rabami prostora.

Zato je treba pri pripravi testnih RPP, ki so že ali še bodo v izdelavi, preveriti možnosti vključitve strateškega odločanja o DV koridorjih ter na ta način omogočiti pospešeno umeščanje in (nad)gradnjo DV v Sloveniji. Posebej pa je treba poudariti, da se bo moral energetski sektor (tako kot tudi drugi razvojni sektorji) ustrezno pripraviti na izdelavo RPP-jev, npr. zagotoviti ustrezne idejne rešitve/zasnove, študije izvedljivosti, predhodne raziskave in druge strokovne podlage za ustrezno obravnavo in upoštevanje teh vsebin v RPP.

Ne glede na navedeno pa se za manj obsežne prostorske ureditve državnega pomena, ki se nahajajo znotraj območja ene občine, še vedno priporoča umeščanje DV v prostor s postopkom na občinski ravni (OPPN skupnega pomena) ki je krajši in bolj fleksibilen kot postopek na državni ravni, predvsem pa se na ta način lahko rešitev že v najzgodnejši fazi uskladi v lokalnem prostoru, s tem pa tudi poveča družbena sprejemljivost.

²⁶ Regionalni prostorski plan je opredeljen v ZUreP-3.

8.4.1.6 Izboljšave v postopkih DPN

Trajnostno in vključujoče prostorsko načrtovanje se v postopkih DPN udeležena predvsem v zgodnejših fazah. V času **priprave projekta ter izdelave Pobude za DPN in Študije variant** obstajajo dejanske možnosti za iskanje najustrežnejših rešitev umeščanja DV v prostor, saj so vsebine v teh aktih še vsaj delno na strateški ravni, torej je do izvedbene ravni še možna prilagoditev tras, tehničnih rešitev, načina izvedbe itd.

8.4.1.6.1 Faza zasnove projekta

Še pred začetkom formalnega postopka DPN mora investitor natančno preveriti izhodišča za načrtovanje (oziroma zagotoviti izdelavo ustreznih strokovnih preveritev) ter zagotoviti:

- določitev namena prostorske ureditve in ciljev, ki jih mora ta ureditev zasledovati,
- opredelitev potreb po prostorski ureditvi,
- nabor možnih rešitev in tehničnih izvedb prostorske ureditve,
- preverjanje družbene sprejemljivosti posega v prostoru, sodelovanje z lokalno skupnostjo, prva informacija o načrtovani prostorski ureditvi,
- preveritev okoljskih in prostorskih omejitev,
- ter preveriti tveganja in nevarnosti pri izvedbi projekta.

Na ta način so oblikovana izhodišča za izdelavo naslednjih (formalnih) korakov v postopku DPN.

8.4.1.6.2 Faza pobude za DPN

Pobuda opredeli strateška izhodišča za izvedbo projekta in določi izvedljive variante v prostoru ter pridobi usmeritve NUP za načrtovanje in predloge in pripombe javnosti. Zato je ta faza (strateško, vsebinsko) najpomembnejša v celotnem postopku. V fazi priprave pobude se preverijo okoljske in prostorske omejitve in priložnosti, ki se jih sooči s tehničnimi rešitvami, tako da se določijo prostorski koridorji za izvedbo DV, vključno z osnovnimi tehničnimi značilnostmi. V tej fazi se pridobi ali izgubi kredibilnost načrtovanja – če v fazi pobude ni opredeljenih več variant v praviloma različnih tehničnih izvedbah, če je določitev variant ozka, brez potrebne širine v razmisleku in iskanja možnih rešitev, je tak projekt že v osnovi omejen na majhen izbor in okrnjeno prilagodljivost razpoložljivih variant, kar se praviloma odraža v omejenem obsegu kasnejših možnih kompromisnih rešitev in v nemoči udeležencev (pobudnika, investitorjev, projektantov, prostorskih

načrtovalcev), da ob (zelo verjetnem) nasprotovanju javnosti in vključenih NUP uspešno zagovarjajo oz. utemeljujejo strokovne rešitve. Tipičen primer je predlaganje tras 110 kV nadzemnih DV brez možnosti razprave o potencialnih podzemnih potekih v urbanih območjih ali njihovi neposredni bližini.

Pridobitev usmeritev za načrtovanje v fazi pobude vsako prostorsko ureditev prvič sooči z nosilci urejanja prostora in njihovimi odzivi – usmeritvami za načrtovanje in vrednotenje variant. Hkrati se projekt prvič obsežneje predstavi javnosti, kar je ključno: v tej fazi ima namreč javnost dejansko moč predlagati ali komentirati rešitve, ki jih je v postopku možno neposredno vključiti, obravnavati, preveriti, sprejeti ali argumentirano ovreči. S tem se pridobi dragocena zgodnja informacija o družbeni sprejemljivosti, ki se bo, kot kaže praksa, tekom izvajanja projekta po dosedanjih izkušnjah le malo spreminjala. Problem v dosedanjih postopkih je razmeroma slaba odzivnost javnosti v tej najzgodnejših fazah, kar pa je dokaj enostavno rešljiv problem, saj je možno zagotoviti vključevanje javnosti na različne načine, o čemer bo govora v nadaljevanju. Zgodnja informacija o sprejemljivosti v lokalnem okolju je pomembna predvsem zaradi možnosti preveritve in vgradnje pričakovanj in odzivov javnosti neposredno v predlagane rešitve, ki bodo osnova za določitev izvedljivih variant in za kasnejše vrednotenje ter izbor najustreznejše variante.

Pričakovanj javnosti sicer ni mogoče vedno izpolniti (npr. pokablitev 110 kV DV v urbanem prostoru je v Sloveniji že uporabljen način izvedbe DV, pokablitev 400 kV DV pa ne, saj je soočena z bistveno večjimi tehničnimi problemi in finančnimi izzivi in je tudi v Evropi še velika redkost²⁷), zato je treba v primeru izvedbe s potencialnimi vplivi na prostor in okolje posebno pozornost nameniti pozitivnim vidikom umeščanja takšnega DV v lokalni skupnosti, npr. preureditvi drugih, obstoječih energetskih ureditev (npr. pokablitev nizko in srednje napetostnih omrežij itd.) ali drugim pozitivnim učinkom za lokalno skupnost. Zato je pomembno, da ob vsakem umeščanju v prostor, predvsem na potencialno problematičnih območjih (npr. v bližini poselitve) investitor pozna odgovor na vprašanje, kakšne so prednosti umestitve takšnega objekta v prostor za prav to lokalno skupnost. Če tega ni mogoče enostavno in enoznačno določiti, se lahko preverijo možnosti (pre)ureditve drugih degradiranih ali neustreznih prostorskih rešitev ali izvedbe drugih omilitvenih ali izravnalnih ukrepov, ki jih je morda mogoče z gradnjo DV urediti v skupno dobro in v korist lokalne skupnosti / naselja.

²⁷ V nekaterih evropskih državah (predvsem v Nemčiji in Skandinaviji) se s podzemnimi kablovi izvaja 400 kV DV za direktni električni tok (za neposredno in usmerjeno povezavo med dvema točkama v elektroenergetskem sistemu brez vmesnih odjemalcev), DV za izmenični električni tok (kot jih imamo tudi v Sloveniji) pa se še vedno v tem najvišjem napetostnem nivoju gradi kot nadzemne vode.

8.4.1.6.3 Faza vrednotenja v študiji variant

Začetna faza obravnave okoljskih vsebin v Okoljskem poročilu (v nadaljevanju : OP) je vsebinjenje, ki predstavlja (možen, neobvezen) dogovor pristojnega organa za okolje in izdelovalca OP glede obsega in nabora okoljskih vsebin, ki jih je treba podrobneje analizirati in oceniti v OP. Enak princip vsebinskega določanja obsega in nabora vsebin za obravnavo bi se lahko izvedlo tudi za prostorski in funkcionalno-tehnični vidik, potrditev oz. odločanje o obsegu in naboru vsebin pa bi bila lahko npr. ena od nalog prej omenjene *ad hoc* ekspertne skupine. S tem bi imeli vnaprej pripravljen (formalno podprt) odgovor na morebitne očitke javnosti, da vsebine ŠV niso relevantne.

Rezultat vrednotenja v ŠV je najustreznejša varianta, zato je pomembno, da je vrednotenje variant po posameznih vidikih z opredelitvijo ciljev, meril in kazalnikov ter nato sintezno vrednotenje za izbor najustreznejše variante objektivno in čim bolj transparentno. Zato morajo biti merila jasna, nedvoumna in relevantna za načrtovane ureditve ter vsebinsko uporabljena le enkrat²⁸, da so objektivna in na njihovi podlagi lahko ustvarimo rangiranje med variantami ter da se pri ocenjevanju in vrednotenju v celoti izogiba kakršnim koli (neargumentiranim) subjektivnim sodbam. V skupnem vrednotenju je lahko upoštevan princip uteži, da se pomembnejšim vidikom podeli večjo utežno moč pri primerjavi z drugimi vidiki, pri tem pa mora biti princip upoštevanja uteži natančno pojasnjen in utemeljen.

Z izborom najustreznejše variante se zaključi strateški del umeščanja v prostor in možnosti javnosti za vplivanje na projekt se za tem bistveno zmanjšajo. Zato je treba z razumevanjem sprejeti predloge javnosti v teh dveh fazah (faza pobude in faza študije variant) in jih resno obravnavati ter preveriti njihovo sprejemljivost.

8.4.1.6.4 Uredba o najustreznejši varianti in Uredba o državnem ureditvenem načrtu

Uredba o najustreznejši varianti opredeli osnovne prostorske razsežnosti načrtovane prostorske ureditve. Zato za investitorja predstavlja dobrodošlo izhodišče za izvedbo pripravljanih del, npr. dostopa na zemljišča za izvajanje meritev, za raziskave terena, ocenjevanje vrednosti nepremičnin, ureditev mej, pogodbeno pridobivanje zemljišč itd.. S tem se zagotovi pridobitev nujno potrebnih podatkov o konkretni lokaciji, ki bo obravnavana v nadaljnji dokumentaciji.

²⁸ Merila se ne smejo podvajati, saj bi s tem posameznemu kriteriju dali večjo veljavo. Ista prvina ali vsebina se lahko sicer smiselno vrednoti po ločenih merilih, če gre za vsebinsko ali pomensko različne teme: npr. grad na vzpetini je lahko pomembna prvina kulturne dediščine, pa tudi potencial za razvoj turizma in obenem tudi nosilna prvina prepoznavnosti določenega območja.

Ker uredba pomeni rezervacijo prostora za umestitev določene prostorske ureditve, dejansko predstavlja omejitev občinskega prostorskega načrtovanja (npr. z OPN ali OPPN) je treba omejitve uskladiti z občinsko službo za prostor, saj DPN (če naj bo zagotovljena njegova družbena sprejemljivost) ne sme predstavljati prevelike omejitve v prostoru, temveč samo nujne ukrepe za zagotovitev izvedljivosti posega.

Ko so ureditve državnega pomena izvedene, je priporočljivo, da se državni izvedbeni načrt razveljavi, tako da se ne obremenjuje prostora z aktom, ki ni več relevanten. Stanje (nove) prostorske ureditve je treba pri prvih spremembah in dopolnitvah občinskega prostorskega načrta obravnavati kot obstoječo javno infrastrukturo in glede na novo stanje po potrebi prilagoditi merila in pogoje za umeščanje drugih objektov v bližini te ureditve državnega pomena.

8.4.1.7 Vključevanje javnosti v postopke priprave sektorskih izvedbenih dokumentov

Edina operativna oziroma izvedbena sektorska dokumenta na področju razvoja elektroenergetskega omrežja v RS sta **10-letna razvojna načrta prenosnega in distribucijskega sistema električne energije**, ki ju pripravita sistemska operaterja prenosa električne energije (ELES d.o.o.) in distribucije električne energije (SODO, d.o.o.), potrdi pa Agencija za energijo. Dokumenta se na vsaki dve leti (zato da sta stalno ažurna) pripravita za obdobje 10 let in opredelujeta tista potrebna vlaganja v elektroenergetsko omrežje v naslednjih desetih letih, ki bodo zagotovila ustrezno prenosno zmogljivost elektroenergetskega omrežja in zanesljivost njegovega obratovanja.

Preseneča dejstvo, da sta ta dva dokumenta pripravljena na ravni upravljavcev sistemov ter usklajena na državni ravni, pa vendar javnost o njuni pripravi ni ustrezno obveščena, čeprav so v dokumentih opredeljene načrtovane prostorske ureditve in njihova časovna dinamika za kar 10-letno obdobje. Zato je nujno, da se nemudoma, že pri prvi naslednji pripravi obeh dokumentov, oba dokumenta javno objavita in obravnavata, tako da se z njima seznanijo javnost in da se lahko glede na razvojne načrte in dinamiko izvedbe posameznega DV odpre polje pogovora in dogovora o konkretnih predlaganih rešitvah z lokalnimi skupnostmi in zainteresirano javnostjo. V razpravah o pomenu prostorskih ureditev za energetski sistem je pomembno osvetljevati tudi vprašanja, kakšna je neposredna korist lokalnih skupnosti, prek katerih take ureditve potekajo, tu pa se odpirajo možnosti za usklajevanje in reševanje konfliktov v najzgodnejši fazi na lokalni ravni.

Ob javni obravnavi DV v 10-letnih razvojnih načrtih je možno izpeljati tudi

promocijske aktivnosti za uveljavljanje kratko-ali srednjeročno načrtovanih VN DV na ravni celotne Slovenije, ter na ta način širiti (na poljuden način zapisane) strokovne informacije in dvigati obveščenost in ozaveščenost javnosti. Na ta način bo mogoče izboljšati zavedanje o stanju in problematiki obstoječega omrežja predvsem v luči starosti in dotrajanosti obstoječih DV ter bodoče nadgradnje (rekonstrukcije) in novogradenj DV za ojačitev elektroenergetskega sistema Slovenije in priključevanja obnovljivih virov na omrežje v večjem obsegu.

V razvojnih načrtih se opredelijo tudi finančni vidiki načrtovanja, zato je možno v takem dokumentu tudi podrobneje opredeliti finančne zmožnosti upravljavcev elektroenergetskih vodov predvsem v luči gospodarnosti načrtovanja zaradi gradnje DV pri morebitnih podzemnih ali nadzemnih izvedbah DV.

10-letni razvojni načrti se izdelujejo v vseh državah Evrope, Zveza evropskih elektroenergetskih sistemskih operaterjev ENTSO-E²⁹ pa skrbi za obveščanje o vseh načrtovanih projektih in zanje pripravi osnovne številske značilnosti in jih prostorsko opredeli, tako da je možen stalen vpogled v stanje projektov. Na ta način je javnost stalno seznanjena s stanjem načrtovanja posameznih ureditev ter in se lahko odzove na posamezne rešitve. Razmisliti pa velja o tem, kako bi zagotovili večjo obveščenost javnosti o dostopnosti teh podatkov.

8.4.1.8 Vključevanje javnosti v postopke umeščanja, načrtovanja in dovoljevanja

Največji problem postopkov umeščanja, načrtovanja in dovoljevanja velikih infrastrukturnih projektov v javnosti je nedvomno **slaba kultura vključevanja javnosti** v te postopke in premajhna dejanska vloga javnosti v teh postopkih. Javnost se pogosto obvesti o načrtovani prostorski ureditvi (npr. ŠV s predlogom najustreznejše variante), ko je ta že zelo določena in so možnosti za vplivanje na spremembo predlagane rešitve zelo majhne. Prepogosto je tako že izbrana ali določena rešitev javnosti le predstavljena, sodelovanje pa se osredotoči na zagovarjanje predlagane rešitve brez resnega vsebinskega dialoga. V tem kontekstu je presenetljivo, da nova prostorska zakonodaja ne govori več o javnih razpravah in javnih razgrnitvah, pač pa o seznanitvah javnosti, kar navaja k (napačnemu) razumevanju, da je javnost zgolj pasivna opazovalka.

Sodelovanje javnosti je kljub nekaterim boljšim izkušnjam tudi v tujini v zadnjem desetletju zaradi povečevanja potreb po prenosu električne energije po DV spet vse bolj aktualno, pri čemer pa se poraja ključno vprašanje, kako bi bilo treba v prihodnje obravnavati in spodbujati sodelovanje javnosti, da bi bila ta boljše

²⁹ The European Network of Transmission System Operators for Electricity.

obveščena, bolj ozaveščena in bi omogočili sprejemljivost in legitimnost rešitev, ob tem pa ne bi po nepotrebnem upočasnili postopkov umestitve prostorske ureditve v prostor?

Zato je prvi in najpomembnejši princip za vključevalno in sodelovalno kulturo postopkov umeščanja v prostor, da preidemo od predstavitve in zagovarjanja že izbrane rešitve k najavi potrebe po umeščanju ureditve v prostor, k razpravi o njenem pomenu za lokalno in širšo skupnost in o možnih rešitvah ter k usklajenem in vključevalnem odločanju o najustreznejših rešitvah. Zagotoviti je treba pregledno obveščanje ter sodelovalen, vključujoč in spoštljiv postopek dialoga, ki bo vodil v medsebojno zaupanje ter prek uveljavljanja različnih pogledov in interesov med načrtovanjem tudi k ustrežnejšim rešitvam v prostoru. Pri tem zasledujemo pet družbenih ciljev (*Beierle 1998*): (1) izobraževanje in obveščanje javnosti, (2) vključevanje javnih vrednot v sprejemanje odločitev, (3) izboljšanje vsebinske kakovosti odločitev, (4) povečanje zaupanja v institucije in stroko ter (5) zmanjševanje konfliktov.

Ker je ključ uspešne komunikacije v zgodnjem obveščanju in vključevanju, je treba pred pričetkom formalnega načrtovanja predstaviti («skomunicirati») načrtovano prostorsko ureditev, pojasniti namen in razloge za ta objekt ter vključiti vse relevantne deležnike v prostoru že v najzgodnejši fazi.

Za vključevanje vseh informacij in interesov, relevantnih za sprejemanje kvalificiranih odločitev, je temeljnega pomena določitev deležnikov oziroma akterjev v procesu umeščanja prostorskih ureditev v prostor ter opredelitev njihovega pomena in vloge, pa tudi pristojnosti in obveznosti. Zakonski predpisi sicer v splošnem opredeljujejo, kako se javnost vključuje v postopke, vendar ostajajo na načelni ravni in podrobneje ne opredeljujejo načinov vključevanja javnosti in deležnikov. Urejanje prostora pa je tako kompleksen sistem, da ga ni mogoče ustrezno nasloviti za vse primere in za vse priložnosti. Zato sta nujna prilagodjenost postopkov in akterjev posamezni vrsti prostorske ureditve ter premislek, kako, na kaj in na koga posamezna prostorska ureditev lahko vpliva.

Za primer umeščanja VN DV v prostor so zato predlagani naslednji **deležniki oziroma akterji**, ki se morajo vključevati v postopke umeščanja v prostor tako, da bomo lahko govorili o sodelovanju in vključenosti ter o popolni transparentnosti odločanja:

- Vlada: vključevanje pri kompleksnih in najnujnejših infrastrukturnih projektih – npr. 400 kV DV, odločanje v primeru blokiranih projektov, sprejemanje odločitev o prevladi interesov, zagotovitev strokovne posvetovalne skupine. Vlada javnosti pojasni predvsem državni pomen in

cilje projekta ter stopnjo nujnosti izvedbe;

- Komisija za prostorski razvoj in Prostorski svet: najvišja politična predstavnik pri rednih postopkih umeščanja v prostor s podeljeno močjo odločanja. Velika so predvsem pričakovanja za Prostorski svet, saj bodo v njem sodelovali tudi nepolitični člani, torej strokovnjaki – inženirska zbornica, predstavniki nevladnih organizacij, itd.;
- projektna skupina: ključna skupina, ki pripravlja posamezen državni prostorski izvedbeni akt. Skupina je neposredno odgovorna za potek postopka in mora zato voditi in predstavljati projekt ter potrjevati vsako fazo projekta. Vodja PS mora biti strokovno podprta in aktivna oseba z izvršnimi pooblastili za učinkovito vodenje PS in mora hkrati imeti kompetence za usklajevanje in odločanje;
- ministrstvo, pristojno za energijo: kot pobudnik za načrtovanje VN DV in prvi zagovornik projekta predvsem z vidika namena in potrebnosti prostorske ureditve;
- Agencija za energijo: regulator trga, ki se mora v postopke vključevati kot neodvisno strokovno telo z namenom, da učinkovito spodbuja razvoj varnega, zanesljivega in učinkovitega elektroenergetskega sistema s posebnim poudarkom na obnovljivih virih. Agencija zaradi delovanja na trgu dobro pozna strateške in izvedbene energetske načrte in jih lahko tolmači javnosti;
- nosilci urejanja prostora (varstveni in razvojni sektorji): podajajo usmeritve za načrtovanje in se usklajujejo glede prostorske ureditve, lahko tudi medsebojno. Pri kompleksnih rešitvah bi bila dobrodošla aktivnejša podpora projektom predvsem z vidika tolmačenja javnosti glede upoštevanja (njihovih) pogojev za načrtovanje v javno obravnavanih gradivih;
- ELES d.o.o. in SODO d.o.o.: operaterja prenosnega in distribucijskega elektroenergetskega sistema, ki sta investitorja posameznih posegov za VN DV. Za izvajanje investicij imata s strani prisotnega ministra za energijo potrjen 10-letni razvojni načrt posameznega omrežja in sta izvedbena nosilca projektov VN DV, ki pa imata majhno ali skoraj nikakršno izvršilno moč ali pooblastilo. Oba operaterja sta prevečkrat prepuščena samostojnemu zagovarjanju in promoviranju projektov, ki bi jih glede na pomene teh projektov morali zagovarjati politični predstavniki (ministrstva, Vlada);
- strokovnjaki s tehničnega, okoljskega in prostorskega področja – izdelovalci strokovne dokumentacije in prostorskih aktov za prostorske ureditve:

vedno morajo zagotavljati visoko strokovnost in neodvisnost, vendar so s strani javnosti prepoznani kot izpostava investitorja. Za odgovorno izdelavo strokovnih gradiv in utemeljevanje načrtovanih ureditev potrebujejo ustrezne strokovne podlage, sredstva in čas;

- predstavniki regije (npr. regionalna razvojna agencija, območna gospodarska ali obrtna zbornica, ki lahko tolmačijo pomen in potrebnost prostorskih ureditev v širšem prostoru in njihov regionalni pomen;
- lokalne skupnosti – občine: izrecno pristojne za urejanje prostora, ki ga bo na obravnavanem obočju po sprejetju urejal državni prostorski izvedbeni akt, in v zvezi s tem podajajo usmeritve za načrtovanje. Hkrati občina zastopa tudi vse prebivalce in je eden ključnih sogovornikov države glede umeščanja DV v prostor. Občina je prvi sogovornik v najzgodnejši fazi projekta ne samo s prostorskega in okoljskega vidika, temveč zaradi poznavanja lokalnega konteksta tudi z vidika prve analize družbene sprejemljivosti;
- lastniki zemljišč, po katerih poteka DV: neposredno prizadeti s posegom med gradnjo in obratovanjem. Praviloma se z lastnikov zemljišč v fazah umeščanja prostora neposredno ne vključuje, ampak se vključujejo kot del javnosti. Lastniki zemljišč za posega na svojem zemljišču prejmejo kompenzacijo (odškodnino), pri čemer so stojna mesta DV stebrov posebnost, saj kot stalni objekti niso predmet odkupa;
- lastniki nepremičnin v bližini DV: posredno prizadeti s posegom. Ti lastniki praviloma ne prejmejo nobene kompenzacije, čeprav so lahko vplivi DV lahko zelo moteči (vidna izpostavljenost, hrup – korona in posledično zmanjšanje vrednosti nepremičnin);
- javnost: vključujejo se različne vrste javnosti – posamezniki (praviloma zaskrbljeni občani), skupine aktivnih državljanov (pogosto v obliki civilne iniciative, praviloma z močno izraženimi stališči o projektu), predstavniki gospodarstva (pogosto zagovorniki razvojnega vidika posega), lokalna društva (lokalne interesne skupine), itd.
- nevladne organizacije (strokovna društva, predvsem s področja okolja, prostora, energetike)
- *ad hoc* ekspertne skupine (skupina »nevtralnih« strokovnjakov – neodvisna stroka): priznani strokovnjaki z različnih področij, ki lahko (če tako skupino skličejo pripravljavec, pobudnik, naročnik) svetujejo predvsem pri usklajevanju interesov ali reševanju konfliktov;
- državljanski zagovornik: zastopnik interesov lastnikov zemljišč in lastnikov

nepremičnin v bližini DV – predlog: Zveza potrošnikov Slovenije kot neodvisna, neprofitna, mednarodno priznana nevladna organizacija, ki varuje in zastopa izključno interese potrošnikov. Njeno poslanstvo so informirani in osveščeni potrošniki, ki poznajo in uveljavljajo svoje pravice ter na drugi strani potrošnikom naklonjena družba, ki spoštuje in varuje pravice potrošnikov;

- moderator/mediator: koordinator sodelovanja med javnostmi ter investitorji in pobudniki.

Za vsak projekt se lahko tako opredeli in vključi vse navedene deležnike, opremi se jih z relevantnimi informacijami in s tem spodbudi na strokovnosti in zaupanju temelječ dialog, katerega rezultat bodo praviloma ustreznejše rešitve in učinkovitejši postopki umeščanja za posamezne prostorske ureditve.

Da bi dejansko dosegli usklajene in sprejemljive rešitve, je treba torej vzpostaviti proces, ki podpira stalno in obsežno sodelovanje – dvosmerno komunikacijo in usklajevanja različnih in celo nasprotnih interesov, ki edina lahko vodi k doseganju družbenih ciljev na področju uresničevanja javnih interesov in izboljšanja kakovosti odločitev o prostorskem razvoju. Pri tem so ključni trije dejavniki:

- javnosti je treba že v zgodnji fazi omogočiti aktivno sodelovanje, jo seznaniti, da se je postopek umeščanja začel, ji pojasniti možnosti sodelovanja in na razumljiv način predstaviti tehnološko-tehnične in gradbene ter druge pomembne značilnosti načrtovanih ureditev,
- potrebne bodo zakonodajne prilagoditve (glej primer Nemčije v prejšnjih poglavjih), tako da bodo lahko opredelile posebne/dodatne pogoje za načrtovanje, ki so za javnost bolj sprejemljivi (npr. večji odmik DV od stanovanjskih hiš, sicer podzemna izvedba ali druga trasa). Javnost se mora prepričati, da zlasti na začetku postopkov obstajajo možnosti dejanskega vpliva na predlagane oziroma končne rešitve,
- potrebna je sprememba miselnosti o pomenu celovitega vključevanja javnosti pri vseh deležnikih. Investitorji, pobudniki in drugi državni organi morajo razprave in pogajanja z javnostjo dojemati kot priložnost in najenostavnejši način zbiranja upravičenih pomislekov in pomembnih lokalnih informacij ter iskanja kompromisov z javnostjo. Predstavniki javnosti pa se morajo hkrati zavedati, da so konstruktivne razprave z investitorjem in pobudnikom oziroma državnimi organi in upravljavci elektroenergetskih omrežij najbolj neposreden in sprejemljiv način za izražanje pomislekov in predlogov, ob tem pa se morajo zavedati posledic

svojih predlogov, sploh če gre za izrazito nasprotovanje projektu, ki lahko bistveno oteži ali pa celo zaustavi postopek umeščanja DV v prostor.

Kultura razprav in sodelovanja zahteva tudi platformo in (ne)formalni okvir za izmenjavo informacij in stališč, zato je temu treba posvetiti ustrezen kader, znanje in čas. S trem se bo okrepilo medsebojno razumevanje in zaupanje ter ustvarila osnova za skupno iskanje kompromisov in usklajenih rešitev v prostoru. Kot primer dobre prakse se lahko izpostavi poskus vrste posvetovanj z javnostjo v primeru prehoda 220 kV omrežja na 400 kV Beričevo – Divača, ki ga je v letu 2013/2014 izpeljal ELES. Zaradi kompleksnosti problematike je bil projekt sicer ustavljen, vendar pa je bil to ustrezen poskus zgodnjega seznanjanja javnosti z različnimi vsebinskimi vidiki načrtovane ureditve, obveščanja in ozaveščanja prebivalcev o načrtovanih variantah tras in omogočanja izražanja mnenj ter predlogov o variantah tras in morebitnih predlogih za njihovo izboljšanje.

8.4.2 Prostorski vidiki

Prostorski vidiki možnih izboljšav pri umeščanju DV v prostor so vezani na dejanski potek DV in njegovo pojavnost v prostoru. Pri tem obravnavamo predvsem nadzemni potek DV, saj je podzemni kabel v prostoru bistveno manj izpostavljen in je njegov vpliv bistveno manjši od nadzemnega DV, zato je tudi bistveno bolj sprejemljiv. Glavno pozornost pri nadzemnih DV se namenja odmikom od stavb in namenskih rab prostora, na katerih je dopustna gradnja stanovanj oz. varovanih prostorov, zmanjšanju vizualne izpostavljenosti, zagotavljanju ustreznih bi-vanjskih kvalitet ter načinu izvedbe DV.

Zato kot možne izboljšave izpostavljamo:

- zagotavljanje zadostnih odmikov od stavb in poselitvenih območij,
- združevanje (in praznjenje) ter večnamenska raba infrastrukturnih koridorjev,
- preveritev možnosti za izvedbo podzemnih kablovodov,
- transparentno vrednotenje variant DV,
- preverjanje vidne izpostavljenosti.

8.4.2.1 Zagotavljanje zadostnih odmikov od stavb in poselitvenih območij

Načrtovanje poteka tras nadzemnih DV zaradi EMP, hrupa in vizualne izpostavljenosti praviloma že v izhodišču upoštevatata načelo nekompatibilnosti določenih

rab in dejavnosti v prostoru (predvsem nezdružljivosti DV in grajenih struktur, kjer se zadržujejo ljudje) ter načelo previdnosti (zaradi še ne dovolj raziskanih vplivov EMP in zaradi hrupa). Pri tem pa se vedno postavlja vprašanje, kolikšna je minimalna ali primerna oddaljenost nadzemnih DV od stanovanjskih stavb, vzgojno izobraževalnih ustanov, bolnišnic itd. oziroma od I. območij varstva pred EMP ali stavb in območij, kjer se dlje časa zadržujejo ljudje. Energetski zakon določa varovalne pasove za elektroenergetske vode v širini 15 m levo in desno od osi DV za 110 kV nadzemni DV ter 40 m levo in desno od osi 220 in 400 kV nadzemnega DV, pogoje glede gradnje stavb v varovalnem pasu pa določa Pravilnik o pogojih in omejitvah gradenj, uporabe objektov ter opravljanja dejavnosti v območju varovalnega pasu elektroenergetskih omrežij³⁰. V varovalnem pasu v splošnem ni dovoljena gradnja stavb, kjer bi se dlje časa zadrževali ljudje. Kot primer navajamo zaznamek s posveta 5: Prehod 220 kV omrežja na 400 kV Beričevo – Divača, ki je bil v letu 2013 za četrtno skupnost Tacen in občino Medvode, navaja razdaljo 60 m od (osi) 400 kV DV, kjer EMP ni bilo več zaznati, pri načrtovanem 220 kV DV na Ravnah na Koroškem pa so v smernicah NIJZ podani odmiki od osi, pri katerih vrednost EMP upade pod mejno vrednost in znašajo 46 m za 400 kV nadzemni DV, 24 m za 220 kV nadzemni DV in 14 m za 110 kV nadzemni DV.

Izkustveno bi lahko za minimalne odmike določili razdalje DV od stavb, v katerih se zadržujejo ljudje, med 60 in 100 m, odvisno od napetostnega nivoja – nižjim napetostim ustrezajo manjši odmiki. V primeru, da je DV proti stavbam tudi vizualno izpostavljen, je treba odmike povečati ali pa predvideti zakrivanje pogledov na DV.

V nemški Uredbi o izvajanju Uredbe o elektromagnetnih poljih³¹ zakonodajalec ni določil minimalnih odmikov, temveč je določil vplivno območje DV (ki znaša 400 m levo in desno od osi 380 ali več kV DV oziroma 100 m levo in desno od osi 110 kV DV). Znotraj vplivnega območja je določeno še ocenjevalno območje (ki znaša 20 m levo in desno od osi 380 ali več kV DV oziroma 10 m levo in desno od osi 110 kV DV) in za vse stavbe znotraj ocenjevalnega območja je obvezno izvesti ukrep zmanjšanja EMP. Za vse stavbe, ki so zunaj ocenjevalnega območja, vendar znotraj vplivnega območja, pa je treba narediti oceno EMP na referenčnih točkah, ki se nahajajo na robu ocenjevalnega območja na najmanjši

30 Uradni list RS, št. 101/10 in 17/14 – EZ-1.

31 Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV (26. BImSchVVwV) und Begründung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV (26. BImSchVVwV)

razdalji od posamezne stavbe izven ocenjevalnega območja. Navedeni primer ocenjujemo kot dobro prakso, po kateri bi se bilo smiselno zgledovati tudi pri nas.

Opredelitev mejnih razdalj, ki so referenčni podatek za prostorsko načrtovanje, lahko pripomore k večji družbeni sprejemljivosti, saj veljajo za vse primere in v vseh pogojih – s tem pa se v veliki meri lahko izognemo tudi številnim subjektivnim mnenjem na lokalni ravni.

Zahteva javnosti za večje odmike DV od stavb pogosto temelji na strahu pred EMP in na nezaupanju strokovnim utemeljitvam. Praksa pri nas kaže, da je vzrok za to zelo zapletena, zahtevna in razmeroma težko razumljiva problematika EMP. Zato bi bilo treba pri pripravi strokovnih gradiv, ki so namenjeni javnosti (gradiva za javno razgrnitev, javne obravnave) posebno pozornost namenjati poljudni razlagi te strokovno zahtevne tematike in jasni ponazoritvi pričakovanih vplivov EMP. V ta namen bi bilo smiselno tudi povečati število javnih objav o tej problematiki v medijih in na ta način širiti znanje ter ozaveščati javnost. Študija v ZDA je npr. pokazala, da ljudje večinsko podprejo DV, če prenaša električno energijo iz obnovljivih virov (Carley 2019), še vedno pa hkrati želijo imeti DV na varni razdalji.

8.4.2.2 Združevanje (in praznjenje) ter večnamenska raba infrastrukturnih koridorjev

Eno izmed temeljnih načel načrtovanja v prostoru je združevanje infrastrukturnih prostorskih koridorjev, ki imajo izrazito longitudinalno (linijsko) komponento. V takšnem prostorskem koridorju se znajdejo ceste, železnice, DV, plinovodi in druga gospodarska javna infrastruktura. Pri določitvi obstoječih ali načrtovanih infrastrukturnih koridorjev pa je treba biti pozoren na sposobnost prostora za sprejemanje večjega števila prostorskih ureditev v koridorju oziroma na medsebojno združljivost posameznih infrastrukturnih omrežij. Podzemni poteki so manj problematični, saj je poraba prostora majhna in razen v primeru res obsežnih prostorskih ureditev (prenosni plinovod, VN kablovod), ko predvsem gradbena dela zahtevajo obsežne ureditve – npr. podzemni dvosistemski kabel zavzame delovno širino minimalno 6-8 m, plinovod pa do 25 m, običajno je potrebna tudi vzporedna vzdrževalna cesta – podzemni vodi ne predstavljajo bistvene obremenitve za rabo prostora v koridorju. Predvsem vodenje več nadzemnih DV v istem koridorju je vizualno izjemno zahtevno in vidno izpostavljeno. Zato je smiselno pri združevanju DV v prostorske koridorje preveriti tudi, ali lahko katerega od nadzemnih DV v bližini prestavimo izven koridorja, nadomestimo (ukinemo) ali ga pokablamo, s tem pa sprostimo prostor. Primer dobre prakse je

koridor nadzemnih DV severno od Črnomlja, kjer se je ob umestitvi enega novega 110 kV DV hkrati pokabljilo enega od obstoječih DV, posledično pa obremenitev prostora ni bila prevelika.

Rekonstrukcije DV v obstoječih infrastrukturnih koridorjih je treba ob izvesti na način, da je vizualna izpostavljenost po rekonstrukciji manjša. To se izvede ali s pokablitvami ali pa tehnično izboljšanimi rešitvami.

Ena od oblik združevanja koridorjev je tudi izvedba večsistemskega DV s tremi ali štirimi sistemi, kar je uporabno predvsem na območjih z izrazitim pomanjkanjem prostora. Taki DV pogosto vizualno izstopajo, zato je pri tem potrebna posebna pozornost.

Vse nadgradnje DV sistemov morajo prinesiti novo kvaliteto - vsaka rekonstrukcija mora pomeniti izboljšavo ne samo v energetske, temveč tudi v prostorske oziroma okoljske smislu! Primer dobre prakse je partnersko sodelovanje francoskega operaterja prenosnega omrežja z lokalnimi skupnostmi, NVO, naravovarstveniki, okoljem: LIFE projekt v alpskem svetu Haute Durance (Francija): ob izvedbi pokablitev in odstranitvev SN omrežja, nadgradnji obstoječih VN DV, uporabi obstoječih koridorjev je potekalo vzporedno aktiviranje okoljskih vsebin: povečevanje biodiverzitete - obnova suhih travišč: spravilo semen, testi kaljivosti, priprava specifikacij za pripravo tal in setev, setev travinj in avtohtone vegetacije. S tem je operater električnega sistema prek partnerstva pravočasno zagotovil sprejemljivost v prostoru.

Navesti velja še primer dobre prakse v Sloveniji glede sodelovanja z lokalnimi organizacijami in sicer primer 220 kV DV na Ravnah na Koroškem, kjer se je investitor zaradi poteka prek rekreacijskega območja povezal z lokalno športno organizacijo z namenom, da prepozna konkretne interese in potrebe na prostoru, prek katerega poteka načrtovani DV in je tako olajšal postopek umeščanja, gradnje in kasneje vzdrževanja.

8.4.2.3 Preveritev možnosti za izvedbo podzemnih kablovodov

Glavni očitke prebivalcev pri umeščanju nadzemnih DV v njihovo bližino je, da bi bilo treba vsaj del trase v bližini poseljenih območij pokabljiti. Tudi prostorski načrtovalci se pri vsakem načrtovanju novega VN DV soočajo z načrtovalskim izzivom, da bodo variante trase DV v kar najmanjši meri omejevale druge rabe prostora in okolje. Zaradi že opisanih pomanjkljivosti oz. vplivov nadzemnih DV ter posledične majhne sprejemljivosti v prostoru, bo nedvomno treba pri načrtovanju novih DV zagotoviti izvedbo dela tras tudi v podzemni obliki. Kabliranje DV je danes vezano predvsem na občutljiva in izpostavljena območja ter območja

z veliko gostoto prebivalcev, praviloma v urbanem okolju. Uporaba podzemnih kablinskih tras v Sloveniji ni pogosta; to so predvsem poteki v mestih ali tik ob RTP-jih in na krajših razdaljah, kjer je bila umestitev nadzemnega DV neizvedljiva. Zaradi zelo izraženih zahtev prebivalcev in javnosti po kabliranju vedno daljših odsekov DV (zaradi strahu pred EMP in zaradi vizualnih vplivov), pogosto tudi na območjih, kjer bi bil tudi s prostorskega vidika sprejemljiv tudi nadzemni vod, je čas za ponoven razmislek o načinu izvedbe DV v podzemni izvedbi ter o posledicah takšne odločitve.

V Evropi, pa tudi v Sloveniji se vedno pogosteje kablira DV na 110 kV napetostnem nivoju, ki jih je tudi največ po skupni dolžini (v Slovenij ca 2.000 km). Cena kablovodov je trenutno 5 - 8 krat višja od primerljivih nadzemnih vodov, pri višjih napetostnih nivojih pa so še višje. Prav visoka cena največkrat odvrne investitorje DV od izvedbe podzemnega kablovoda, zato je smiselno pripraviti orodje oz. merila za odločanje o tem, kdaj je pokablitev DV upravičena in smotrna, kdaj pa ne. Pred dvema desetletjema je bil na MOP v pripravi priročnik za odločanje o upravičenosti kabliranja DV, ki je temeljil na vrsti (merljivih) kriterijev in ocen, končni rezultat pa je vodil do odgovora na vprašanje, ali je treba posamezen DV v celoti ali v delu pokablit, da se s tem poveča njegova sprejemljivost v prostoru. Žal ta priročnik ni bil nikoli uveljavljen. Uvedba takega priročnika bi dolgoročno na podlagi enotnih meril in za celotno območje Slovenije vzpostavila enoten sistem odločanja o načinih izvedbe DV in pri tem tudi do neke mere pomirila javnost, saj bi odgovorila na stalne pomisleke, ki so pojavljajo v Sloveniji pri umeščanju DV v prostor.

8.4.2.4 Transparentno vrednotenje variant DV

Pri postopkih izbora najustreznejše variante v fazi študij variant (ŠV) se za vsak DV določijo cilji, merila ter po njih vrednotijo variante in na koncu opravi sintezno vrednotenje ter izbor najustreznejše variante. V praksi ima vsak izdelovalec ŠV svojo metodologijo in nabor meril, ki je praviloma sicer smiselno usklajen z zadnjo znano izdelano ŠV, pri čemer pa ne obstajajo ažurni podatki o tem, katere izdelane ŠV sodijo med primere dobrih praks.

V Švici je zaradi zagotavljanja popolne transparentnosti in objektivnosti uveljavljen pristop z uporabo posebne sheme za ocenjevanje variant in izbor variante trase prenosnih vodov. Ocenjevanje variant se izvaja na podlagi priročnika, ki opredeli vse potrebne vidike vrednotenja variant ter na podlagi vnaprej znanega točkovanja (točke se v postopku dodaja in tudi odvzema) in uteži, ki posameznemu kriteriju (merilu) lahko dajo večji pomen. Pri odločanju o poteku koridorja

DV je treba upoštevati vplive na prostor in okolje, tehnične vidike in ekonomsko učinkovitost. To velja zlasti za vprašanje, ali naj se DV zgradi kot nadzemni ali kot podzemni kablovod, pa tudi za primerjavo variant koridorjev med nadzemnimi vodi ali med različnimi kabelskimi vodi. Navedena shema vrednotenja DV je pomemben del ocene interesov in organu upravljanja služi kot podlaga za določitev koridorja.

V priročniku so podana merila za vrednotenje, tako da je končni rezultat vrednotenja relevanten za neposredno primerjavo z drugimi, že sprejetimi/izbranimi variantami. Tako so vse različne variante DV v Švici primerjane po isti metodologiji in predstavljajo osnovo za analizo učinkovitosti takšnega sistema in prostorskih značilnosti vseh izbranih variant DV.

Za uspešno vrednotenje variant DV morajo biti variante, predlagane v Pobudi za DPN, izdelane za prostorsko različne koridorje (ne zgolj za variacijo ene trase), pri tem pa morajo upoštevati tudi različne možnosti izvedbe – podzemno in nadzemno. Če te preveritve v Pobudi niso izvedene, se ta problematika »vrne« najkasneje v fazi študije variant, pri zagovarjanju (pre)majhnega števila variant in odsotnosti rešitev za kabelsko izvedbo. Primer dobre prakse je pobuda za načrtovanje nadgradnje DV 110 kV Divača – Koper 1 v 2x110 kV, kjer so bili za potek med dolino Rižane in dolino Badaševice predlagani štirje prostorski koridorji, v njih pa predlagane kombinacije nadzemnih in podzemnih potekov, obenem pa tudi pokablitev vzporednega DV za sprostitev prostorskega koridorja.

8.4.2.5 Preverjanje vidne izpostavljenosti

Poleg EMP in hrupa je vidna izpostavljenost in s tem povezane zmanjšane bivanjske kvalitete ter izguba krajinskih kakovosti najpogostejša pripomba prebivalcev v bližini načrtovanega nadzemnega DV in če gre za visoko ovrednotena krajinska območja (izjemne krajine, območja nacionalne prepoznavnosti) tudi nasprotovanje splošne javnosti. Če se na nadzemni DV zaradi vidne izpostavljenosti gleda kot na motnjo v prostoru, potem jo je (motnjo) treba upoštevati kot ključni element (ne)sprejemljivosti v prostoru ter iskati druge rešitve in se z omilitvenimi ukrepi poskuša zagotoviti večjo sprejemljivost v prostoru.

S sodobnimi GIS pristopi se za nadzemni DV, gozdno preseko itd. izdelava model kvantitativnih podatkov v obliki lokacije in površine območij vidnih stikov, torej vidne izpostavljenosti načrtovane prostorske ureditve z mest pogostejšega opazovanja oz. območij z večjim doživljajskim potencialom (naselja in turistične točke). Model za analizo vidnosti omogoča vključevanje različnih parametrov, s tem pa preučevanje različnih variacij variant DV ter optimizacije (npr. premiki

stebrov, vpliv višanja posameznega stebra DV itd.) Analiza vidnosti je dobra podlaga za načrtovanje omilitvenih ukrepov in optimiziranje prostorskih dimenzij ukrepov za zmanjšanje vidne izpostavljenosti (obseg in višina potrebnih zasaditev ali umestitev drugih objektov, ki predstavljajo vizualno bariero itd., »utapljanje« DV v ozadje, barvanje stebrov, sonaravno in privlačno urejanje gozdnih posek.....). Analiza vidnosti je tudi pomembno strokovno gradivo za utemeljevanje načrtovanega DV v stikih z javnostjo in s tem za povečanje družbene sprejemljivosti predvidene prostorske ureditve v fazi javne razgrnitve ŠV in predloga najustreznejše variante.

8.4.3 Tehnični vidiki

Večjo sprejemljivost DV v prostoru se lahko zagotovi tudi z upoštevanjem zadnjih tehnoloških dognanj in sodobnega oblikovanja posameznih elementov DV.

DV koridorji s stebri iz klasičnih jeklenih paličij zavzemajo prostor širine ca 10 m za napetostni nivo 110 kV in do 25 m za napetostni nivo 400 kV. To širino se lahko bistveno zmanjša z uporabo jeklenih poligonalnih stebrov. Poligonalni kompaktirani stebri okroglega profila so primerni za vgradnjo na ravninskih predelih in v urbaniziranih območjih, kjer je treba širino DV koridorja zmanjšati na najmanjšo možno mero in je hkrati dopustno večje število nižjih stebrov, oziroma manjša srednja razpetina DV. V pogledu vzdrževanja teh DV so dosedanje izkušnje pozitivne, saj so morebitna popravila na stebru poenostavljena glede uporabe orodja in mehanizacije, predvsem pa glede porabe časa. Investicijski strošek DV s poligonalnimi stebri pa je v primerjavi z DV z jekleno predalčno konstrukcijo višji za ca. 40 %.

Tehnične rešitve DV je treba prilagoditi značilnostim prostora oz. koridorja, v katerem poteka DV, ta pa je enkrat v svoji lastni pojavni obliki.

Družba Energinet na Danskem je z uporabo kvalitetno oblikovanih DV stebrov požela odobravanje javnosti, ki je pokazala, da ceni vsako prizadevanje za zmanjšanje vizualnih vplivov novih nadzemnih vodov. Novi stebri so vitkejši, oblikovani s čistimi linijami, uporabljena je sodobna oprema - izolatorski in drug material za pomožne energetske elemente. Poleg oblikovnih elementov se pri DV izvaja optimizacije ostale opreme – višina stebrov se lahko prilagodi za potrebe poteka nad drevesi, oblike glav (konzole za obešanje vodnikov) in razporeditev vodnikov ipd.. Posebej pomembno je, da so novi stebri tudi stroškovno učinkoviti, formiralo pa se je tudi novo zaupanje med inženirji kot snovalci stebrov,

ENERGINETom kot investitorjem in nosilcem sprememb ter javnostjo, ki želi premik naprej pri umeščanju DV v prostor.

Zahteva, da inženirji in arhitekti na Danskem sodelujejo pri vseh vidikih razvoja in optimizacije stebrov, zagotavlja, da bodo rešitve nastale kot kompromis med zasnovo in stroškovno učinkovitostjo. Arhitekti pogosto razmišljajo »izven okvirjev«, kar je izziv za standardne odločitve, medtem ko inženirji zagotavljajo, da so predlagane rešitve realistične, da jih je mogoče izdelati in da so stroškovno učinkovite. Čeprav se je postopek doslej izkazal za večinoma pozitivnega, novo razviti stebri še niso popolni. Zato je pomembno, da se ta način dela ohrani in s tem zagotovi, da bodo rešitve za okrepitev prenosnega omrežja na Danskem in drugod estetske in stroškovno učinkovite.

8.4.4 Finančni vidiki

Umeščanje DV v prostor se je izkazalo za postopek, poln kompromisnih rešitev, pri čemer se kompromisi sklepajo zato, da se poveča sprejemljivost DV v družbi ter zagotovi izvedba DV ter omogoči njegovo nadaljnje obratovanje in vzdrževanje.

Prizadeti lastniki morajo dobiti pravično odškodnino za služnost DV na njihovih zemljiščih, poleg tega pa je treba s sistemi kompenzacije zagotoviti nadomestilo lokalni skupnosti in lastnikom v bližini DV. Kmetom in lastnikom gozdov je treba ponuditi več možnosti nadomestil za prizadeta zemljišča, med njimi tudi zamenjavo zemljišč – v ta namen mora država zagotoviti ustrezne aktivnosti ter kader in tudi fond zemljišč za morebitno zamenjavo.

Kompenzacija lokalni skupnosti ima lahko še druge oblike, predvsem npr. ureditve v javno korist. V Sloveniji še nimamo vzpostavljenega sistema povrnitve okoljskih škod, rent ali taks, tako da gre pri DV za dogovor med investitorjem in lokalno skupnostjo.

Pokablitev DV na določenem odseku se lahko šteje tudi kot vrsta kompromisne rešitve oziroma kompenzacije lokalnim prebivalcem. Menimo, da mora razlika v ceni podzemnega kablovoda v primerjavi z nadzemnim DV plačati država, saj gre za t.i. »nadstandardno« rešitev objektov državnega pomena, ki je v javnem interesu.

Združenje operaterjev elektroenergetskih omrežij Evrope (ENTSO-E 2016) navaja, da je irski operater EirGrid v nekaterih primerih uvedel plačila zaradi bližine DV posamezni nepremičnini vključno z enkratnim plačilom lastnikom

zasedenih stanovanjskih nepremičnin (ali tistih s popolnim gradbenim dovoljenjem) v oddaljenosti 200 metrov od najbližje točke nepremičnine do središča novih 400 kV DV ali v oddaljenosti 200 m od nove RTP.

Praksa kaže, da javnost v celoti podpira zamenjavo nadzemnih DV s podzemnimi kablovodi, ki pa je za državo oziroma operaterja izjemen dodaten strošek. Študije dokazujejo (Menges 2014), da v povprečju velika večina ljudi (60 %) podpira gradnjo DV v kabelski izvedbi. Ko so soočeni z dejstvom, da bo zaradi višjih stroškov gradnje podzemnih kablovodov cena električne energije narasla, pa 50 % od teh ne želi plačati višjih stroškov.

Zato bo potreben premislek, kako za višji strošek prostorsko ustrežnejših ureditev pridobiti dodatna sredstva – menimo, da mora glede na dejstvo, da gre za prostorsko ureditev državnega pomena, pri tem obvezno sodelovati državni nivo (pobudnik prostorske ureditve, Vlada RS).

8.5 ZAKLJUČEK

Za spopadanje z vse večjimi izzivi podnebnih sprememb in (ne)dostopnostjo virov v Sloveniji nujno potrebujemo dodatno elektroenergetsko infrastrukturo. Vendar pa umeščanje VN DV v prostor sproža stalno nasprotovanje prebivalcev v bližini načrtovanih elektroenergetskih objektov, ki navajajo predvsem pomisleke zaradi zaznanih zdravstvenih tveganj, izgube krajinskih kakovosti in vplivov na vrednost svojih nepremičnin. Dosedanji postopki umeščanja, načrtovanja in dovoljevanja tovrstnih objektov so bili sicer vedno izvedeni skladno z zakonskimi določili, pa vendarle v mnogih primerih očitno niso uspeli v celoti zadovoljiti (vse bolj) zahtevnega javnega mnenja.

V tem prispevku so podani predlogi rešitev za večjo sprejemljivost DV v prostoru, ki so usmerjeni predvsem v čim večjo preglednost postopkov, informiranost strokovne in širše javnosti o značilnostih, pomenu in vplivih energetskih sistemov, v vključevanje in sodelovanje javnosti v postopke od samega začetka, v vseh fazah in na vseh vsebinskih področjih. Glede na dosedanje izkušnje lahko upamo, da bo z upoštevanjem teh ukrepov možno vzpostaviti večje zaupanje javnosti do načrtovanih objektov, ki nenazadnje služijo prav tej isti javnosti, in zagotoviti čim prejšnjo izgradnjo potrebnih VN elektroenergetskih objektov.

8.6 LITERATURA

- Acer Novo mesto, d.o.o. DPN za daljnovod DV 2×110 kV Trebnje-Mokronog-Sevnica. Stališča do pripomb iz javne razgrnitve. Acer Novo mesto, Novo mesto, 2020. dostopno na: <https://www.mokronog-trebelno.si/DownloadFile?id=291536>
- Beierle T C. Public participation in environmental decisions: An evaluation framework using social goals. Discussion paper 99-06. Resources for the Future, 1998. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.10497>
- Bundesnetzagentur. Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz. 2011. dostopno na <https://www.netzausbau.de/Wissen/GesetzeVerstehen/NABEG/de.html>
- Bundesbedarfsplangesetz (BBPlG). 2021. dostopno na [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&start=/*\[@attr_id=%27bgbl121s0298.pdf%27\]#_bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl121s0298.pdf%27%5D__1655575412202](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&start=/*[@attr_id=%27bgbl121s0298.pdf%27]#_bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl121s0298.pdf%27%5D__1655575412202)
- Carley S, Ansolabehere S, Konisky DM. Are all electrons the same? Evaluating support for local transmission lines through an experiment. PLoS ONE 14(7): e0219066, 2019. Dostopno na: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219066>
- Eichhorn M, Thylmann M, Peters W, Kinast P, Thran D, Bauschmann M, Seitz S, Ponitka J. Spatial Distribution of Overhead Power Lines and Underground Cables in Germany in 2016. Data 3(3): 34, 2018. <https://doi.org/10.3390/data3030034>
- ELES. Zaznamek s posveta 5: Prehod 220 kV omrežja na 400 kV Beričevo – Divača. Posvet za občini Ljubljana (mestna četrt Tacen) in Medvode, 2013.
- ELES d.o.o. Direktor družbe ELES ustavil projekt prehoda 220 kV omrežja na 400 kV Beričevo-Divača, 21.06.2017, 2017. dostopno na <https://www.eles.si/prehod-220-kv-omreza-na-400-kv-bericevo-divaca/novice-o-projektu/ArticleID/11941/Direktor-dru%C5%BEbe-ELES-ustavil-projekt-prehoda-220-kv-omre%C5%BEja-na-400-kV-Beri%C4%8Devo-Diva%C4%8Da>
- ELES d.o.o. Razvojni načrt prenosnega sistema Republike Slovenije za obdobje 2021–2030. ELES d.o.o., Ljubljana, 2021. dostopno na: https://www.eles.si/Portals/0/Documents/ELES_razvojni_nacrt_2021-2030-r.pdf
- ENTSO-E. Real-life implementation of electricity projects of common interest – best practices. ENTSO-E, Bruselj, 2016. dostopno na https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/sdc-documents/AIM/entsoe_rl_imp_PCI_s_web.pdf
- Energinet. Evaluating Transmission Structures for Reduced Cost & Greater Public Acceptance. Energinet 2022. dostopno na: <https://www.inmr.com/transmission-structures-for-reduced-cost-greater-public-acceptance/>
- ENTSO-E: TYNDP 2020 Projects Sheets. ENTSO-E, Bruselj, 2020. dostopno na: <https://tyndp2020-project-platform.azurewebsites.net/projectsheets/transmission>
- INMR. Evaluating Transmission Structures for Reduced Cost & Greater Public Acceptance. 2022. dostopno na <https://www.inmr.com/transmission-structures-for-reduced-cost-greater-public-acceptance/>
- LUZ d.d. DPN za daljnovod DV 2×110 kV Kamnik – Visoko. Stališča do pripomb v fazi javne razgrnitve dopoljenega osnutka državnega prostorskega načrta. LUZ, Ljubljana, 2016. dostopno na: <https://www.cerklje.si/DownloadFile?id=33139>
- LUZ d.d., IGEA d.o.o. DPN za RTP Ravne s priključnim 220 kV daljnovodom. Stališča do pripomb v fazi javne razgrnitve dopoljenega osnutka državnega prostorskega načrta. LUZ d.d., IGEA d.o.o., 2022. dostopno na: <https://www.ravne.si/DownloadFile?id=463778>
- Menges R, Beyer G. Underground cables versus overhead lines: Do cables increase social acceptance of grid development? Results of a contingent valuation survey in Germany. International Journal of Sustainable Energy Planning and Management, 3, 33–48, 2014. <http://dx.doi.org/10.5278/ijsep.2014.3.4>
- MOP. Pravilnik o dokumentaciji pri državnem prostorskem načrtovanju. 2022. dostopno na <https://e-uprava.gov.si/drzava-in-druzba/e-demokracija/predlogi-predpisov/predlog-predpisa.html?id=13786>
- Regionalni center za okolje. Skupno poročilo o sodelovanju javnosti na posvetih o državnem prostorskem načrtu za prehod 220 kV omrežja na 400 kV Beričevo-Divača. Regionalni center za okolje, Ljubljana, 2014. dostopno na: <https://www.eles.si/Portals/0/Documents/SKUPNO%20porocilo%20s%20posvetov%20s%20prilogami.pdf>
- SODO d.o.o. Razvojni načrt distribucijskega sistema Republike Slovenije za obdobje 2021–2030. SODO d.o.o., Maribor, 2020. dostopno na: <https://www.sodo.si/storage/app/uploads/public/5ff701b40/5ff701b404eb853335849.pdf>
- Vončina R. et al. RTP Ravne s priključnim 220 kV daljnovodom: Usmeritve in priporočila za ohranjanje kakovosti okolja na območju Navrškega vrha. EIMV d.o.o., Ljubljana, 2020.

- Vončina R. et al. Stališča do predlogov civilnih iniciativ z okoljskega vidika (DPN za prehod 220 kV omrežja na 400 kV Beričevo – Divača), EIMV, Ljubljana, 2017. dostopno na: <https://www.eles.si/Portals/0/Bericevo-Divaca/Dokumenti%20za%20novice/Staliska%20do%20predlogov%20civilnih%20iniciativ%20z%20okoljskega%20vidika.pdf>
- Wendt V. Underground cables in Europe: Overview. Europacable, Raesfeld, 2017. dostopno na https://renewables-grid.eu/fileadmin/user_upload/Files_RGI/Event_material/Prospects_of_undergrounding_power_lines/2017_RGI_workshop_underground_cables_Volker_Wendt_Europacable.pdf
- Zvezno ministrstvo za okolje, promet, energijo in komunikacije ter Zvezni urad za energijo. Handbuch zum Bewertungsschema Übertragungsleitungen. Švica, 2013. dostopno na: <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/30095.pdf>

9 Uvajanje načela previdnosti

Fedor Černe, Peter Gajšek

Prospex Institute vzv, Belgija

Inštitut za neionizirna sevanja, Slovenija

Za varstvo okolja bodo države čim bolj uporabljale previdnostni pristop, skladno s svojimi zmožnostmi. Kjer obstaja resna nevarnost, da bo prišlo do nepopravljive škode, se pomanjkanje popolne znanstvene gotovosti ne more uporabiti kot razlog za odlaganje stroškovno učinkovitih ukrepov za preprečevanje uničevanja okolja
Deklaracija iz Ria o okolju in razvoju, 1992

9.1 UVOD

Ko so se v šestdesetih in sedemdesetih letih pričeli razvijati sodobni koncepti upravljanja z okoljem, so sprva prevladovali instrumenti neposrednega nadzora, osredotočeni na nedvoumno povezavo med vzrokom in posledico ter na čim hitrejšo odpravo vzrokov onesnaževanja (Černe 1995). Prva svetovna konferenca o okolju v Stockholmu leta 1992 (UN 1992) se je že umaknila od same odprave žarišč okoljskih problemov k preventivi, torej k pravočasnemu zaznavanju tveganj. Sprva so se uveljavljali ukrepi namenjeni obvladovanju tveganj, kjer so bile posledice določenega vpliva na okolje ali zdravje ljudi nedvoumne, torej znanstveno dokazane. Postopoma pa se je krepila tudi smer obvladovanja tveganj, kjer učinki na okolje ali zdravje ljudi sicer niso bili tudi znanstveno potrjeni, vendar možne posledice niso dopuščale čakanja na zaključek znanstvenih raziskovanj. To je bila podlaga za uveljavitev načela previdnosti, ki je bilo na globalni ravni sprejeto z deklaracijo o okolju in razvoju (UN / GA 1992) na prvi svetovni konferenci o trajnostnem razvoju v Riu leta 1992 (MOP 2004).

Pričakovanja ob sprejemu načela previdnosti so bila izjemna, vendar je bilo deležno tudi resnih kritik (Persson 2016). Eden od problemov, ki se pogosto izpostavlja je, da ni jasno, kaj načelo previdnosti pravzaprav res določa in kako ga uporabljati v praksi. Drugi problem se je nanašal na vprašanje, kdo odloča o tveganjih. O tem ali so tveganja potrjena ali pa so samo predmet utemeljene

domneve, lahko odloča samo znanost. Znanost pa seveda ne more odločati o tem, kakšno tveganje je sprejemljivo in kakšen je obseg potrebnih ukrepov. O tem lahko odloča samo politika, seveda v dialogu z zainteresiranimi deležniki in glede na materialne možnosti. Za kako pomembno in občutljivo razmejitev gre so pokazale vsaj tri velike teme, ki jih združuje oblikovanje politik v pogojih negotovosti: problematika genetsko spremenjenih organizmov, izzivi podnebnih sprememb ter pandemija virusa SARS-CoV-2¹. Vse tri teme so na področju zaznavanja načela previdnosti ustvarile globoke premike, ki pa jih dobro poznamo samo v fragmentih. Boswell (2021) se na primeru pandemije SARS-CoV-2 sprašuje, ali ni prav razprava o odzivu in ukrepih v zvezi s pandemijo povrnila nekaj zaupanja v znanost? Sprejete zaveze prehoda v brezogljivično družbo so potrdile utemeljenost opozoril, da morajo biti ukrepi realni in družbeni stroški sprejemljivi². Ob zahtevah za višjo raven samooskrbe zaradi vojne v Ukrajini tudi utemeljeno pričakujemo ponovno odpiranje odločitev v zvezi z gensko spremenjenimi organizmi v kmetijstvu ter odločitve o hitrem zapiranju termo ter jedrskih elektrarn.

Ne glede na takšen uvod je namen tega prispevka samo prikazati glavna načela v zvezi z obvladovanjem tveganj, nekoliko podrobneje predstaviti načelo previdnosti ter zaključiti s pomenom sodelovanja z deležniki.

9.2 PREVENTIVNI UKREPI – SPLOŠNA NAČELA

Preventivni ukrepi se uporabljajo v okviru upravljanja s tveganji. Njihova uporaba je odvisna predvsem od razpoložljivih znanstvenih dognanj glede obstoja vplivov na okolje in zdravje ob določenem posegu v okolje. V praksi je razvitih več pristopov na osnovi treh načel:

- previdnosti,
- preventive in
- ALARA (As Low As Reasonably Achievable).

Okoljska politika pozna sicer še druga načela, kot je na primer načelo najboljše opcije (*BPEO – Best Practical Environmental Option*), ki je bilo uveljavljeno v Veliki Britaniji (*O’Riordan 1989*). V nasprotju s pristopi, ki so zasledovali

1 Praktično vsak posameznik se je moral odločiti med tveganjem zaradi možnih stranskih učinkov cepljenja ali zaradi posledic bolezni. V obeh primerih je bilo kritično zaupanje v znanost in politike.

2 Drug dejavnik, ki se pomembno dotika javnosti pa so izzivi odločitve hitrega in radikalnega prehoda ogljično nevtralnemu družbo. Ali in kako bo to vplivalo na iskanje kompromisov pri posodobitvi energetskega omrežja brez česar je želena brezogljivična bodočnost nemogoča?

cilj dopustnih vplivov na človeka in naravo, načelo BPEO išče najboljšo rešitev z vidika narave. To načelo je mogoče smiselno primerjati z idejami o širitvi načela previdnosti na področje trajnostnega razvoja, o čemer govori *Akins et al. (2019)*, kar pa je stvar druge razprave.

9.2.1 Razlikovanje med načelom previdnosti in načelom preventive

Pred prikazom posameznih načel velja uvodoma jasno razmejiti razlike med načeloma previdnosti in preventive. V teoriji je glavna razlika med njima v tem, ali so povezave med vzrokom (vpliv na okolje, zdravje ljudi) in posledico (škoda v okolju, zdravstvene posledice) znanstveno dokazane. Kadar vemo, da obstaja določena vzročna zveza med posegom v okolje in nastankom škode, se uporablja **načelo preventive**. Kadar pa take gotovosti ni, se uporablja **načelo previdnosti**.

Z drugimi besedami, preventivni ukrepi so uporabljeni za zagotavljanje znižanja obremenjenosti okolja in ljudi in s tem povezanim dokazanim zmanjšanjem škode oziroma znižanjem tveganja, medtem ko se previdnostni ukrepi uvajajo takrat, ko verjetnost potencialnega tveganja ni nedvomno izkazana (*De Sadeleer 2002*).

V teoriji, predvsem v EU in njenih državah članicah, je ločnica med načeloma previdnosti in preventive na teoretični ravni opredeljena. Praksa pa je pokazala, da široka uporaba načela previdnosti avtomatično vključuje tudi načelo preventive, ki je zato po mnenju določenih avtorjev postalo nekoliko nepotrebno (*Trouwborst 2009*). Prav tako se številni mednarodnopravni viri (med njimi tudi Rio deklaracija) opredeljujejo zgolj do načela previdnosti, pri čemer lahko sklenemo, da to po vsebini vključuje tudi načelo preventive. Tudi če takšno razlago sprejmemo, je potrebno poudariti, da konkretni ukrepi morajo odraziti, ali gre za dejansko, znanstveno dokazano povezavo med vzrokom in posledico, ali pa na takšno povezavo samo utemeljeno sumimo.

Poglejmo gornjo trditev nekoliko podrobneje. Čeprav torej med načeloma sicer v teoriji ter po določenih pravnih virih (tudi ZVO-1³) obstaja razlikovanje, da se

- načelo previdnosti uporabi v primeru, ko obstaja znanstvena negotovost glede obstoja tveganja za okolje/zdravje, ki bi ga lahko potencialno predstavljal nek poseg v okolje. Načelo previdnosti se lahko nanaša na bolj konkretne postopke in uvajanje tehnologij, na podlagi znanosti in tehnike,

³ Zakon o varstvu okolja.

načelo pa pomeni okvir tako za zakonodajalca, pripravljavca predpisov kot tudi za ostale pravne in fizične osebe, ki so lahko eventualni onesnaževalci okolja. Načelo previdnosti se nanaša na uvajanje novih tehnologij in postopkov predvsem v smislu urejanja bodočega stanja.

- načelo preventive uporabi v primeru, ko te negotovosti ni oz. obstaja jasno dokazano tveganje, ki ga lahko nek poseg v okolje predstavlja. Načelo postavlja in določa splošni okvir, ki naj bo zakonodajalcu, pripravljavcu predpisa itd. vedno v ospredju pri sprejemanju vseh pravnih norm (npr. pri določanju mejnih vrednosti, standardov, pravil ravnanja) v zvezi z varstvom okolja. Načelo vključuje tudi splošno podajo priporočil. Načelo preventive se nanaša na trenutno razpoložljivo najboljšo tehniko, na podlagi katere se predpišejo mejne vrednosti ter standardi za urejanje sedanjega stanja.

Načeli v kontinentalnem pravnem sistemu, kateremu pripada tudi Republika Slovenija, nimata neposredne pravne veljave, v večini primerov sta bolj priporočili, napotili,včasih sta bolj, včasih manj zavezujoči, v večini sta moralno pravični in splošno sprejeti, na podlagi in v skladu z njima pa so nato sprejeta bolj določena pravna določila.

V praksi jasnega razlikovanja ni zaznati. Še več, uporaba načela previdnosti je mnogokrat raztegnjena tudi na situacije, ko je tveganje dokazano, negotovosti glede vplivov na okolje pa ni.

Razlika med mehanizmoma preventive ter previdnosti postane izrazitejša predvsem ob uporabi načela sorazmernosti (ki je inherentno obema načeloma – oz. nadaljnji korak pri njuni aplikaciji). Pri uporabi načela sorazmernosti je potrebno tehtati med koristmi in stroški ukrepov v primerjavi s tveganji, ki jih potencialno predstavlja poseg v okolje (npr. gradnja daljnovodov). V kontekstu previdnosti v povezavi z ugotovljenimi tveganji zaradi nizkofrekvenčnih (v nadaljevanju NF) magnetnih polj (v nadaljevanju MP) to pomeni, da morajo biti stroški ukrepov nizki oz. zanemarljivi (tako tudi npr. SZO⁴ – poglavje Stališče svetovne zdravstvene organizacije do načela previdnosti), saj ni jasno, kakšne koristi za zdravje bi previdnostni ukrepi (ob upoštevanju znanstvene negotovosti) sploh prinesli. Po drugi strani pa je tehtanje med stroški, koristmi in tveganji lahko bolj konkretno izvedeno v sklopu uporabe načela preventive, kjer so koristi bolj jasno izkazane, tveganja pa jasno dokazana in poznana.

V Sloveniji je **načelo previdnosti** opredeljeno v 8. členu ZVO-1. Poleg načela

4 Svetovna zdravstvena organizacija

previdnosti pa je v tem zakonu v 7. členu navedeno tudi **načelo preventive**. Kot je pojasnilo Vrhovno sodišče RS (sklep opr. št. I Up 221/2019), načelo previdnosti na eni strani zahteva, da v primeru dvoma prevlada korist varstva okolja pred drugimi interesi, načelo preventive pa postavlja v ospredje dolžnost preventivnega ukrepanja, torej izvedbo tistih ukrepov, ki preprečijo hkrati neposredno nevarnost za okoljsko škodo kot tudi škodo samo. Poleg tega to načelo vsebuje tudi dolžnost, da se okoljska škoda odpravlja že pri viru samem.

9.2.2 Načelo previdnosti

V politiki upravljanja tveganj se načelo previdnosti upošteva ob visoki stopnji znanstvene negotovosti, ko zaradi možnih posledic ni primerno čakati na končne izsledke znanstvenih raziskav. Načelo previdnosti ni načelo, ki bi določalo, kaj je potrebno storiti, da bi dosegli neko dodatno varnost, ali celo kako ravnati v primerih, ko je potrebna dodatna previdnost. *Persson (2016)* je v analizi nekaterih najpogostejših in najvplivnejših primerov uporabe previdnostnega načela ugotovil štiri okoliščine, ki upravičujejo dodatno previdnost, in sicer:

- Ko imamo opraviti s pomembnimi vrednotami, ki jih tradicionalne metode odločanja običajno sistematično podcenjujejo - kot sta zdravje ljudi in okolje.
- Kadar bi odločitev lahko povzročila nepopravljive in hude posledice in so vrednote, za katere gre, prav tako nenadomestljive.
- Kadar je čas vsaj tako pomemben kot pravilnost zaključkov ter
- Kadar je pomembneje, da se izognemo lažno negativnim, kot lažno pozitivnim rezultatom.

Več o načelu previdnosti v nadaljevanju.

9.2.3 Načelo (razumne) preventive

(Razumno) preventivo (*Prudent Avoidance*) so kot strategijo upravljanja tveganja v primeru NF elektromagnetnih polj (v nadaljevanju EMP) razvili *Morgan, Florig in Nair* z univerze *Carnegie Mellon* (*Nair e. al. 1989*). V svojem poročilu leta 1989 so omenjeni avtorji razumno preventivo opredelili kot »ukrepe za zadrževanje ljudi zunaj območij s preusmeritvijo naprav in predelavo električnih sistemov in

naprav.« Razumnost je bila opredeljena kot »izvajanje teh preventivnih ukrepov ob zmernih stroških.«

Preventivni pristop pomeni uporabo tehnik, ki so hkrati preproste, lahko dosegljive in cenovno sprejemljive za zmanjšanje izpostavljenosti EMP in to tudi takrat, ko stopnja tveganja ni jasno ugotovljena, je pa jasno ugotovljeno, da le-ta obstaja. Tudi tukaj ključni pojmi kot npr. »preprosti«, »lahko dosegljivi« in »poceni« niso natančno opredeljeni. V praksi se politika previdnosti praviloma uporablja le pri novih sistemih, ko že manjše spremembe v projektiranju lahko zmanjšajo izpostavljenost okolja in ljudi. Zaradi praviloma visokih stroškov pa se tak pristop ni uporabil pri rekonstrukciji obstoječih virov EMP.

Preventivni pristop (imenovan tudi kot razumna preventiva) so kot politiko uveljavili nekateri operaterji v Avstraliji, na Švedskem in v nekaterih ameriških zveznih državah (Kalifornija, Kolorado, Havaji, New York, Ohio, Teksas in Wisconsin). Avstralija je sprejela politiko preventive za nove daljnovode (v nadaljevanju DV) za prenos in distribucijo električne energije, ukrepe same pa je vlada opisala kot »splošna vodila«, ki se upoštevajo brez povzročanja »nepotrebnih težav«. Ukrepi, ki jih je mogoče izvesti ob »majhnih stroških«, »razumnih stroških« ali »brez stroškov«, vključujejo preusmeritev DV od šol in ustrezno načrtovanje zaporedja faz vodnikov za zmanjševanje MP (ENA, 2016). Razumevanje besedne zveze »brez stroškov« ali z »majhnimi stroški« je od države do države različno, vendar sprejemljivo povečanje stroškov za večino držav pomeni nekaj odstotno povečanje skupnih stroškov projekta ob doseganju »znatnega zmanjšanja« NF MP. V Veliki Britaniji (VB) so merila postavljena tako, da je dovoljeno povečanje skupnih stroškov projekta **do štiri odstotke** za dosego »znatnega zmanjšanja NF MP«, ki predstavlja najmanj 15 % glede na vrednosti NF MP brez ukrepov (SAGE 2010). Nove projekte vodijo tako, da od projektantov najprej zahtevajo načrte, zasnovane v skladu s standardnimi principi dobre prakse, ki ne vključujejo stroškov za zmanjševanje NF MP. Projektant nato projekt dopolni z osnutkom/priporočilom nizkocenovnih ukrepov za zmanjšanje tveganja v povezavi z NF MP, zlasti kadar so deli projekta v bližini stanovanjskih območij, javnih ali zasebnih šol, vrtcev in javnih igrišč (Kandel et. al 2016). Celotni stroški načrtovanih ukrepov se torej ocenijo tako, da znašajo največ nekaj odstotkov skupnih stroškov celotnega projekta, vključujoč vse stroške, ki s tem nastanejo. Pomembno je opozoriti, da smernica v obsegu nekaj odstotkov največkrat ni absolutna omejitev, saj upravljalec ne želi prezigodaj izvesti potencialnega ukrepa, ki bi bil na voljo in bi bil posebej učinkovit (npr. bi omogočil zmanjšanje NF MP za več kot 15 %), vendar bi prinesel nekaj več stroškov od predvidenih. Prav tako ti odstotki niso

absolutni prag, saj regulator običajno želi spodbujati operaterja omrežja k iskanju učinkovitih ukrepov za zmanjšanje obremenitev okolja z EMP, četudi bi s tem nekoliko presegli omejitve glede stroškov. Na splošno lahko rečemo, da je pri zasnovi novih projektov potrebno upoštevati njihovo specifičnost, saj se med seboj lahko precej razlikujejo v obsegu vplivov na okolje in zdravje, zaradi česar je potrebna tudi določena prilagodljivost pri postavljanju omejitev (*RIVM 2017*).

V ZDA noben državni organ ni izrecno zahteval implementacije politike razumne preventive v povezavi z NF MP. Še najbolj se je temu približal Nacionalni inštitut za zdravstveno ekologijo (NIEHS) s priporočili ameriškemu kongresu, naj elektrogospodarstvo še naprej namešča DV tako, da se bodo izpostavljenosti zmanjševale, ter naj išče poti za zmanjšanje MP okrog DV za prenos in distribucijo električne energije (*NIEHS 1992*). Operaterji naj iščejo nove tehnološke pristope, ki zmanjšujejo izpostavljenost DV za prenos električne energije ob predpostavki, da se s tem ne povečajo druga tveganja.

V Sloveniji načelo preventive narekuje, da mora biti vsak poseg v okolje načrtovan in izveden tako, da povzroči čim manjše obremenjevanje okolja z uporabo najboljših razpoložljivih praks. Za preprečevanje škodljivih učinkov na okolje in zdravje ljudi se posegi v okolje usmerjajo tudi z dolgoročno naravnanimi priporočili.

9.2.4 ALARA

ALARA je kratica za »*As Low As Reasonably Achievable*« in označuje politiko zmanjševanja znanih tveganj, ki želi zmanjšati izpostavljenost do meje, ki je še sprejemljiva glede na stroške, tehnologijo, koristi za splošno zdravje in varnost ter druge socialne in ekonomske parametre. ALARA se danes upošteva predvsem pri varstvu pred ionizirnimi sevanji. Mejne vrednosti niso postavljene na podlagi praga, temveč na podlagi »*sprejemljivega tveganja*«. V teh okoliščinah je smiselno zmanjševati tveganje, za katero predvidevamo, da morda obstaja tudi na ravneh, ki so nižje od priporočenih mejnih vrednosti in to na podlagi predpostavke, da je »*sprejemljivo tveganje*« lahko zelo različno in je odvisno od posameznika. To načelo ni primerno v zvezi z EMP (niti NF niti z visokofrekvenčnimi), ko ni pričakovati tveganja pri nizkih nivojih izpostavljenosti kljub razširjenosti izpostavljenosti.

9.3 RAZUMEVANJE NAČELA PREVIDNOSTI V LUČI DOGODKOV IZ PRETEKLOSTI

Začetki uporabe previdnostnega načela sicer segajo v sredino 19. stoletja (*MOP 2004*), kot nedvoumen in jasen pojem v okoljski znanosti pa se je pričel uporabljati v sedemdesetih letih 20. stoletja. Na svetovni ravni pa se je načelo uveljavilo kot eno pomembnih načel v uveljavljanju trajnostnega razvoja na konferenci Združenih narodov v Riu leta 1992. V skladu s tem načelom bi morali biti previdnostni ukrepi široko uporabljani posebej tam, kjer grozi nepopravljiva škoda okolju, pri čemer pomanjkanje znanstvene gotovosti ne bi smelo zadržati stroškovno upravičenih ukrepov za preprečitev propada okolja. Načelo previdnosti je bilo umeščeno v pravni red Evropske unije in seveda tudi v zakonodajo Republike Slovenije.

A arhitekturi koncepta trajnostnega razvoja je bila osnovna namera previdnostnega načela predvsem zaustaviti sistematično podcenjevanje ciljev varstva okolja, ki je praviloma izgubljalo v soočenju z gospodarskimi in socialnimi cilji. V praksi pa je načelo dobilo svoje mesto na področjih varstva zdravja.

V zadnjih letih se je, tako ali drugače, z načelom previdnosti soočil velik del prebivalstva. Morda manj ob razpravah z uvajanjem omrežja 5G, več pa vsekakor ob uvajanju genetsko spremenjenih organizmov ter podnebnimi spremembami. Problem ukrepanja v pogojih znanstvene negotovosti je bil predmet dnevnih polemik.

Za države članice Evropske unije Rimska pogodba (*EEC 1957*) določa, da »mora politika glede okolja .. temeljiti na načelu previdnosti«. Takšen primer upoštevanja načela previdnosti je določitev Evropske komisije o prepovedi uvoza govedine iz Velike Britanije, sprejeta marca 1996, zaradi omejitve tveganja prenosa bolezni. Evropsko sodišče je razsodilo, da je bila odločitev upravičena. Pri tem je izhajalo iz ocene resnosti tveganja, nujnosti ter cilja odločitve. Komisija po mnenju sodišča s sprejetjem odločitve ni ravnala na očitno neprimeren način, odločitev sama je bila začasna ter je čakala na natančnejše znanstvene informacije. Če obstaja nejasnost glede obstoja ali razsežnosti tveganja za človekovo zdravje, lahko Komisija sprejme zaščitne ukrepe, ne da bi čakala na to, da resnost teh tveganj postane očitna.

2. februarja 2000 je Evropska komisija sprejela pomemben dokument glede načela previdnosti (*EC 2000*). Podala je smernice za uporabo načela, ki v samem dokumentu sicer ni tudi formalno definirano. Ukrepi, ki temeljijo na načelu previdnosti, morajo biti:

- prilagojeni izbrani ravni zaščite;

- nediskriminacijski v uporabi, to pomeni, da je treba podobne okoliščine reševati na podoben način;
- združljivi s podobnimi že izvedenimi ukrepi, torej morajo biti primerljivi, kar zadeva cilj in naravo, z ukrepi, ki so bili že izvedeni v podobnih okoljih, ko so bili na voljo vsi znanstveni podatki;
- temeljiti morajo na raziskavi morebitnih koristi in stroškov za ukrepanje oziroma ne-ukrepanje (vključno z analizo ekonomskih stroškov/koristi, ko je to primerno in izvedljivo);
- začasni po naravi, to pomeni, da so v luči novih znanstvenih izsledkov lahko ponovno pregledani;
- sposobni določiti odgovornost za pridobitev znanstvenih dokazov, potrebnih za podrobnejšo oceno tveganja.

V tej definiciji je načelo previdnosti usmerjeno k tveganju, saj zahteva oceno raziskovanja tveganja vključno s pregledom stroškov in koristi. Namenjeno je uporabi pri sestavljanju predpisov o morebitnih resnih zdravstvenih tveganjih, dokler ni na voljo znanstveno bolj utemeljenih odgovorov.

Ker zaradi vrzeli v znanju dokončnih odgovorov glede (ne)škodljivosti EMP še ni mogoče dati, se nekatere mednarodne organizacije in vladne institucije odzivajo na zaskrbljenost javnosti zaradi morebitnih vplivov EMP na zdravje ter priporočajo določene previdnostne ukrepe. Vendar je to načelo v povezavi z EMP potrebno sprejemati z veliko skrbjo in preudarkom. Glavna zahteva je, da je treba načelo uvajati le s pogojem, da sprejetje določenih ukrepov ne bo prevladalo nad znanstvenimi izsledki.

Razvoj na področju **EMP** v Evropi kaže dve smeri. Na eni strani se kaže precejšen napredek pri globalnem usklajevanju zaščitnih standardov, ki temelji na povečevanju konsenza o ugotovljenih bioloških učinkih in njihovih vplivih na zdravje. Na drugi strani pa so nekatere vlade v posameznih državah (med njimi tudi Slovenija) dodatno uvedle preventivne ukrepe, ki sicer niso podprti z znanstvenimi izsledki temveč s političnimi odločitvami.

S temi ukrepi lahko dosežemo, da so imisije na tako imenovanih mestih z občutljivo rabo dolgoročno pod imisijskimi mejnimi vrednostmi za zaščito pred škodljivimi vplivi EMP. Gre za mesta, na katerih se ljudje danes dlje časa zadržujejo oz. se bodo dlje časa zadrževali v prihodnosti.

Preventivni ukrepi so usmerjeni v dve smeri:

- na eni strani gre za tehnične in obratovalne ukrepe na virih EMP,
 - na drugi strani ima odločilno vlogo razdalja med napravo in kraji, za katere
-

je zahtevana večja stopnja varstva pred EMP. Pomembna je določitev varovalnega območja, za katero je potrebno načrtovati nove vire EMP z veliko pozornostjo.

V državah, ki uvajajo preventivni koncept (glej poglavje Prakse uvajanja načela previdnosti v nekaterih državah EU), velja zahteva po upoštevanju varovalnega območja le za **novе** naprave ter ob morebitni **rekonstrukciji** ali **preselitvi** obstoječe naprave na novo lokacijo. V nekaterih skrajnih primerih so dovoljene izjeme. Pri tem mora lastnik naprave dokazati, da je storil vse, kar je bilo tehnično in ekonomsko mogoče, da bi območja z občutljivo rabo čim manj obremenjeval.

V nasprotju z novimi napravami pa so lahko pri obstoječih napravah kraji z **občutljivo** rabo preimenovani v varovalno območje. Praviloma ekonomsko ne bi bilo upravičeno, če bi obstoječo napravo preselili na drugo lokacijo zgolj zaradi preventivnih razlogov.

9.4 VLOGA DELEŽNIKOV PRI ISKANJU REŠITEV

Na področju uveljavljanja načela previdnosti Rathenau Institute (2020) razlikuje štiri skupine deležnikov in sicer tiste:

- ki previdnostno načelo formalizirajo v zakonih, pravilih in ukrepih,
- ki izvajajo previdnostne ukrepe
- na katere neposredno vpliva način uporabe previdnostnega načela ter
- deležnike, na katere to načelo vpliva posredno.

Kot opozarja Cucuzella (2007), negotovosti, ki obstajajo pri znanstvenem proučevanju in pogosto težko prepoznavni dolgoročni učinki tehnoloških inovacij povzročajo potrebo po novem odnosu med sodelovanjem javnosti, svetovanjem stroke ter političnim odločanjem. Spruijt (2019) pri tem opozarja, da je takšen dialog lahko podvržen različnim vplivom kot npr. problemu nepristranskosti strokovnjakov. Vplivajo lahko še motivi politike (Pond 2021), zaskrbljenost javnosti zaradi propagande nasprotnikov določenega projekta ipd.

Vprašanje EMP se pogosto izpostavlja pri predlogih za novo ali spremenjeno elektroenergetsko infrastrukturo. Za kako pomembno in občutljivo gre, so pokazale vsaj tri velike teme, ki jih združuje oblikovanje politik v pogojih negotovosti: problematika genetsko spremenjenih organizmov, podnebnih sprememb ter

pandemije virusa SARS-CoV-2⁵. Vse tri teme so na področju zaznavanja načela previdnosti ustvarile globoke premike, ki pa jih dobro poznamo samo v fragmentih. Boswell (2021) se na primeru pandemije sprašuje, ali ni spet povrnila nekaj zaupanja v znanost. Sprejete zaveze prehoda v brezogljlično družbo so potrdile utemeljenost opozoril, da morajo biti ukrepi realni in družbeni stroški sprejemljivi⁶. Ob zahtevah za višjo raven samooskrbe zaradi vojne v Ukrajini tudi utemeljeno pričakujemo ponovno odpiranje odločitev v zvezi z gensko spremenjenimi organizmi v kmetijstvu.

Mednarodno združenje za elektroenergetske sisteme (CIGRE) je posebno pozornost namenilo komunikaciji z javnostjo (*CIGRE 2020*). Vidi jo kot izredno pomembno za vodenje projektov v skladu s časom in proračunom, ohranitev ugleda in zaupanja javnega podjetja pri organih oblasti ter ohranjanje ugleda in zaupanja v distribucijo in prenos električne energije. Eno bistvenih vprašanj, na katerega je potrebno odgovoriti, je iskanje odgovorov na zaskrbljenost javnosti, kaj so »dejavniki ogorčenja«. Zaskrbljenost javnosti je manjša tam, kjer ima posameznik pomemben ter boljši nadzor nad izpostavljenostjo. V primeru EMP javnost občutka nadzora nima.

Javnost dobro sprejema vse, kar je naravno, in bistveno slabše vse, kar je industrijskega izvora. Med takšna področja sodi tudi področje električne energije in EMP, za katero velja, da ljudje nimajo nadzora nad izpostavljenostjo EMP in da sami tudi ne morejo zmanjšati izpostavljenosti. Dodatno utež predstavlja občutek neprostopoljne izpostavljenosti EMP, pri čemer ljudje ne vidijo neposredne koristi od tehnologije, ki samo izpostavljenost povzroča⁷. Pri tem je prisoten strah zaradi tveganje raka, še posebej pri otrocih. Na internetu in v medijih lahko javnost spremlja tudi diametralno nasprotujoča si mnenja med strokovnjaki⁸. Vse naštetu ne vpliva na stopnjo tveganja, vendar povečuje zaskrbljenost. Opisano odslkava problem širšega zaupanja v politiko in znanost, kar je sicer del širših procesov v družbi.

V teh okoliščinah je najbolj upravičeno stališče, da se zanašamo na verodostojne vire oz. institucije, kot je npr. Svetovna zdravstvena organizacija in ustrezni zdravstveni organi.

5 Praktično vsak posameznik se je moral odločiti med tveganjem zaradi možnih stranskih učinkov cepljenja ali zaradi posledic bolezni. V obeh primerih je bilo kritično zaupanje v znanost in politike.

6 Drug dejavnik, ki se pomembno dotika javnosti pa so izzivi odločitve hitrega in radikalnega prehoda ogljično nevtralnemu družbo. Ali in kako bo to vplivalo na iskanje kompromisov pri posodobitvi energetskega omrežja brez česar je zelena brezogljlična bodočnost nemogoča?

7 Kar potrjuje npr. tudi opravljena interna raziskava za ELES (Robinšak et al. 2014)

8 Ob zaskrbljenosti bodo ljudje seveda iskali odgovore o možnih učinkih na zdravje povezanih s tveganji zaradi EMP in pri tem bodo verjetno naleteli na različne poglede in vire. Glede na naravo dožemanja tveganja ter obsežnih in nasprotujočih si informacij so pomisleki povsem razumljivi in pričakovani.

Odgovorni za sodelovanje z deležniki morajo izražene pomisleke vzeti resno, vendar morajo razumeti tudi argumente znanosti, ki podpirajo odločanje. Glede sodelovanja z zainteresiranimi stranmi SZO svetuje naslednje (*WHO 2002, str. 8*): »Sestavine za učinkovit dialog vključujejo posvetovanje z zainteresiranimi stranmi, priznavanje znanstvene negotovosti, upoštevanje alternativ ter pošten in pregleden postopek odločanja. Brez tega lahko pride do izgube zaupanja in napačnih odločitev ter zamude pri projektih in posledično višjih stroškov.«

CIGRE (CIGRE 2020) poudarja pomen zgodnjega in načrtnega vključevanja javnosti in pri tem upoštevati pomisleke. Pri komuniciranju z javnostmi in presejanju pomislekov lahko pomagajo naslednji ukrepi:

- Sodelovanje je potrebno vzpostaviti v čim bolj zgodnji fazi, ko se šele preučujejo možnosti poteka trase in lokacije.
- Omogočiti razmislek o možnostih. Ljudje se morajo počutiti kot del procesa odločanja.
- Jasno je potrebno opredeliti, na katere odločitve javnost lahko vpliva⁹ in v kakšni meri.
- Ne ustvarjati lažnih pričakovanj.
- Zagotovite ustrezne možnosti za sodelovanje in sporočite rezultate.

Za uspešen dialog je potrebno opredeliti ključne zainteresirane strani, kot so državni in občinski organi, prizadeti lastniki zemljišč, določene skupnosti, šole, podjetja itd. V procesu dialoga je bistveno razumeti njihova stališča in zmožnost vplivanja na odločitve.

9.4.1 ANALIZA DOBRIH PRAKS PRI UVAJANJU NAČELA PREVIDNOSTI IN UPRAVLJANJU S TVEGANJI

9.4.1.1 Stališče Svetovne zdravstvene organizacije do načela previdnosti

Svetovna zdravstvena organizacija poudarja, da je nujno, da se spoštujejo znanstveno utemeljene mejne vrednosti in se s tem varuje zdravje pred možnimi vplivi izpostavljenosti EMP. Te smernice morajo temeljiti na poglobljeni analizi znanstvenih raziskav oz. dokazov. Ker še vedno obstaja določena negotovost glede povezave med izpostavljenostjo NF MP in otroško levkemijo je upoštevanje načela previdnosti utemeljeno. Vendar pa je potrebno paziti, da se mejne vrednosti, ob sklicevanju na previdnost, ne znižujejo arbitrarno. Potrebno je poudariti, da

⁹ Na kar smo opozorili že v Uvodu.

niti ni znano, ali arbitrarno (nekateri temu pravijo previdnostno, kar pa ne drži, ker meje previdnosti ni mogoče enolično določiti – gre namreč za subjektivno oceno stopnje previdnosti) znižanje mejnih vrednosti, kot je to izvedeno recimo v Sloveniji, sploh kakorkoli pripomore k varovanju zdravja. Zaradi tega morajo biti previdnostni ukrepi, če so sprejeti, nediskriminatorni in ekonomsko vzdržni (nizkokcenovni). Pri tem je pomembna učinkovita in odprta razprava z vsemi deležniki. Ker ni jasno, ali bi zmanjšanje mejnih vrednosti sploh kakorkoli pripomoglo k varovanju zdravja, je veliko bolje, da se zaradi razumnosti stroškov, v imenu previdnosti, sprejemajo predvsem različni tehnični, organizacijski in administrativni ukrepi.

Uporaba še strožjih previdnostnih ukrepov nikakor ne zagotavlja večje varnosti, temveč prav nasprotno, kontraproduktivno vpliva na razvoj novih tehnologij (npr. nove generacije 5G), ki v določenih primerih ne morejo biti implementirane zaradi neutemeljeno prenizkih predpisanih mejnih vrednosti. Tehnični ukrepi, kot je uporaba mikrocelic in pikocelic, ne morejo biti uporabljani v nedogled, saj povzročajo visoke stroške za operaterje v povezavi s topologijo omrežja in težave pri prenosu, ter so tako lahko zgolj časovno in/ali krajevno omejena rešitev (*Carciofi et al. 2018*).

Kaj je torej mogoče storiti glede znanstvene negotovosti na podlagi opredelitve IARC, ki NF MP uvršča med možne kancerogene za ljudi? SZO priporoča sprejete znanstveno utemeljenih smernic, kakršne so smernice ICNIRP, za varovanje zdravja ljudi pred znanimi tveganji zaradi NF električnih (v nadaljevanju EP) in MP. Do neke mere pa se SZO distancira od navodil državam članicam glede ukrepov v smislu previdnosti. Zastopa stališče, naj regulatorni organi posameznih držav sami pretehtajo uporabo prostovoljnih previdnostnih ukrepov, s katerimi bi zmanjšali izpostavljenost poljem do tedaj, ko bo znanost sposobna ponuditi natančnejše informacije o možnosti povezave med izpostavljenostjo MP in tveganjem za nastanek otroške levkemije.

Leta 2007 je SZO objavila monografijo EHC 238 o NF MP (*WHO 2007a*), kjer navaja stališče do previdnostnih ukrepov in sicer:

- Ključnega pomena je, da se upoštevajo znanstveno določene mejne vrednosti in da se s tem varuje pred ugotovljenimi škodljivimi učinki zaradi izpostavljenosti NF EP in MP. Te mejne vrednosti morajo temeljiti na podrobnem pregledu vseh ustreznih znanstvenih dokazov.
- Znanstveno so bili ugotovljeni le akutni učinki, ki so opredeljeni v mednarodnih smernicah ICNIRP in so upoštevani pri določitvi mejnih vrednosti (*ICNIRP, 2010*).

- Poleg teh ugotovljenih akutnih učinkov pa obstajajo negotovosti glede povezave med izpostavljenostjo NF MP in otroško levkemijo. Zato je uporaba previdnostnih ukrepov upravičena. Vendar pa ni priporočljivo, da se sprejemajo zakonske rešitve, ki znanstveno določene mejne vrednosti ICNIRP v imenu tega načela znižajo na neko empirično samovoljno raven. Takšna praksa ni smiselna, saj spodkopava znanstvene temelje. Poleg tega pa je to povezano navadno z nesorazmernimi in nepotrebniimi dodatnimi visokimi stroški, ki poleg vsega ne nudijo učinkovitega varovanja zdravja.
- Izvajanje drugih primernih previdnostnih ukrepov za zmanjšanje izpostavljenosti je smiselno. Ker električna energija prinaša očitne družbene, socialne in gospodarske koristi, previdnostni pristopi ne bi smeli ogroziti teh koristi. Poleg tega glede na šibkost dokazov v povezavi med izpostavljenostjo NF MP in otroško levkemijo ter omejenim vplivom na javno zdravje, koristi zmanjšanja izpostavljenosti za zdravje niso jasne. Zato bi morali biti stroški, povezani z uvajanjem previdnostnih ukrepov, nizki. Stroški izvajanja zmanjšanja izpostavljenosti se od države do države razlikujejo, zato je težko predložiti splošno priporočilo za uravnoteženje stroškov z možnim tveganjem zaradi izpostavljenosti NF MP.

SZO tako ne narekuje uporabe načela previdnosti v povezavi z upravljanjem tveganj zaradi NF MP in ga v določeni meri prepušča politikam posameznih držav. Ob tem pa poudarja, da je smiselno uporabiti previdnostne ukrepe, ki ob sprejemljivih stroških pomenijo zmanjševanje izpostavljenosti.

Koristi za javno zdravje, ki bi lahko bile posledica zmanjševanja izpostavljenosti prebivalstva, so zaradi šibkih dokazov o povezavi med izpostavljenostjo NF MP ter otroško levkemijo zelo nejasne. Zaradi tega je SZO leta 2007 objavila še informativni dokument (*WHO 2007b*), v katerem je bolj podrobno opredelila svoje mnenje in predstavila usmeritve:

- Vlada in industrija bi morali spremljati znanstvene ugotovitve ter spodbujati raziskovalne programe, ki bi nadalje zmanjšali znanstveno negotovost o vplivih NF MP na zdravje. V procesu ocenjevanja tveganj so bile opredeljene tudi določene vrzeli v znanju. Slednje tako tvorijo podlago za nadaljnje raziskave.
- Pristojni državni organi so pozvani, da z namenom informiranja glede sprejemanja odločitev razvijejo učinkovit in odprt dialog z vsemi deležniki. To vključuje tudi izboljšanje sodelovanja in posvetovanja z industrijo,

lokalnimi skupnostmi ter javnostjo glede načrtovanja pri umeščanju virov NF MP v prostor.

- Ob izgradnji novih virov NF MP in zasnovi novih naprav je potrebno raziskati predvsem nizkocenovne načine za zmanjšanje izpostavljenosti. Primerni previdnostni ukrepi se med državami razlikujejo. Vendar pa je potrebno poudariti, da politike, ki temeljijo na arbitrarnem znižanju izpostavljenosti, niso upravičene.

SZO tudi v tem dokumentu v povezavi z NF MP ne navaja nobenih konkretnih ukrepov načela previdnosti in jih prepušča politikam posamezne države ali regulatorjem.

9.4.1.2 Prakse uvajanja načela previdnosti v nekaterih državah EU

Poročevalec DZ v komentarju ZVO-1 navaja, da so vsi obstoječi predpisi EU, ki urejajo emisije in standarde kakovosti okolja, pripravljene na podlagi načela previdnosti in ugotovitev SZO, katerih namen je zagotoviti najvišjo stopnjo varovanja človekovega zdravja in varstva okolja v skladu z znanstvenimi spoznanji in tehnološkimi zmožnostmi (*Poročevalec DZ RS, 2003*).

Člen 6(3) Direktive o habitatih (EU, 1992) je v slovensko zakonodajo prenesen v obliki presoje sprejemljivosti vplivov izvedbe planov in posegov v naravo na varovana območja, ki se opravlja v okviru celovite presoje vplivov na okolje in drugih postopkih. Metodologija presoje je določena s Pravilnikom o presoji sprejemljivosti vplivov izvedbe planov in posegov v naravo na varovana območja (Ul RS 130/04), ki je tudi zelo nedvoumen pri uporabi načela previdnosti: »V postopku presoje sprejemljivosti se uporablja načelo previdnosti v vseh stopnjah presoje tako, da v primeru dvoma prevlada javna korist ohranjanja narave nad razvojnimi interesi in drugimi javnimi koristmi. Šteje se, da je dvom izkazan, če odločitve v posameznih stopnjah presoje ni možno sprejeti na objektivni in z dokazi podprti ugotovitvi, v skladu z določbami tega pravilnika.«

Nekatere države so uveljavile predpise, ki temeljijo na smernicah ICNIRP (2010, 2020) bodisi v obliki zakonov oz. prostovoljnih standardov, bodisi priporočil, druge pa so ubrale bolj restriktivno politiko z argumentom uvajanja načela previdnosti.

V Evropi so zakonodajo in priporočila, ki temeljijo na načelu previdnosti, doslej sprejele nekatere države, med njimi Italija, Nemčija, Francija, Švica in na določen način tudi Slovenija. Pristopi se med njimi precej razlikujejo in kažejo, da za temi ukrepi ni jasnih strokovnih usmeritev, temveč zgolj politična

motivacija trenutnih vladajočih struktur, da izvedejo ukrepe, ki naj bi pomirili javnost. Vendar praksa kaže, da je ravno v državah, ki zakonsko uvajajo nižje mejne vrednosti od znanstveno določenih, javno mnenje do problematike NF MP najbolj odklonilno in utrjeno v prepričanju, da tudi nizke jakosti izpostavljenosti pomenijo veliko zdravstveno tveganje.

9.4.1.2.1 Slovenija

Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (*UL RS 70/1996*, v nadaljevanju: Uredba EMP), določa samo t.i. izvedene mejne vrednosti, torej mejne vrednosti, ki veljajo izven človeškega telesa. Zaradi tega je naša ureditev bolj konzervativna od mednarodnih smernic ICNIRP in tudi priporočil Evropskega sveta, saj ne dopušča preseganja mejnih vrednosti za EP in MP izven človeškega telesa in ugotavljanja skladnosti na podlagi mejnih vrednosti za EP v človeškem telesu. Dodatno Uredba EMP uvaja še tako imenovano I. območje varstva pred sevanji, kjer so mejne vrednosti še dodatno 10-krat nižje. To je ukrep, ki ga je vlada uveljavila v smislu previdnosti kljub temu, da mednarodne organizacije niso bile naklonjene arbitrarnemu zniževanju obstoječih mejnih vrednosti (je celo v očitnem nasprotju z njimi). Enakemu konceptu sledijo tudi nekatere druge države (Italija, Švica, ...).

Za obstoječe vire, to je vire, ki so bili v uporabi že ob uveljavitvi Uredbe EMP leta 1996, le ta določa, da se, četudi se nahajajo v I. območju varstva pred sevanji, uporabljajo mejne vrednosti za II. območje varstva pred sevanji. V Sloveniji tako za EP omrežne frekvence 50 Hz veljajo za I. območje 10-krat nižje mejne vrednosti, za MP pa 20-krat nižje mejne vrednosti od smernic ICNIRP 2010, za II. območje pa za MP velja 2-krat nižja vrednost in za EP 2-krat višja vrednost od smernic *ICNIRP 2010*. Čeprav je regulativa v Sloveniji v veljavi že od leta 1996, je še vedno strožja od regulative v mnogih državah in v zadostni meri zagotavlja varovanje zdravja prebivalstva pred EMP.

SZO v povezavi z ICNIRP navaja, da vsi pregledi znanstvenih raziskav jasno kažejo, da sevalne obremenitve, ki so nižje od mednarodnih smernic ICNIRP, ne povzročajo poznanih negativnih vplivov na zdravje.

Ker mejne vrednosti v Uredbi o elektromagnetnih sevanjih v naravnem in življenjskem okolju (*UL RS 60/96*) in priporočilih EU niso enake v celotnem frekvenčnem območju, se pričakuje, da bo prišlo do spremembe Uredbe ter prevzema mejnih vrednosti, ki jih določajo priporočila EU (EU 1999) v celotnem frekvenčnem območju 0-300 GHz oziroma smernic ICNIRP iz leta 2010 in 2020.

9.4.1.2.2 Italija

V Italiji od leta 1992 obstaja odlok, ki za imisije naprav za prenos električne energije (NF EMP) predpisuje imisijske mejne vrednosti ICNIRP. Pri DV je treba dodatno upoštevati preventivne oddaljenosti od krajev, na katerih se dlje časa zadržujejo ljudje. Italijansko ministrstvo za okolje je leta 1998 izdalo uredbo (*Italy 1998*), ki se od mednarodnih smernic razlikuje tako v strokovni podlagi kot v mejnih vrednostih izpostavljenosti. Že mejne vrednosti za kratkotrajno zadrževanje so nižje od vrednosti ICNIRP. Za dolgotrajno izpostavljenost je opozorilna mejna vrednost za NF MP $10 \mu\text{T}$, torej občutno nižja in znaša 5 % mejne vrednosti ICNIRP (2010). Pri novih napravah je treba te mejne vrednosti upoštevati od samega začetka; obstoječe naprave, ki presegajo mejne vrednosti, je treba sanirati.

Dozimetrične količine (gostota induciranege toka, SAR) niso omenjene. Po drugi strani pa so uvedeni posebni nivoji omejitve izpostavljenosti, ki so imenovani »mejne vrednosti izpostavljenosti«, »opozorilne mejne vrednosti« in »ciljne mejne vrednosti«. V odredbi niso eksplicitno pojasnjene. Definicijo najdemo v osnutku zakona, o katerem razpravlja italijanski parlament:

- mejne vrednosti izpostavljenosti so imisijski nivoji EMP, ki nikakor ne smejo biti preseženi;
- opozorilne mejne vrednosti so imisijske vrednosti, ki ne smejo biti presežene v bivalnem okolju (stanovanjski objekti, šole, bolnišnice, igrišča ...). Posebej so definirane kot preventivne vrednosti za zapoznele učinke;
- ciljne mejne vrednosti (»*quality goals*«) so emisijske vrednosti, ki so usmerjene k previdnosti tudi glede zaščite pred morebitnimi zapoznelimi učinki.

Tabela 9.1: Ciljne in opozorilne mejne vrednosti v Italiji (1998).

frekvenca	Ciljne mejne vrednosti MP [μT]	Opozorilne mejne vrednosti MP [μT]
50 Hz	3	10

Odredba nalaga regionalnim in lokalnim oblastem, naj upoštevajo ciljne mejne vrednosti. Na splošno so bile razumljene kot dodatne omejitve izpostavljenosti, bolj restriktivne od opozorilnih nivojev, ki naj bi jih uvedli na posameznih območjih.

Po izsledkih nekaterih znanstvenih člankov, iz naslova (prestroke) uporabe načela previdnosti ter empiričnega zniževanja mejnih vrednosti, umeščanje virov EMP – še posebno nove tehnologije 5G – na približno 70 % prostora v Italiji ni

več možno. Temu je tako, ker bi bile z novim umeščanjem presežene zelo nizko ter arbitrarno postavljene mejne vrednosti. Ob upoštevanju opozorilne mejne vrednosti je tako v mnogih primerih onemogočeno, da bi se v prostor umestile nove tehnologije. Italija tako predstavlja primer, kjer prestrogo postavljene mejne vrednosti omejujejo nadaljnji razvoj in napredek, pri čemer za to nimajo ustrezne znanstvene podlage (Carciofi et al. 2018).

9.4.1.2.3 Švica

Švicarska uredba (*Switzerland 1999a in 1999b*) se eksplicitno nanaša na smernice ICNIRP. Na vseh območjih, na katera zahajajo ljudje, morajo biti izpolnjene tako imenovane imisijske mejne vrednosti. Te so enake referenčnim vrednostim ICNIRP. Vendar pa so postavljene tudi previdnostne emisijske vrednosti (imenovane tudi »instalacijske vrednosti«), ki jih noben vir posamično ne sme preseči. To pomeni, da nikjer, kjer je mogoče pričakovati zadrževanje ljudi, ne smejo biti presežene celotne imisijske mejne vrednosti, hkrati pa noben vir ne sme prispevati k celotni izpostavljenosti več, kot dovoljujejo emisijske mejne vrednosti. Posebnost švicarskega uredbe je, da so emisijske vrednosti odvisne od vrste vira. Mejne vrednosti so prikazane v tabeli 2.

Tabela 9.2: Emisijske mejne vrednosti v Švici za NF vire EMP.

Viri EMP	Emisijska mejna vrednosti MP [μ T]
DV, kablovod in transformatorska postaja	1

Naprave, postavljene po začetku veljavnosti švicarske uredbe, morajo biti postavljene tako, da so upoštevane imisijske mejne vrednosti ter tehnične in obratovalne zahteve. Kraji z občutljivo rabo ne smejo biti znotraj varovalnega območja. Lastnik vira mora izpolniti poseben vprašalnik o kraju postavitve ter ga posredovati pristojnim organom. Če mu ne uspe naprave projektirati ter namestiti tako, da znotraj varovalnega območja ne bi bilo krajev z občutljivo rabo, mora jasno prikazati, da ta zahteva ni izpolnjena. Enake zahteve veljajo za naprave, na katerih opravljajo spremembe po začetku obratovanja, jih zamenjujejo ali selijo na drugo mesto.

Dodatni stroški, potrebni za izpolnitev tehničnih in obratovalnih zahtev, so praviloma neznatni. Te ukrepe pri novih napravah že danes večinoma upoštevajo. Nasprotno pa lahko upoštevanje varovalnega območja v posameznih primerih povzroči višje stroške, na primer takrat, ko so pri DV potrebni višji stebri,

širši koridorji ali delna položitev kablovoda. Uredba določa, da morajo pristojni organi v posameznih primerih dovoliti izjemo, če bi bili dodatni stroški previsoki.

Določen dodatni napor je potreben tudi za izpolnitev in predložitev vprašalnika o kraju postavitve. Predviden je preprost vprašalnik, ki ga bo mogoče izpolniti brez posebnega truda. Tehnični podatki o napravi so pri projektiranju tako ali tako znani. Dodaten napor je potreben pri identifikaciji krajev z občutljivo rabo v okolici naprave. V primerjavi z delom, potrebnim pri projektiranju, je ta dodatni napor neznaten.

Omeniti je treba tudi, da švicarska uredba dovoljuje izpostavljenost do mejnih vrednosti ICNIRP, ko gre za več virov. Emisijske vrednosti so tako bolj tehnične zahteve kot omejitve zaradi varovanja zdravja. Poročilo, ki je kot razlaga izšlo poleg uredbe decembra 1999 (*Switzerland 1999a*), pojasnjuje, da so mejne vrednosti ne glede na obstoječo izpostavljenost v okolju postavljene tako nizko, kolikor je to še tehnično in operativno mogoče ter ekonomsko smiselno. Zato so mejne vrednosti (tj. emisijske mejne vrednosti) precej nižje od imisijskih.

9.4.1.2.4 Nemčija

Nemška vlada navaja, da je glede na trenutno stanje znanosti treba pri spoštovanju mejnih vrednosti šestindvajsete uredbe za izvajanje nemškega zveznega zakona o imisijah (*Uredba o EMP*) – 26. *BImSchV*) zagotoviti varovanje zdravja prebivalstva tudi v primeru morebitnih dolgotrajnih vplivov.

Poleg dokazanih vplivov na zdravje pa nekateri znanstveni izsledki kažejo na možnost tveganja za zdravje tudi pri nizkih sevalnih obremenitvah. Zato Zvezni urad za varstvo pred sevanji (BfS) zahteva upoštevanje previdnostnih ukrepov. Zmanjšanje izpostavljenosti prebivalstva lahko dosežemo z različnimi ukrepi, za katere so odgovorni tako državni organi kot tudi investitorji in izdelovalci naprav, pa tudi vsak posamezni državljan. Ti ukrepi so:

- NF EP in MP, ki jim je izpostavljeno prebivalstvo, morajo biti čim nižja.
- Prebivalstvo mora biti obveščeno o znanih in domnevnih vplivih sevanj in o sevalnih obremenitvah relevantnih virov, kot so na primer DV ali električne naprave.
- Raziskave, ki skušajo pojasniti znanstvena vprašanja, se nadaljujejo.

V Nemčiji zakonodaja zahteva, da je treba pri gradnji ali temeljiti rekonstrukciji DV izčrpati vse možnosti za zmanjšanje NF MP v skladu s trenutnim stanjem tehnike.

Na novo načrtovani VN DV na izmenični tok ne smejo prečkati stavb, namenjenih dolgoročnemu bivanju ljudi. Obveznost zmanjšanja NF MP velja le za lokacije, kjer so domovi, bolnišnice, šole, ustanove za varstvo otrok, igrišča ali katera koli druga lokacija, ki ni namenjena izključno za začasno zadrževanje ljudi. Ukrepi morajo biti sorazmerni glede na stroške, funkcionalnost in negativne vplive na okolje, dobro počutje in varnost pri delu.

Nekatere regije znotraj Nemčije so uveljavile dodatne omejitve glede novih energetskih vodov. Navajajo možne ukrepe za zmanjšanje obremenitev okolja z NF MP kot so:

- povečanje navpične razdalje do vodnikov;
- zmanjšanje razdalj med vodniki;
- optimizacija geometrije razporeditve faz in faznega zaporedja sosednjih vodnikov.

Nekatere nemške regije so uveljavile bolj splošne omejitve novih električnih vodov v regionalni zakonodaji o prostorskem načrtovanju. V prostorskem razvojnem načrtu Spodnje Saške je navedeno, da mora biti v pozidanih območjih oddaljenost novih DV od domov, šol, ustanov za varstvo otrok, bolnišnic ali domov za oskrbo najmanj 400 metrov, prav tako pa je kot možno rešitev treba upoštevati tudi kabliiranje. V drugih regijah (npr. Bremen) je lokalna politika bolj omejevalna od zvezne politike, zlasti pri gradnji novih stanovanjskih območij. Na teh lokacijah so kot kakovostni cilj postavili omejitev za 24-urno povprečno MP v vrednosti 0,3 μ T.

9.4.1.2.5 Francija

Z vidika uporabe načela previdnosti je zanimiva tudi francoska jurisdikcija, v kateri je načelo previdnosti zapisano že v ustavi. Od leta 2010 so v Franciji izvedli kar nekaj raziskav, ki so omogočile boljši vpogled v izpostavljenost javnosti NF MP. Ugotovili so, da so najvišje vrednosti EP na prostem izmerjene pod VN DV, v bližini razdelilnih transformatorskih postaj ali transformatorskih postaj (v nadaljevanju TP). Najvišje vrednosti MP, ki so posledica uporabe gospodinjskih naprav, pa najdemo doma. Vendar je izpostavljenost v tem primeru časovno omejena ter zelo lokalizirana.

Francoska agencija za prehrano, okolje in zdravje (ANSES) je posebno pozornost posvetila določenim izsledkom študij, ki so pokazale povezavo med pojavom otroške levkemije ter izpostavljenosti NF MP vrednosti 0,2 μ T do 0,4 μ T. V luči novih zbranih podatkov najnovejših raziskav je ANSES potrdila "omejeno" stopnjo dokazov, ki bi kazala na navedene dolgoročne učinke in hkrati izpostavila,

da se je ta povezava v zadnjih desetih letih kazala manj pogosto.

Nadalje je ANSES financirala tudi študijo, da bi z njo ovrednotila izpostavljenost prebivalstva – še posebno otrok – NF MP med 0,2 μ T in 0,4 μ T zaradi VN DV (ANSES, 2019). Študija, ki so jo izvedli strokovnjaki INSERM ter Caenske univerzitetne bolnišnice je pokazala, da je okoli 40.000 otrok, mlajših od 15 let (0,35 % populacije), v njihovih domovih izpostavljenih povprečni vrednosti NF MP, ki presega vrednosti 0,4 μ T, ter da je okoli 8.000 otrok (0,18 % populacije) izpostavljenih MP, ki presegajo vrednost 0,4 μ T v šolah (ANSES, 2019). V luči teh rezultatov in upoštevanja načela previdnosti je ANSES tako pozvala, da bi v prihodnje preprečili gradnjo objektov za bolj občutljive skupine ljudi (bolnišnice, šole, vrtci ...) v bližini VN DV ter da se VN DV ne bi gradili v bližini že obstoječih tovrstnih objektov. Hkrati je ANSES poudarila, da obstoječi predpisi v Franciji urejajo samo mejne vrednosti izpostavljenosti v neposredni bližini TP in VN DV. Zato priporoča, da bi se tovrstni regulatorni ukrepi uporabili tudi za ostale vire EMP (oddajniki, bazne postaje), ki jim je javnost lahko izpostavljena.

Francoska vlada zato priporoča, da se je potrebno v največji možni meri izogniti gradnji novih bolnišnic, porodnišnic in objektov za varstvo otrok v bližini elektroenergetskih vodov, kablovodov in TP, kjer bi bili otroci izpostavljeni vrednosti NF MP nad 1 μ T. Posebnih navodil, ki bi prepovedovala ali omejevala gradnjo nove ali spreminjanje obstoječe elektroenergetske infrastrukture (z obremenitvami nad 1 μ T) v bližini občutljivih lokacij ministrstvo ni izdala. Vendar si operater omrežja prizadeva, da bi se pri načrtovanju razvoja omrežja čim bolj izognil izgradnji nove elektroenergetske infrastrukture v bližini občutljivih lokacij.

9.4.1.2.6 Belgija

V Belgiji je omejitev izpostavljenosti prebivalstva NF MP določena za domove in javne zgradbe, ki podaja mejno vrednost izpostavljenosti 10 μ T in »kakovostni cilj« 0,2 μ T. Odlok natančno navaja previdnostno načelo in zahteva, da so ukrepi pretehtani glede na verjetnost in resnost domnevnih učinkov, velikost izpostavljene populacije in pričakovani družbeni vpliv učinkov in ukrepov. Flamska vlada je določila politiko v zvezi z morebitnimi tveganji povezanih z NF MP v okolici VN DV (RIMV 2017b). Ugotovitve je mogoče strniti v naslednje točke:

- potrebno se je izogibati izpostavljanju obstoječih občutljivih lokacij (šol, vrtcev...) novim obremenitvam z NF MP;
- nove občutljive lokacije ne bi smele biti nameščene na območjih

obremenjenih z NF MP višjim od 0,4 μ T (povprečna letna obremenitev, dolgotrajna izpostavljenost);

- predvidene so finančne kompenzacije ali odkupi nepremičnin, ki so izpostavljene NF MP novih DV tras, kjer se temu ne da izogniti.

V Flandriji je ministrstvo izdalo priporočilo, da se je pri načrtovanju novih energetskih vodov potrebno izogibati prečkanju šol in vrtcev. Nove šole in vrtci ne smejo biti postavljeni v območje NF MP s povprečno letno izpostavljenostjo večjo od 0,4 μ T. V Bruslju resorno ministrstvo zahteva, da za nova okoljevarstvena dovoljenja v krajih blizu TP in DV, kjer se lahko zadržujejo mlajši od 15 let, 24-urno povprečje ne presega 0,4 μ T.

9.4.1.2.7 Nizozemska

Na Nizozemskem je vlada izdala priporočilo lokalnim oblastem in operaterjem prenosnih omrežij, naj v največji možni meri preprečijo nastanek novih situacij z dolgotrajno izpostavljenostjo otrok na območjih okoli nadzemnih VN DV z letno povprečno vrednostjo NF MP večjo od 0,4 μ T. Priporočilo se uporablja pri izdelavi prostorskih načrtov in določitvi tras VN DV ali v primeru sprememb obstoječih načrtov ali rekonstrukcij obstoječih DV. Priporočila politike se nanašajo le na prenosne DV, ne pa tudi na druge vire močnostnih NF MP. Ministrstvo za okolje je v preteklosti kot previdnostno politiko izdalo dodatno priporočilo, da pri izdelavi prostorskih načrtov in določitvi tras nadzemnih VN DV ali v primeru sprememb obstoječih načrtov ali rekonstrukcije obstoječih DV, lokalni in regionalni organi in upravljavci omrežja sledijo, kolikor je to smiselno, načelu preprečevanja ustvarjanja novih razmer v območjih okoli nadzemnih električnih vodov, ki bi vodile v dolgoročno izpostavljenost otrok večjo od 0,4 μ T (RIVM 2017b).

Izvaja se dodatna politika, ki zagotavlja priložnosti za odstranitev stanovanj neposredno pod vodniki nadzemnih VN DV. Vendar pa ni povezana s previdnostno politiko o novih situacijah v bližini nadzemnih DV in morebitnimi zdravstvenimi posledicami zaradi bivanja v bližini DV.

Ministrstvo uvaja programe kot kombinacijo kabliranja obstoječih DV in odkupov nepremičnin, ki se nahajajo pod obstoječimi DV. Lastniki domov, ki se nahajajo neposredno pod vodniki 220 do 380 kV DV v urbanih območjih in pod vodniki 50, 110 ali 150 kV DV zunaj naselij, lahko podajo zahtevo po odkupu nepremičnine. Dom lahko tako na novo zgradijo drugje. Ocenjeno število prizadetih domov na Nizozemskem je 375.

9.4.1.2.8 Velika Britanija

V VB so ustanovili posebno Svetovalno skupino za zainteresirane strani o NF EP in MP (SAGE), ki preučuje možne previdnostne ukrepe v zvezi z NF MP. SAGE sestavljajo zainteresirane strani, ki predstavljajo širok spekter mnenj, vključno s predstavniki zaskrbljene javnosti, znanosti, industrije in vladnih organizacij. Združuje številna strokovna področja, vključno s tistimi, ki imajo veliko strokovnega znanja v znanstvenih disciplinah in oblikovanju politike, pa tudi predstavnike javnosti. SAGE enako financirajo vlada, elektroenergetska industrija in fundacije.

Glavni namen te skupine SAGE je bil zbrati ključne zainteresirane strani, da prepoznajo in raziščejo možnosti uvedbe ukrepov načela previdnosti glede NF MP in pripravijo praktična priporočila za izvedbo le teh.

Sklepno poročilo (SAGE 2010) se je osredotočilo na ukrepe, ki so praktični in enostavni ter jih vlada lahko implementira, nikakor pa ne radikalni v smislu večjih sprememb predpisov ali sedanje prakse. V okviru omenjene skupine SAGE so bili sprejeti zaključki dialoga z zainteresiranimi deležniki, ki podpirajo izvajanje nizkocenovnih ukrepov za zmanjševanje obremenitev ljudi in okolja z NF MP.

9.4.1.3 Izhodišča za upravljanje tveganj ob upoštevanju načela previdnosti

Na podlagi pregleda politik nekaterih držav lahko ugotovimo, da so si te v osnovi podobne. Razlikujejo se v obsegu sprejetih previdnostnih ukrepov in na kakšen način se ti odražajo v zakonodaji ter nekoliko tudi glede predpisanih mejnih vrednosti. Kar zadeva omejevanje izpostavljenosti NF MP, ima belgijska regija Flandrija zakonodajno omejitev v zaprtih prostorih v višini 10 % referenčnih vrednosti priporočil EU, druge belgijske regije ter Francija, Nemčija in Nizozemska pa uporabljajo referenčne vrednosti iz priporočil EU (100 μ T) – bodisi kot zakonsko omejitev za nove vire bodisi kot priporočeno mejno vrednost za vse vire. VB uporablja višjo mejno vrednost. Nemčija ima predpisane tudi nekatere splošnejše pravne obveznosti, da je potrebno npr. minimizirati NF MP vseh novo grajenih naprav skladno s stanjem tehnike in v okviru sprejemljivih stroškov. VB predpisuje le nizkocenovne ukrepe za zmanjševanje obremenitev okolja z NF MP. Politike omejevanja obremenitev okolja v Flandriji (Belgija), na Nizozemskem in v VB se nanašajo samo na nove občutljive lokacije (stanovanjska naselja, bolnišnice, vrtci, šole) v bližini VN DV, v Franciji tudi na nove občutljive lokacije v bližini VN DV, kablovodov in TP ter v Bruslju samo na TP (večina elektroenergetskih vodov je pod zemljo). V Nemčiji obveznost zmanjševanja NF MP velja za vse nove električne naprave (DV, kablovod, TP) v bližini občutljivih lokacij (RIVM 2017b).

Dejanska izpostavljenost javnosti NF MP je običajno precej nižja od mednarodnih smernic, skrb splošne javnosti pa izvira predvsem iz pomislekov o dolgoročnih učinkih, ki naj bi jih povzročala izpostavljenost nizkim jakostim. Razvrstitev NF MP kot možne rakotvorne snovi s strani IARC je v nekaterih državah sprožila ponovno oceno, ali mejne vrednosti izpostavljenosti za NF MP zagotavljajo zadostno zaščito. Te ponovne presoje so vodile nekatere države in lokalne oblasti k oblikovanju previdnostnih ukrepov.

Ker bi čakanje na dokončne ugotovitve lahko imelo škodljive posledice, je smiselno ukrepati že ob ugotovljeni znanstveni negotovosti in ne čakati na izsledke znanstvenih raziskav, ki bi neko tveganje potrdili ali ovrgli. Čeprav tudi na področju problematike NF MP obstaja določena stopnja znanstvene negotovosti, se Evropska komisija ni odločila, da bi načelo previdnosti neposredno vključila v priporočila o omejevanju izpostavljenosti NF MP z uvedbo strožjih mejnih vrednosti. Ocenila je, da bi bilo to neprimerno, saj ne obstajajo dovolj trdni dokazi o mogočih negativnih učinkih NF MP na zdravje ljudi. Vsakršno bistveno povišanje stroškov zaradi zmanjševanja EP ali MP pod zakonsko določenimi vrednostmi torej ni upravičeno.

Kljub temu številne organizacije opozarjajo, da je v povezavi z NF MP smiselno dati prednost projektom, ki so previdnostno naravnani ter uvajajo ukrepe, ki ob ničnih oziroma minimalnih stroških zagotavljajo najmanjše vplive na okolje in zdravje (*CIGRE 2009, EAE 2001, ENA 2012, IEEE 2010, NRL 2008*).

9.4.1.4 Smernice za uveljavitev načela previdnosti

Pred izoblikovanjem smernic za uveljavitev načela previdnosti v praksi je potrebno povzeti ključna izhodišča.

1. SZO (*WHO 2007b*) v povezavi z upravljanjem tveganj zaradi NF MP ne narekuje obveznega uvajanja načela previdnosti in ga prepušča politikam posameznih držav. Ob tem pa poudarja, da je smiselno uporabiti le tiste previdnostne ukrepe, ki ob sprejemljivih stroških pomenijo zmanjševanje izpostavljenosti. Neposredne koristi za javno zdravje, ki bi bile posledica zmanjševanja izpostavljenosti prebivalstva, pa zaradi šibkih dokazov o povezavi med izpostavljenostjo NF MP nizkih jakosti in rakom (otroško levkemijo) niso ugotovljene.
2. Evropska komisija (*EC 1998*) se ni odločila, da bi načelo previdnosti neposredno vključila v priporočila o omejevanju izpostavljenosti NF MP z uvedbo strožjih mejnih vrednosti.
3. Nekatero države in upravljalci infrastrukture so sprejeli previdnostne

ukrepe kot odziv na zaskrbljenost in občutljivost javnosti (*RIVM 2017a, WHO 2007b*). To v glavnem velja za območja z bolj občutljivo rabo, kot so stanovanjske površine, bolnišnice, vzgojno-izobraževalne ustanove,... pod pogojem, da socialne in ekonomske koristi preskrbe z električno energijo niso ogrožene, je izvajanje ukrepov zmanjševanja izpostavljenosti NF MP z "zelo nizkimi stroški" razumno in upravičeno.

4. Tako se načelo previdnosti prepleta z načelom preventive, ki postavlja v ospredje uvajanje tehničnih ukrepov, ki vodijo v zmanjševanje izpostavljenosti v okolju ob sprejemljivih stroških (*ENA 2016*).
5. Pri odločanju o višini »sprejemljivih stroškov« pa igra pomembno vlogo načelo sorazmernosti. Nekatere primerjave konkretnih pristopov (npr. VB) so pokazale, da je zgornji prag sprejemljivosti postavljen pri 4 % vrednosti celotne investicije (*Kandel et al. 2016, RIVM 2017b*).
6. Glede na ekonomsko analizo različnih ukrepov zmanjševanja izpostavljenosti NF MP lahko ugotovimo, da izvajanje ukrepov kompaktiranja DV, kabliranja, premeščanja tras ali bivalnih enot in kompenzacije NF MP zaradi visokih stroškov ni upravičeno.
7. Pri odločanju za izvedbo nizkocenovnih ukrepov za zmanjšanje NF MP v okolici DV je glavno vodilo, ki mu je potrebno slediti, da izvedeni ukrepi ne smejo ogroziti oz. poslabšati zdravstvenih, socialnih in gospodarskih vidikov. Glede na trenutne znanstvene dokaze in glede na pomembne druge negotovosti se priporoča, da se ob izvedbi posameznega ukrepa naredi ocena vpliva le-tega na zdravstvene, socialne in gospodarske kategorije. Pod pogojem, da koristi obstajajo ter je strošek izvedbe ukrepa v okviru "zelo nizkih stroškov", je izvajanje nekaterih ukrepov za zmanjšanje izpostavljenosti razumno in upravičeno (*Arpansa 2016, ENA 2016*).
8. Na podlagi ekonomske analize lahko ugotovimo, da se stroški za zmanjšanje izpostavljenosti precej razlikujejo od ukrepa do ukrepa, zaradi česar je zelo težko napisati splošno priporočilo za upravljanje stroškov glede na negotova tveganje ob izpostavljenosti NF MP. Namreč, glede na šibkost dokazov za povezavo med izpostavljenostjo NF MP in otroško levkemijo ter zelo omejen splošni možni vpliv na javno zdravje so koristi zmanjšanja izpostavljenosti na zdravje nejasne in zato morajo stroški zmanjšanja izpostavljenosti (izvedbe ukrepov) "biti zelo nizki" (*RIVM 2017b, SAGE 2010*).

Po pregledu literature o dobrih praksah umeščanja in drugih ukrepov za zmanjševanje obremenitev okolja z NF MP ugotovimo, da so ukrepi za zmanjševanje obremenitev okolja z NF MP upravičeni, če so povezani z minimalnimi stroški (npr. do 4 % vrednosti investicije). Kot smo večkrat navedli, je več študij pokazalo, da bistveno povečanje stroškov z namenom zmanjševanja NF MP pod zakonsko določenimi vrednostmi oz. pod vrednosti mednarodnih priporočil (ICNIRP) **ni smiselno in upravičeno**.

Dalje ugotovimo, da so politike in pristopi evropskih držav s predmetnega področja v osnovi podobni, razlikujejo se v obsegu sprejetih (previdnostnih) ukrepov in na kakšen način se ti odražajo v zakonodaji ter nekoliko tudi glede predpisanih mejnih vrednosti. Ukrepi, ki se izvajajo, so v osnovi predvsem odgovor držav oz. upravljalcev infrastrukture na zaskrbljenost in občutljivost javnosti v zvezi z učinki NF MP.

Glede na trenutne znanstvene dokaze in glede na pomembne druge negotovosti se priporoča, da se ob izvedbi posameznega ukrepa naredi ocena vpliva le-tega na zdravstvene, družbene in gospodarske koristi.

Pod pogojem, da koristi od ukrepa obstajajo, ter da je strošek izvedbe ukrepa v okviru "zelo nizkih stroškov", je izvajanje nekaterih ukrepov za zmanjšanje izpostavljenosti NF MP skladno z načelom previdnosti in načelom preventive ter razumno upravičeno.

Postavlja pa se vprašanje, ali je upoštevanje dodatnega previdnostnega ukrepa sploh strokovno upravičeno, saj dosedanje raziskave ne kažejo na kakršno koli zmanjšanje tveganj za zdravje ljudi ob zmanjšanju izpostavljenosti, hkrati pa je previdnostno načelo upoštevano z uvedbo dodatnega varnostnega faktorja že v okviru smernic ICNIRP in tudi naše zakonodaje.

Ugotovimo tudi, da se stroški za zmanjšanje izpostavljenosti precej razlikujejo od ukrepa do ukrepa, zaradi česar je zelo težko podati splošno priporočilo za upravljanje stroškov glede na ugotovljeno tveganje zaradi izpostavljenosti NF MP.

9.5 SKLEP

Načelo previdnosti je usmerjeno v prihodnost in zasleduje cilj, da že danes skušamo zmanjšati tveganja zaradi morebitnih škodljivih vplivov, o katerih danes šele domnevamo in jih z znanstveno gotovostjo ne moremo tudi dokazati.

Relevantni ukrepi so pomembni v območjih z vrednostmi, manjšimi od imisijskih in ob dalj časa trajajoči izpostavljenosti ljudi. Seveda pa so ukrepi primerni

le, dokler so tehnično in obratovalno še možni ter ekonomsko upravičeni.

Odrpito ostaja vprašanje, ali poznamo dovolj znanstveno utemeljenih argumentov za upoštevanje načela previdnosti v povezavi s problematiko NF MP. To seveda ne preprečuje politike, ki daje poudarek upoštevanju načela previdnosti, ki z uvajanjem določenih ukrepov vodi v zmanjševanje emisij virov NF MP. Pri tem pa je potrebno jasno razlikovati med znanstvenimi argumenti in političnimi odločitvami pri varovanju zdravja in varstva okolja - še posebej je to pomembno v komunikaciji z javnostjo.

9.6 LITERATURA

- Akins, A.; Lyver, P. O' B.; Alrøe, H.F.; Moller, H. (2019): The Universal Precautionary Principle: New Pillars and Pathways for Environmental, Sociocultural, and Economic Resilience. *Sustainability* 2019, 11(8), 2357.
Povezava: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/8/2357/htm>
- Boswell C., (2021). COVID-19 has increased trust in science. Can it do the same for the social sciences? Dostopno na: <http://eprints.lse.ac.uk/112044/>
- Carciofi, C., Valbonesi, S., Bisceglia, B., (2018). Precautionary principle application and 5G development; IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC).
- Cerne, F. (1995). Toward consensus: a study of environmental management strategies acceptance. CEEC - Croatian Environmental Education Centre ; Ljubljana : Pro-Eco, 1995
- Cerne, F. In Gajsek, P. Uvajanje načela previdnosti.
- CIGRE (2020). Responsible management of electric and magnetic fields (EMF). Dostopno na: <https://electra.cigre.org/311-august-2020/technical-brochures/responsible-management-of-electric-and-magnetic-fields-emf.html>
- Cucuzzella, C. (2007). Implementing the precautionary principle through stakeholder engagement for product and service development. May 2007. *Les Ateliers de L Éthique* 2(1)
- De Sadeleer, N. (2002). *Environmental Principles: From Political Slogans to Legal Rules*. Published to Oxford Scholarship Online: January 2010.
- EAE (2001). Evropska Agencija za okolje : Pozne lekcije iz zgodnjih svaril: previdnostno načelo v letih od 1896 do 2000, 2001
- EC (1998). Proposal for a Council Recommendation on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields, 0 Hz to 300 GHz (presented by the Commission). Document COM(1998) 268 final (11.06.1998).
- EC (2000). Communication from the Commission on the precautionary principle. Document COM (2000) 1. website: www.europa.int/comm/off/com/health_consumer/precaution.htm
- EC (2017). The precautionary principle: decision-making under uncertainty. Science for Environment Policy. Dostopno na: https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/precautionary_principle_decision_making_under_uncertainty_FB18_en.pdf
- EEC (1957). Treaty of Rome. Dostopno na: <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/en/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/treaty-of-rome>
- ENA (2012). Power Lines: Demonstrating compliance with EMF public exposure guidelines-A Voluntary Code of Practice, March 2012
- ENA (2016). Energy Network Association - EMF MANAGEMENT HANDBOOK, January 2016
- EU (1999). Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). *Official Journal of the European Communities L 199/59* (10. 7. 1999).
- Goldstein BD, Carruth RS. Implications of the Precautionary Principle: is it a threat to science? *Int J Occup Med Environ Health*. 2004;17(1):153-61
- ICNIRP (1998): Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), *Health Physics* Vol. 74, No 4, pp 494–522.
- ICNIRP (2010). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz), *Health Phys.*, vol. 99, no. 6, pp. 818–836, Dec. 2010

- ICNIRP (2020). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (100 kHz - 300 GHz). *Health Physics* 74: 494-522, 2020
- Italy (1998). Decreto 10 settembre 1998, n. 381. Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana [Decree 10 September 1998, No. 381. Regulations for the determination of ceiling values of radiofrequencies compatible with human health]. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* n. 257 del 3-11-1998 (v italijanščini).
- Jamieson D, Wartenberg D. (2021). The Precautionary Principle and Electric and Magnetic Fields. *Am J Public Health*. 2001 September; 91(9): 1355–1358. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1446777/>
- Kandel S, Swanson E, Khiefets L (2016). Health-Economic Analyses applied to power frequency magnetic fields, *Int Journal of Risk Analysis*. Vol. 35 (6), 2016
- Maslanyj M., Lightfoot T., Schüz J., Sienkiewicz Z., McKinlay A. (2010): A precautionary public health protection strategy for the possible risk of childhood leukaemia from exposure to power frequency magnetic fields. *BMC Public Health* 10, 673. Dostopno na: <https://bmcpubhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2458-10-673>
- MOP (2004). Pozne lekcije iz zgodnjih svaril: previdnostno načelo 1896 – 2000. Poročilo o okoljskih vprašanjih št. 22. (Izvirnik: Izvirnik: Publikacije je bil objavljen kot »Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000« pri Uradu za uradne publikacije Evropskih skupnosti (2001) za Evropsko agencijo za okolje.).
- Nair I, Morgan MG, Florig HK (1989). Biologic effects of power frequency electric and magnetic fields. Office of Technology Assessment Report OTA-BP-E-53. Washington, DC:U.S. Office of Technology Assessment, 1989.
- Nemčija - šestindvajseta uredba za izvajanje nemškega zveznega zakona o imisijah elektromagnetnih poljnih (Uredba o EMP) – 26. BImSchV)
- NRL, National Radiation Laboratory (2008), New Zealand Ministry of Health – Electric and Magnetic Fields and Your Health 2008
- O’Riordan T. (1989). Best Practicable Environmental Option (BPEO): A Case-study in Partial Bureaucratic Adaptation. *Environmental Conservation*, Volume 16, Issue 2, Summer 1989, pp. 113 – 122. Dostopno na: <https://doi.org/10.1017/S037689290008882>
- Persson E, (2016) What are the core ideas behind the Precautionary Principle? Umeå University, Department of Historical, Philosophical and Religious Studies, 901 87 Umeå, Sweden. *Science of the Total Environment* 557–558, 134–14). Povezava: <https://philpapers.org/archive/PERWAT-2.pdf>
- Pinto-Bazurco JF (2020). The Precautionary Principle. The Still Only One Earth policy brief series. Dostopno na: <https://www.iisd.org/system/files/2020-10/still-one-earth-precautionary-principle.pdf>
- Pond, A. (2021). Biased politicians and independent agencies. *Journal of Theoretical Politics*. First Published April 13, 2021 <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/09516298211003129>
- Rathenau Instituut (2020). Stakeholders of the precautionary principle. *Democratic information society*. 30.07.2020. Dostopno na: <https://www.rathenau.nl/en/knowledge-democracy/stakeholders-precautionary-principle>
- RIVM 2017b, National precautionary policies on magnetic fields from power lines in Belgium, France, Germany, the Netherlands and the United Kingdom, Report 0118
- Robinšak M. et al. (2014). Raziskava javnega mnenja ob rekonstrukciji DV 2 x 400 kV Beričevo Divača. Valicon, interna raziskava za ELES d.o.o.
- SAGE (2010), Second Interim Assessment, Electricity Distribution and Report on Discussions on Science, 2010
- Scheffer M., Leemput I., Weinans E., and Bollen J. (2021). The rise and fall of rationality in language. *PNAS* December 21, 2021. Dostopno na: <https://www.pnas.org/content/118/51/e2107848118?cct#sec-10>
- Spruijt P, Knol AB, Petersen AC, Lebrat E, Expert Views on Their Role as Policy Advisor: Pilot Study for the Cases of Electromagnetic Fields, Particulate Matter, and Antimicrobial Resistance (2019). *(Risk Anal* 2019; 39 (5): 968-974). <https://www.emf-portale.org/en/article/36501>
- Switzerland (1999a). Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant du 23 décembre 1999 [Regulation on protection against non ionising radiation of 23 december 1999] Dostopno na: www.admin.ch/buwal/
- Switzerland (1999b). Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant. Rapport explicatif [Regulation on protection against non ionising. Explanatory Report]. Dostopno na: www.admin.ch/buwal/
- Tubiana M.(2000). Conclusions. The precautionary principle: its advantages and risks. *Bull Acad Natl Med* 2000;184(5):969-93
- UL RS 70/96 (1996). Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju, Ministrstvo za okolje in prostor RS.
- Umwelt Bundesamt (2021). Precautionary principle. Dostopno na: <https://www.umweltbundesamt.de/en/precautionary-principle>
- United Nations UN (1992). United Nations Conference on the Human Environment (Stockholm Conference).

- Dostopno na: <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/humanenvironment>
- United Nations / General Assembly UN / GA (1992): Rio declaration on environment and development. Dostopno na: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_CONF.151_26_Vol.I_Declaration.pdf
- Wardman JK, Löfstedt R.(2018). Anticipating or Accommodating to Public Concern? Risk Amplification and the Politics of Precaution Reexamined. *Risk Anal* . 2018 Sep;38(9):1802-1819.
- World Health Organization WHO (1998). Fact Sheet No. 183. Electromagnetic fields and public health - Health effects of radiofrequency fields. website: www.who.int/peh-emf/
- WHO/UNEP/IRPA (1993). Environmental Health Criteria 137: Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz), WHO, Geneva, Switzerland, ISBN 92-4-157137-3
- World Health Organization WHO (2002): Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields. Dostopno na: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42543/>
- World Health Organization WHO (2007a). Fact Sheet No. 183. Electromagnetic fields and public health - Exposure to extremely low frequency fields - Background (June 2007). website: www.who.int/peh-emf/ 5. zvezek: Analiza dobre prakse pri uveljavljanju načela previdnosti in upravljanja tveganj ter priprava predlogov.
- World Health Organization WHO (2007b). Environmental Health Criteria 238: Extremely Low Frequency (ELF) Fields. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2007
- Zakon o varstvu okolja ZVO – 1. Zakon o varstvu okolja (ZVO-1-NPB14). Dostopno na: <https://zakonodaja.com/zakon/zvo-1>



Mitja Blagajac
ZGODBA d.o.o.

Na splošno je javnost postala zelo ozaveščena o tveganjih, saj verjame, da je danes izpostavljena večjim tveganjem kot v preteklosti in da jih bo v prihodnosti prisotno le še več.

- Paul Slovic, Perception of risk (1987)

10.1 UVOD

Zadnja desetletja so pokazala, da se pri predlagani gradnji nove ali spreminjanju obstoječe večje elektroenergetske infrastrukture zmeraj pojavijo tudi vprašanja tveganj. Električna, magnetna in elektromagnetna polja (v nadaljevanju EMP), ki jih ne vidimo in ne čutimo, predvsem med prebivalstvom vzbujajo polemike o možnih učinkih na zdravje. Na primer glede izbire lokacije na novo načrtovanih daljnovodov med širitvijo električnega omrežja ali za bazne postaje mobilne telefonije.

Vprašanja zdravstvenih tveganj in spremljajoče skrbi ter pomisleki, v kombinaciji z včasih povsem različnimi interesi deležnikov, vsebinsko in čustveno vplivajo na javno debato glede izvedbe načrtovanih infrastrukturnih posegov. Posledično tudi na odločitve, dejanja in obnašanje vseh vpletenih deležnikov.

Prisotnost tveganj, skrbi in pomislekov, visoka čustvena občutljivost javnosti, nestabilno politično okolje, omejen dostop javnosti do dejstev, pogoste govornice, trači, špekulacije, domneve, lažne novice in sklepanja ustvarjajo izredno nestabilno komunikacijsko okolje. Doseganje javnega konsenza glede umeščanja »tveganjih« energetskih objektov v prostor je dodatno oteženo še zaradi izredno nizkega zaupanja javnosti do državnih organov, regulatorjev in elektroenergetskih ter elektrodistribucijskih družb (*Robinšak et al. 2014, Edelman 2022*) ter z leti vse bolj zahtevne okoljevarstvene zakonodaje.

V družbi *Edelman (2022)*, ki zaupanje preučuje že dobri dve desetletji, verjamejo, da je to najpomembnejša valuta v odnosih, ki jih institucije – podjetja,

vlade, nevladne organizacije in mediji – gradijo s svojimi deležniki. Njihova ocena za zadnje leto je, da smo se ljudje in institucije znašli v ciklu nezaupanja. Izhod iz tega strokovnjaki vidijo predvsem v ustvarjanju novih, zaupanja vrednih družbenih voditeljev na vseh področjih. Tudi znane blagovne znamke in ugledna podjetja (in njihovi direktorji), ki so se dokazali z visokimi etičnimi standardi delovanja in praviimi kompetencami, prevzemajo vlogo družbenih voditeljev in vplivnežev. Na primer Tesla, Apple, Elon Musk, Richard Branson, Greta Thunberg, Luka Dončić, ...

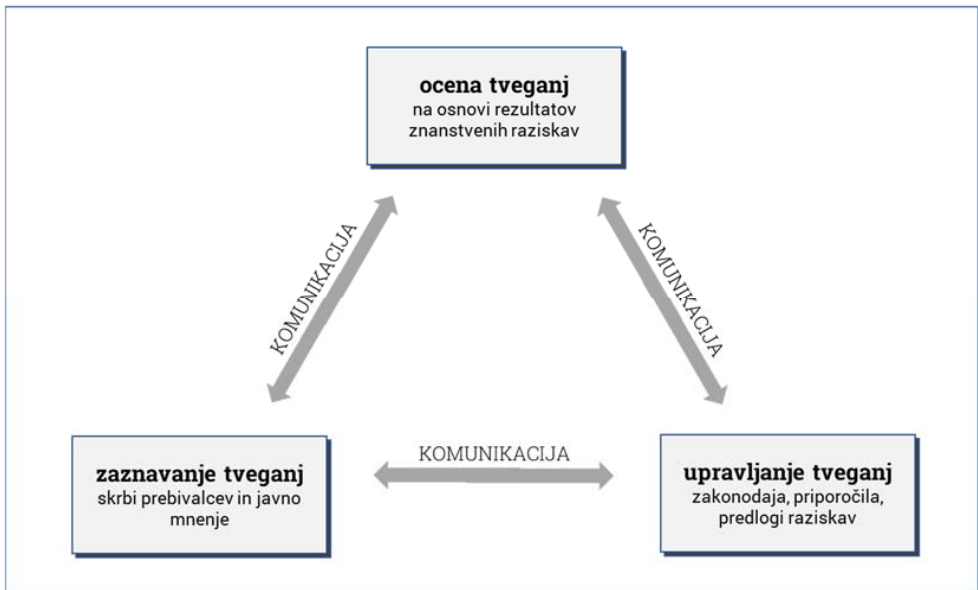
Danes dodaten izziv predstavlja še posebej nizko zaupanje javnosti v obdobju globalne pandemije COVID-19, spopadov v Ukrajini, energetske in prehranske druginje, ko se podjetja, vlade, nevladne organizacije in mediji v očeh javnosti niso najboljše izkazali. *Boswell (2021)* kljub vsem tem dejstvom ugotavlja, da je znanost, s proaktivno držo, z inovativnimi pristopi in s predstavitvijo novih rešitev, morda na zaupanju celo pridobila.

Mednarodno združenje za elektroenergetske sisteme (CIGRE) kot izredno pomembno za doseganje projektnih ciljev v danih okvirjih ter hkratno ohranitev ugleda in zaupanja v energetska podjetja ter dejavnost distribucije in prenosa električne energije izpostavlja prav komunikacijo z javnostjo (*CIGRE 2020*). Dobra tri desetletja smernice za komuniciranje tveganj, povezanih z EMP, izdaja tudi Svetovna zdravstvena organizacija (*WHO 2002*), vključujejo se tudi IARC in Mednarodna komisija za zaščito pred neionizirnimi sevanji (*ICNIRP 1998, 2010, 2020*) ter druge specializirane mednarodne in nacionalne agencije.

10.2 KOMUNICIRANJE TVEGANJ

Komuniciranje tveganj je bilo konec prejšnjega stoletja pojmovano predvsem kot širjenje informacij o zdravstvenih tveganjih in navodil javnosti, kako spremeniti vedenje za izogibanje oz. ublažitev teh tveganj. Ko so se v 21. stoletju razvile nove komunikacijske in medijske tehnologije ter prakse, se je hkrati učinkovito razvijala tudi praksa komuniciranja tveganj, ki danes vključuje vrsto potrebnih komunikacijskih zmogljivosti in aktivnosti, da se pri deležnikih spodbudi informirano odločanje, pozitivne spremembe vedenja in ohranitev zaupanja.

Gre za trajen interaktivni proces komuniciranja na vseh stopnjah obvladovanja tveganja, vzpostavljen z raznoliko publiko, s primarnim ciljem vključiti deležnike



Slika 10.1: Model obvladovanja tveganj EMP (WHO 2002).

v razprave o zdravstvenih in okoljskih tveganjih ter drugih pomembnih pomislekih.

Znanstveniki, medicinski strokovnjaki, politiki, novinarji, strokovnjaki elektrodistribucijskih podjetij in prebivalstvo tveganja razumejo, ocenjujejo in tolmačijo različno, kar je pri pripravi učinkovite strategije obvladovanja tveganj vredno upoštevati, sicer bo to heterogeno dojetje tveganj komunikacijo in javno razpravo le otežilo (WHO 2002).

Obvladovanje tveganj med drugim pomeni stalno izmenjavo informacij o zdravstvenih in okoljskih tveganjih ter drugih problematikah med podjetji, posamezniki, skupinami, strokovnjaki in institucijami. Obsega področja ocene tveganja med znanstveniki in strokovnimi paneli, zaznavanja in razumevanja tveganja v populaciji ter upravljanja tveganj s strani državnih in mednarodnih institucij (Slika 1). Poleg tega so v proces obvladovanja tveganja vključena združenja, kot so skupine za varstvo okolja in potrošnikov, mediji (tradicionalni, spletni in družbeni), zdravniki in uradniki za javno zdravje, pravniki, pa tudi elektroenergetska in sorodne industrije.

Komuniciranje tveganja je trajen, celovit, interaktiven in interdisciplinaren proces izmenjave informacij in mnenj med posamezniki, skupinami in institucijami. Vključuje več sporočil o naravi tveganja in drugih sporočil, ki izražajo pomisleke,

mnenja ali odzive na sporočila o tveganju ali na pravne in institucionalne dogovore za obvladovanje tveganja.

EMF Portal, eden glavnih virov informacij o EMP, bibliografskih podatkov in povzetkov znanstvenoraziskovalnih rezultatov ter z njimi povezanih tem ugotavlja, da je glavni cilj učinkovitega komuniciranja tveganj vzpostaviti dober dolgoročni delovni odnos z deležniki ter izgraditi polje zaupanja in sodelovanja, temelječ na skupnih ciljih. Sekundarni cilj je pravočasno posredovanje točnih, resničnih, jasnih in vsem razumljivih informacij in zagotavljanje konstruktivnega dialoga okoli njih.

Proces in elementi treh področij obvladovanja tveganj so ob razlagi uporabe načela previdnosti in preudarnega izogibanja podrobno opisani v prejšnjem poglavju avtorjev Černe in Gajšek. V tem poglavju so hkrati povzeta stališča ključnih deležnikov ter mednarodne dobre prakse (uveljavljanje mejnih vrednosti, ukrepi znižanja emisij, izobraževanje). Opredeljeni so tudi vidiki zaskrbljenosti in reakcij prebivalstva na prisotnost novih tveganj v življenjskem okolju in delovanja faktorjev ogorčenja. Vsi ti trije delujoči procesi in celovita, pozitivna, resnična in ciljno usmerjena komunikacija med deležniki so pogoj za dolgoročno učinkovito obvladovanje tveganj.

Temu je potrebno dodati, da je komuniciranje tveganj zmeraj dinamično in se prilagaja ciljem projekta, konkretni situaciji in izzivom, občinstvu in življenjskemu ciklu projekta. Zato univerzalni recept za učinkovito komuniciranje tveganj ne obstaja, obstaja pa nekaj skupnih temeljev oz. smernic, ki lahko služijo kot opomnik pri pripravi konkretnega projekta komuniciranja tveganja. Kaj je torej potrebno narediti za zagotovitev učinkovite komunikacije?

1. Graditi delovni odnos z vsemi deležniki kot zanesljiv in zaupanja vreden partner. Izpostaviti skupne točke in fokuse, ob priznavanju strahov, pomislekov in skrbi.
2. Zagotoviti popolno preglednost in razpoložljivost informacij, ki jih bodo vsi enako razumeli (tveganja bodo delovala manj zastrašujoče).
3. Zainteresiranim zagotoviti zaupanja vredne vire informacij in kompetentne sogovornike, po potrebi vključiti tretje osebe.
4. Poudariti prednosti in koristi, povezane z novo »tvegano« infrastrukturo.
5. Poiskati načine, kako ljudem dati občutek vključenosti v projekt, ne glede na to, kako majhen je, da zmanjšate njihov občutek izključenosti in nemoči.

10.3 ZAZNAVANJE TVEGANJ

Tveganje pomeni obstoj možnosti, da se zgodi kaj neželenega, slabega; možnosti, da se kaj pomembnega ali vrednega izgubi. Pomeni tudi biti v neki situaciji ali v določenem okolju ogrožen ali celo v nevarnosti.

Zdravstvena tveganja so povezana z nemedicinskimi dejavniki zdravja. Dejavniki tveganja so vsaka lastnost ali izpostavljenost posameznika, ki poveča verjetnost razvoja bolezni (*OECD iLibrary*).

Ljudje se s tveganji srečujemo vsak dan. Od rojstva nas okolica nanje opozarja in nas uči, kako jih čim bolj zmanjšati, kako z njimi varno sobivati ali še bolje, kako se jim čim bolj učinkovito izogibati. Tudi v poslovnem svetu je obvladovanje tveganj eden ključnih ciljev in hkrati temeljev dolgoročne uspešnosti. Tako kot dober ugled in visoka kredibilnost. Pravzaprav so ti trije temelji med seboj trdno povezani in v medsebojni odvisnosti. Če se tveganja pokažejo za upravičena, skrita ali zamolčana, znanstveno dokazana, (pre)visoka ali nesprejemljiva za (poslovno) okolje, odnos podjetij do njih pa napačen, se bo to zanesljivo poznalo na padcu ugleda in nižji kredibilnosti. To pa hitro za seboj potegne še zmanjšanje zaupanja, kar je lahko potencialni recept za katastrofo.

Živimo v svetu hitrih sprememb globalne politike, pandemije COVID-19, vojne na pragu Evrope. Ljudje smo iz preteklih kriz prišli bolj previdni in bolj zaskrbljeni, svoje skrbi tudi hitreje delimo z drugimi. Naša nova realnost je hiperprodukcija informacij (seveda tudi lažnih), ki je posledica skoraj četrtinske rasti angažiranosti ljudi okoli novic (*Edelman 2022*). K temu dejstvo, da družbena in novičarska omrežja postajajo naš celodnevni partner, le še pripomore. Logična posledica tega je tudi sprememba sloga informiranja v »najprej mobilno«; danes do spleta preko mobilnega telefona dostopa preko 79 odstotkov Slovencev (*iPROM 2022*). Iskalniki postajajo baze znanja, družbena omrežja pa naši vsakodnevni partnerji. Ustvarjajo se nove platforme vpliva in vplivneži. Za prikaz relevantnih vsebin vse več skrbijo algoritmi, ki jih poganja umetna inteligenca in sledijo obnašanju in interesom uporabnikov. Korporacijam v zameno za uporabo aplikacij dovolimo zbirati naše podatke, cveti big-data industrija.

Paul Slovic (1987) je v svojem delu *Perception of Risk* že leta 1987 napovedal, da je na splošno javnost postala zelo ozaveščena o tveganju, saj verjame, da je danes izpostavljena večjim tveganjem kot v preteklosti in da jih bo v prihodnosti prisotno le še več. Komunicirana previdnostna priporočila bodo zaskrbljenost javnosti skozi čas verjetno še dodatno povečala.

Najpomembnejši dejavniki, ki vplivajo na to, kako javnost dojema tveganje in

se nanj odziva, so resnost in bližina samega tveganja ter ustvarjeno zaupanje na podlagi predhodnih izkušenj s tveganjem in nosilcem tveganja.

Sandman (1993), oče pojma »dejavniki ogorčenja« in eden največjih svetovnih strokovnjakov za komuniciranje tveganj, je že v devetdesetih letih prejšnjega stoletja postavil trditev, da je ključ do učinkovitega obveščanja o tveganjih dobro poznavanje občinstva. Potrebno je razumeti njihovo zaznavanje tveganja, ker je to njihova realnost. Obnašanje ljudi je odvisno od njihovih mnenj, čustev in dojemanja možnih tveganj. Vse naštetu se oblikuje na podlagi tega, kar ljudje slišijo, berejo, vidijo in doživljajo. Starost, spol, kulturno ozadje, družina in izobrazba tudi vplivajo na dojemanje tveganja.

Pri oblikovanju sporočil in komuniciranju z javnostjo je lahko poznavanje tega, kako se javnost počuti glede tveganja oz. kako natančno tveganje zaznava, zelo pomembno. Na javno zaznavanje tveganja lahko vpliva veliko različnih dejavnikov. *Covello, Peters, Wojtecki in Hyde (2001)* so še posebej opozorili, da prostovoljnost, možnost nadzora, domačnost, pravičnost, koristi, reverzibilnost, negotovost, strah, etična oz. moralna narava, človeški ali naravni izvor, potencial za katastrofo, razumevanje tveganja, zaupanje v institucije in pretekle osebne izkušnje lahko znatno pozitivno ali negativno vplivajo na dojemanje tveganja. Razumevanje in sprejemanje tveganj je veliko učinkovitejše, če se ti dejavniki upoštevajo in uporabijo pri razvoju komunikacije z javnostjo. Dodatno na zaznavanje in sprejemanje tveganj lahko vplivajo tudi pogostost komuniciranja, način uporabe strokovnega znanja in partnerstev, izbrane strategije za širjenje sporočil ter sposobnost ocenjevanja in zagotavljanja povratnih informacij za izboljšanje prihodnje učinkovitosti (*Mileti in Kuligowski 2006*).

Podrobnejše razumevanje in upoštevanje vseh naštetih dejavnikov pomaga komunikatorjem učinkovito oblikovati in izvajati sporočila o tveganju za različne javnosti v širokem, kompleksnem in zapletenem informacijsko-medijskem okolju. Večje težave pri komuniciranju tveganj so predvsem posledica različnega dojemanja tveganja s strani znanstvenikov, politikov, predstavnikov industrije in državljanov.

Deležniki in tisti, ki komunicirajo tveganja, morajo priznati in razumeti, da lahko naštetu dejavniki, skupaj z odnosom drug do drugega, pomembno vplivajo na vse udeležence ter na njihovo sprejemanje ali zavračanje tveganja.

Za lažje načrtovanje komunikacij je smiselno deležnike razdeliti v skupine, ki združujejo po lastnostih podobne deležnike in je vsebino, formo in komunikatorja mogoče prilagoditi njihovim specifikam (primer v Tabeli 10.1). Za to je potrebno čim bolj skrbno raziskati posamezne deležnike in ugotoviti njihova čustva,

poznavanje tveganja, stališča in držo napram izpostavljenim tveganjem in vsebini komunikacije. Hkrati s pridobivanjem informacij je prav, da se deležnikom tudi prisluhne glede predlogov, kako izboljšati obveščanje in komunikacijo o tveganjih nasploh ter kako pomagati komunikatorjem pri vzpostavljanju, ohranjanju in nadgradnji odnosov na obojestransko koristne načine.

Tabela 10.1: Najpomembnejši segmenti in deležniki pri postavitvi visokonapetostnega daljnovoda.

ZNANSTVENA SKUPNOST Raziskovalci Inženirji Inšpektorji	INDUSTRIJA Elektrodistribucija Elektrotehnika Energetika Gradbeništvo Pametna mesta Zaposleni in sindikati	ZAKONODAJA Poslanci Politične stranke Institucije Lobisti	VLADA Javni uslužbenci Politiki Regulatorji Državni organi
MEDIJI Tradicionalni Spletni Družbeni Dogodki Interaktivni	SPLOŠNA JAVNOST Občine Prebivalstvo Individualni uporabniki Šolski okoliši	INTERESNA ZDRUŽENJA Okoljevarstveniki Strokovnjaki Potrošniki Zagovorniki Iniciative	ZDRAVSTVO Osební zdravniki Specialisti Digitalni servisi za zdravje

V postopku priprave komuniciranja tveganj je zelo koristno vedeti in razumeti, kaj povzroča zaskrbljenost pri določenem deležniku in kateri so njegovi dejanski »dejavniki ogorčenja«. Tako se lažje vživimo v vlogo deležnika in se izognemo zavračanju njihovih skrbi.

V Sloveniji javnost slabo razume ali sploh ne razume pojmov nizkofrekvenčnih električnih ali magnetnih polj in ju zaznava kot nenaravne in industrijskega izvora. Ljudje menijo, da nimajo nadzora nad svojo izpostavljenostjo EMP, sami je ne morejo zmanjšati in je izpostavljenost neprostoVOLjna. Tisti, ki so pogosto izpostavljeni menijo, da nimajo neposredne koristi od infrastrukture (tehnologije), ki ustvarja izpostavljenost; moč se prenaša na druge uporabnike, medtem ko oni živijo z zaznanimi tveganji. Lahko izvejo, da obstaja nevarnost raka in še huje, obstaja domneva, da bi lahko bili prizadeti otroci. Morda zasledijo nasprotujoče si poglede v medijih ali na internetu in menijo, da obstaja nesoglasje med strokovnjaki glede učinkov EMP na zdravje. Ljudje večinoma menijo, da nimajo dovolj možnosti vplivati na predloge industrije ali države. Vse te stvari, čeprav ne spremenijo ravni tveganja, povečujejo raven zaskrbljenosti.

Vse to dokazujeta tudi Valiconova Raziskava javnega mnenja ob rekonstrukciji

daljnovoda 2 x 400 kV Beričevo – Divača (*Robinšak et al. 2014*) in ELESovo interno gradivo »Pridobljene izkušnje in spoznanja iz dosedanjega posvetovalnega procesa ter priporočila za načrtovanje prihodnjih posvetovalnih procesov« (*Škrl Marega 2014*). Obe poročili kažeta tudi na dejstvo, da javnost od vseh deležnikov projekta najmanj zaupa investitorju, torej ELESu, čeprav le-ta spada med bolj družbeno odgovorna in angažirana podjetja, ki ogromno vlaga v zaposlene, inovacije, zmanjševanje obremenitev okolja, komunikacijo s svojimi deležniki, tudi komuniciranje tveganj izvaja redno in vzorno. Očitno pa nič od tega ne izboljša zaupanja lokalnih deležnikov ob trasi novega oz. rekonstruiranega visokonapetostnega daljnovoda.

Veščine komuniciranja tveganj so potrebne tam, kjer je zaskrbljenost visoka in stopnja zaupanja nizka (*Sandman 2012*). Z nezaupanjem in odpori se ne srečujejo le visokonapetostni daljnovodi, temveč številne stare in nove tehnologije in tehnološke rešitve kot na primer cepiva in zaščitne maske, mobilna telekomunikacijska omrežja, lokalna Wi-Fi omrežja v šolah in avtomobilih, jedrska energija, fosilna goriva, električna in avtonomna vozila, elektronska cigareta, plastika, genetsko spremenjena hrana.

Izziv industrije je vzpostaviti kompetentno in odzivno okolje (ekipa, platforme, vsebine), ki omogoča izvajanje konstruktivnega dialoga z vsemi deležniki in sprejemanje odgovornih, strokovnih in družbeno sprejemljivih odločitev, tudi glede tveganj EMS in umeščanja novih energetskih objektov v okolje.

Učinkovito komuniciranje tveganj družbe ELES mora ostati namenjeno spodbujanju razumevanja predlogov ter pomena, prednosti in koristi rekonstruiranega visokonapetostnega daljnovoda. Bistveni cilj je tudi uveljaviti investitorja (ELES) in ključne deležnike projekta kot vir informacij, na katerega se je mogoče zanesti in pokazati, da ključni deležniki skrbi posameznikov jemljejo resno in vse ljudi obravnavajo spoštljivo. Sekundarni skupni cilj je seveda njihovo informiranje in izobraževanje.

Sandman (2012) razlaga, da je utopično verjeti, da bo izobraževanje javnosti odpravilo obstoječe skrbi in pomisleke, saj so konflikti mnenj skoraj zmeraj posledica nezaupanja - trka vrednot ali interesov, ne pa pomanjkanja razumevanja. Dejstva so pomembna, pomembni pa so tudi proces sporočanja dejstev, odgovornost komunikatorja in sposobnost ustvarjati polje skupnega interesa in zaupanja. Ljudje ne bodo sprejeli informacij od nekoga, ki mu ne zaupajo. Prav tako je verjetno, da bodo investitorju v daljnovod bolj zaupali razlago tehnologije kot komentiranje znanstvenih raziskav ali mejnih vrednosti.

Zaupanje ni nekaj, kar bi lahko pričakovali ali zahtevali. Izgradnja navadno

zahteva veliko časa in truda, že zaradi majhne napake ali primera slabe presoje pa se lahko prav hitro poškoduje ali poruši.

Težava ni v tem, da javnost ne zaupa industriji in regulatorjem. Težava je v tem, da industrija in regulatorji pričakujejo, da jim bo javnost zaupala. Še naprej zahtevajo zaupanje, namesto da bi delali, da bi bili odgovorni, tako da jim niti ni treba zaupati. Dodaten problem pa je, da seveda tudi industrija in regulatorji ne zaupajo javnosti (*Sandman 2012*).

V vseh primerih učinkovito komuniciranje vprašanj EMP zahteva dejanski, odprt in pošten pristop ter pristno priznanje pomislekov. Dobro upravljanje teh interakcij in dialoga je zelo pomembno, predvsem ko gre za komuniciranje kompleksnih – znanstvenih ali tehnoloških – vsebin in je dobra podlaga za dolgoročno izgradnjo zaupanja. Komunikacijska stroka predlaga, da se pri načrtovanju in izvedbi komunikacij upoštevajo oz. vključijo vsaj naslednji koraki:

- Natančna identifikacija in mapiranje deležnikov.
- Priznavanje negotovosti, kjer obstaja.
- Razumevanje dojemanja tveganj pri deležnikih in njihovih konkretnih skrbi.
- Poznavanje dejavnikov, ki vplivajo na dojemanje tveganj.
- Upravljanje tveganj in nevarnosti skozi trajnostno komunikacijo vrednot (nikoli sami ne branimo sebe).
- Zagovarjanje spoštovanja veljavne zakonodaje, regulative in znanstvenega pristopa.
- Uporaba skupnega, splošno razumljivega jezika (zraven znanstvenih dejstev).

10.4 KOMUNICIRANJE Z JAVNOSTMI

Izzivi komuniciranja izgradnje novih visokonapetostnih daljnovodov vključujejo ugotavljanje, ali obstaja nevarnost zaradi izpostavljenosti EMP in kakšen je možni vpliv na zdravje, prepoznavanje razlogov, zakaj bi javnost lahko bila zaskrbljena ter izvajanje politik, ki varujejo javno zdravje in se odzivajo na skrbi javnosti. Odziv na te izzive zahteva usklajeno sodelovanje posameznikov ali organizacij s pravim naborom kompetenc, ki združujejo ustrezno znanstveno strokovno znanje, močne komunikacijske veščine in dobro presojo na področju upravljanja in regulative.

Dolgoročno zaupanje je lažje, kot z izobraževanjem in navajanjem dejstev

graditi skozi dobro in celovito zgodbo o koristih nove infrastrukture in širše, za katero seveda z vso odgovornostjo stojijo ključni deležniki, a so vanjo vključeni tudi vsi ostali deležniki, tudi nasprotniki. Prav to odgovornost želi začititi javnost, da si bo lahko dovolila zaupati tistim, ki se jim tradicionalno ne zaupa.

Industrija mora prevzeti in pokazati odgovornost ter aktivno graditi in podpirati širšo zgodbo o zelenem prehodu, tehnološkem razvoju in napredku, katerega del je izgradnja nove infrastrukture. Z zagovarjanjem koristi, gradnjo vrednot in s promoviranjem dogovorjenih ključnih sporočil. Pri tem mora biti čim bolj proaktivna, saj ima s tem komunikacijsko prednost, a le ob komuniciranju celotne in celovite zgodbe, ob izpostavljanju koristi novih tehnologij napram domnevnim tveganjem. Komunikacija naj bo osredotočena na rešitve oz. razjasnitev problemov, nevarnosti in dilem. Dogovori o morebitnih ukrepih naj bodo jasni in finančno ter časovno opredeljeni. Ustvarja se naj odprta in ciljno usmerjena javna debata o zdravstvenih tveganjih in drugih skrbih prebivalstva, ki bo pritegnila ljudi h konstruktivnemu sodelovanju. Tudi njim je mar.

Mednarodno združenje za elektroenergetske sisteme (*CIGRE 2020*) opozarja, da je znanstvene rezultate o zdravstvenih tveganjih treba med komunikacijskim postopkom predstaviti na preprost in razumljiv način, da se vzpostavi znanstvena baza znanja za državljane, politike, oblikovalce politik in novinarje. Dejstva je treba posredovati na odprto in objektivno način v čim bolj zgodnji fazi, da se doseže sprejetje javnosti. Državne institucije bi morale zagotoviti informacije za javnost o mejnih vrednostih in varnostnih zahtevah ter koristih projekta ali uvedbe nove tehnologije. Ti koraki lahko pripeljejo do rasti zaupanja med prebivalstvom. Odprtost in nevtralnost vladnih institucij in agencij za komuniciranje in obveščanje sta pomembna dejavnika za krepitev zaupanja.

Glavni izziv pri prenosu znanja je priprava kompleksnih dejstev znanstvenih objav na način, da so državljanom splošno razumljiva. V rezultatih je treba predstaviti tudi morebitne nedoslednosti, saj lahko negotovost in nedoslednost rezultatov vodita do močnejšega dojetja tveganja v javnosti. Poleg tega je pomembno poročati o rezultatih vseh ustreznih študij, tudi če je kakovost študije morda sporna. V nasprotnem primeru sta lahko ugled in nevtralnosti znanstvenikov neverodostojna.

Industrija mora, če želi graditi ugled in zaupanje, ob nagovarjanju deležnikov in prebivalstva zmeraj skupaj s tveganji obravnavati koristi projekta, kot pomembno protiutež (glej Tabelo 10.2). Seveda bodo deležniki sami presodili, ali koristi pretehtajo tveganja, a je manj verjetno, da bodo tveganja sprejemljiva, če so koristi skrite očem ali če niso pravično porazdeljene med tiste, ki nosijo tveganja.

Tabela 10.2: Koristi in tveganja ob rekonstrukciji visokonapetostnega daljnovoda

KORISTI	TVEGANJA
Boljša in zanesljivejša energetska oskrba. Lažji zeleni prehod. Večja energetska samozadostnost. Minimalizirani vplivi na okolje. Večje možnosti elektro mobilnosti. Pametna mesta. Pametni dom – IOT. Energetska varnost.	Vplivi na zdravje. Učinki na okolje. Vizualni efekt. Padec vrednosti nepremičnin. Mejne vrednosti / regulativa. Aktivni nasprotniki / civilne iniciative. Izvedljivost. Fake news.

Golo predstavljanje dejstev za nekatere deležnike ali posameznike nikoli ne bo dovolj prepričljivo, saj je bilo s strani industrije, uradnikov, znanstvenikov in celo regulatorjev v preteklosti veliko napačnih trditev o številnih okoljskih in zdravstvenih vprašanjih. Hkrati neprepričani ljudje radi dajejo večjo težo informacijam, ki potrjujejo njihove obstoječe poglede in čustvena stanja. Danes ima vsak posameznik dostop do širokega nabora alternativnih pogledov in virov informacij, ki podpirajo njihove lastne interpretacije. Vse te informacije morda niso točne, vendar je laikom težko presoditi o zanesljivosti trditev o znanstvenih raziskavah.

Tudi *WHO (2007)* svari pred previdnostnimi ukrepi, kot je samovoljno znižanje mednarodno priznanih mejnih vrednosti (*ICNIRP 2020, EU 1999, UL RS 1996*), saj bi to lahko spodkopalo zaupanje v njihovo znanstveno bazo in znanost nasploh. Posledice takšnih samovoljnih omejitev lahko vključujejo potrebo po drugačnih tehničnih rešitvah za vzpostavitev učinkovitega omrežja, s tem povezanimi možnostmi zamud pri izgradnji in povečanimi stroški. Poleg tega so visokonapetostni daljnovodi mednarodna tehnologija in pri tej je bolje slediti mednarodnim standardom. Če naj bi se lokalni varnostni standardi razlikovali od mednarodno objavljenih smernic je pomembno, da za to obstaja dobra utemeljitev (*CIGRE 2020*).

Kaj pa lahko industrija (s pomočjo stroke) stori da bi, navedenim dejstvom navkljub, lahko dosegala boljše rezultate komuniciranja in aktivacije javne razprave o tveganjih?

- Jasno opredeli raziskana in neraziskana tveganja, izpostavi predvsem vprašanje varnosti ter v tem duhu ponudi ustrezne odgovore in argumente.
- Zagotovi koordinirane (znanost, stroka, regulatorji, nadzor) odgovore na skrbi glede možnih učinkov izpostavljenosti EMP na zdravje in okolje.
- Povsod promovira sprejete varnostne ukrepe in mejne vrednosti ter morebitne sprejete zaveze (kodekse).

- Promovira znanost in znanstveni pristop k oceni, opredelitvi in upravljanju tveganj.
- Gradi zaupanje v znanost, raziskovanje, inženiring, tehnološki razvoj, solidarnost, inovativne posameznike, organizacije, podjetja.
- Izvaja in spodbuja dialog med ključnimi deležniki, zavezniki in nasprotniki.
- Zgradi nove, trendovske in kredibilne komunikacijske platforme in jih redno dopolnjuje z zanimivimi vsebinami.
- Ustvari obraze, ki predstavljajo koristi projekta kot celote. Ustvari etične poslovne voditelje.

Seveda je za vsako takšno aktivacijo komuniciranja tveganj potrebno biti vnaprej pripravljen; ne le strateško in vsebinsko, ampak tudi taktično, s pripravljeno orodjarno za izvedbo komuniciranja tveganj (in širše) z javnostmi. Katere so potrebne komunikacijske platforme in orodja za vzpostavitev osnovne orodjarne za komuniciranje tveganj EMP?

- Osrednja informacijska točka stroke in znanja. Točka za reševanje konfliktov in individualno posvetovanje (tudi glede pritožb).
- Program komuniciranja tveganj, zasnovan na dejstvih:
 - razlagalna spletna stran,
 - FAQ, miti in dejstva,
 - izobraževalne vsebine (infografike, animacije, risanke, video, interaktivne vsebine),
 - odprti forum o učinkih EMP (informacije, izmenjava mnenj, povezave),
 - projekti za prebivalstvo in posebne skupine deležnikov (dijaki, študenti).
- Katalog stopenj izpostavljenosti EMP in mejnih vrednosti s strokovno razlago – doma (instalacija, naprave, brezžične tehnologije), v soseskah, vrtcih in šolah, podjetjih, mestih, državi.
- Uporabniški priročniki in letaki s pojasnili, info točke.
- Programi meritev izpostavljenosti na domu in tolmačenje rezultatov.
- Različni programi ozaveščanja o tveganjih.

Za pripravo potrebnih vsebin je na voljo kar nekaj kredibilnih virov znanja in informacij o EMP in komuniciranju le-teh v obliki priročnikov, publikacij, monografij, znanstvenih člankov, raziskav, razlage pojmov. Najbolj zanimivi so:

- Inštitut za neionizirna sevanja, INIS (www.inis.si).
- EMF Portal (<https://www.emf-portal.org/en>).
- WHO Spletna stran (<https://www.who.int/>).
- WHO: Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields (*WHO 2002*).
- ICNIRP: Guidelines for Limiting Exposure to Time - Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz) (*ICNIRP 2020*).
- ENA, Energy Network Association: EMF MANAGEMENT HANDBOOK (*ENA 2016*).
- IARC: Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans (*IARC 2002*).
- CIGRE: Responsible management of electric and magnetic fields (EMF) (*CIGRE 2020*).

Zanimivo je tudi poročilo britanske projektne skupine SAGE, katere cilj je bil zbrati ključne zainteresirane deležnike, da prepoznajo in raziščejo možnosti uvedbe ukrepov načela previdnosti glede EMP daljnovodov in pripravijo praktična priporočila za izvedbo le teh. Dogovorili so se, da podpirajo izvajanje nizkocevnih ukrepov za zmanjševanje obremenitev ljudi in okolja z EMP (*SAGE 2010*).

Dobre rezultate pri ustvarjanju zaupanja med deležniki prinaša tudi sprejem zavez glede odgovornega delovanja in upoštevanja predpisov, mejnih vrednosti, ukrepov za zmanjšanje obremenitev, upoštevanja konkretnih skrbi javnosti ter skupnega delovanja regulatorjev, investitorjev in ključnih deležnikov v korist vseh ljudi. Primera prostovoljnega kodeksa dobre prakse in okoljskih zavez sta slovenski Kodeks dobre prakse o umeščanju virov elektromagnetnih sevanj v prostor (*Forum EMS 2004*) in britanski Power Lines: Demonstrating compliance with EMF public exposure guidelines, A voluntary Code of Practice (*Department of Energy & Climate Change 2012*). Takšni kodeksi navadno prinesejo izboljšanje pretoka informacij pri umeščanju virov EMP v prostor ter vzpostavitev dobrih temeljev za sodelovanje med javnostmi, vladnimi in nevladnimi organizacijami, industrijo ter stroko.

Po tem, ko so za komuniciranje z javnostmi pripravljene orodjarna, orodja, vsebine in obrazi, se komunikacije po načrtu ali potrebi lahko učinkovito izvajajo, seveda ob predpostavki, da so usklajene s situacijo in pravilno upravljane.

Upravljanje je lahko različno, a vsekakor naj bo natančno načrtovano in naj integrira vsaj sledeče korake:

- Razvijanje ciljev, platform, orodij in ključnih sporočil glede na resnično stanje, s seznamom potrebnih virov. Uskladitev s projektnimi partnerji in ključnimi deležniki.
- Ustvarjanje primarne in vzporedne publicitete. Vztrajanje pri svoji celoviti zgodbi in sporočilih, osredotočenje na vprašanje varnosti in koristi projekta. Imeti na voljo več komunikatorjev.
- Zagotavljanje natančnih in pravočasnih informacij in argumentov. Pariranje nasprotnikom, ko je potrebno. Imeti jasen načrt dela.
- Spremljanje ključnih javnosti. Sprotno merjenje rezultatov in preverjanje doseganja ciljev.
- Nadgradnja ali prilagajanje komunikacijskih orodij in vsebin.
- Ponovitev.

10.5 ZAKLJUČEK

Meja med uspehom in morebitnim neuspehom pravočasne izgradnje nove elektroenergetske infrastrukture je torej tanka, vsekakor pa so možnosti za uspeh večje, če se načrtovanje, projektiranje, razvoj, izgradnja in priklop nove infrastrukture ali nadgradenj celovito komunikacijsko podpre že od prvega dne. Vplivi, tveganja (ne le zdravstvena) in odgovori na pomisleke glede nove infrastrukture pa morajo imeti pomembno mesto med ključnimi vsebinami. Centraliziran interdisciplinaren pristop, sploh ko gre za tveganja, je najboljša dolgoročna rešitev.

Vključevanje znanosti in strokovnjakov v proces identifikacije in ocene tveganj, v razvoj in implementacijo politik (in predpisov) za obvladovanje tveganj, v izgradnjo kredibilnega sistema dolgoročnega spremljanja, merjenja in evalvacije učinkov tehnologij, v izvedbo izobraževanja in osveščanja javnosti o dognanjih in ukrepih, v ustvarjanje komunikacijskih platform in vsebin ter v vodenje odkritega javnega dialoga ustvarja kredibilno komunikacijsko okolje in v ospredje komunikacije postavlja priznane strokovnjake, mnenjske voditelje, jasne in kredibilne argumente ter delujoče rešitve s prepoznanimi koristmi (za vse).

V trenutku, ko ljudje ocenijo, da so tveganja in drugi pomisleki večji od koristi, ki jih prinaša infrastruktura, pa naj si bodo resnični ali ne, je namreč za mirno, načrtovano, obvladljivo komunikacijo največkrat že prepozno, postopki uvajanja

tehnologije pa postanejo zamudni, zapleteni, dragi in neučinkoviti, prav tako tudi komunikacija.

10.6 LITERATURA

- Boswell C. (2021). COVID-19 has increased trust in science. Can it do the same for the social sciences? Dostopno na: <http://eprints.lse.ac.uk/112044/>
- CIGRE (2020). Responsible management of electric and magnetic fields (EMF). Dostopno na: <https://electra.cigre.org/311-august-2020/technical-brochures/responsible-management-of-electric-and-magnetic-fields-emf.html>
- Covello, V. T., Peters, R. G., Wojtecki, J. G., & Hyde, R. C. (2001). Risk communication, the West Nile virus epidemic, and bioterrorism: Responding to the communication challenges posed by the intentional or unintentional release of a pathogen in an urban setting. *Journal of Urban Health*, 78(2), 382-391.
- Department of Energy & Climate Change (2012). Power Lines: Demonstrating compliance with EMF public exposure guidelines. Dostopno na: <https://www.gov.uk/government/publications/demonstrating-compliance-with-emf-public-exposure-guidelines-voluntary-code-of-practice>
- Edelman (2022). 2022Edelman Trust Barometer. Dostopno na: <https://www.edelman.com/trust/2022-trust-barometer>
- EMF Portal. <https://www.emf-portal.org/en>
- ENA (2016). Energy Network Association - EMF MANAGEMENT HANDBOOK, January 2016. Dostopno na: <https://www.energynetworks.com.au/?s=EMF+MANAGEMENT+HANDBOOK&submit=Search>
- EU (1999). Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). *Official Journal of the European Communities L 199/59* (10. 7. 1999).
- Forum EMS (2004). Kodeks dobre prakse o umešanju virov elektromagnetnih sevanj v prostor. Dostopno na: http://www.forum-ems.si/kodeks_dobre_prakse.html
- IARC (2002). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 80. Dostopno na: <https://publications.iarc.fr/98>
- ICNIRP (1998). Guidelines for Limiting Exposure to Time - Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), *Health Physics* Vol. 74, No 4, pp 494–522.
- ICNIRP (2010). Guidelines for Limiting Exposure to Time - Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), *Health Physics* Vol. 99, no. 6, pp. 818–836.
- ICNIRP (2020). Guidelines for Limiting Exposure to Time - Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics* Vol. 118: 483–524.
- iProm (2022). Analiza o tehnoloških značilnostih naprav, s katerimi spletni uporabniki dostopajo do digitalnih medijev. Dostopno na: <https://iprom.si/skoraj-osem-od-desetih-slovencev-do-spleta-dostopa-prek-mobilnega-telefona/>
- Mileti D. S. & Kuligowski E. D. (2006). Evidence-based guidance for public risk communication and education. START Research Brief. College Park, MD: START.
- OECD iLibrary. Dosegljivo na: <https://www.oecd-ilibrary.org/>
- Robinšak M. et al. (2014). Raziskava javnega mnenja ob rekonstrukciji DV 2 x 400 kV Beričevo Divača. Valicon, interna raziskava za ELES d.o.o.
- SAGE (2010), Second Interim Assessment, Electricity Distribution and Report on Discussions on Science, 2010. Dostopno na: <https://www.emfs.info/policy/sage/2ia/>
- Sandman P. M. (1993). Responding to Community Outrage: Strategies for Effective Risk Communication. Dosegljivo na: <http://psandman.com/media/RespondingtoCommunityOutrage.pdf>
- Slovenija, UL RS 70/96 (1996). Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju, Ministrstvo za okolje in prostor RS.
- Slovic P. (1987). Perception of risk. *Science*. Dostopno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3563507/>
- Škrl Marega M. (2014). Pridobljene izkušnje in spoznanja iz dosedanjega posvetovalnega procesa ter priporočila za načrtovanje prihodnjih posvetovalnih procesov. ELES, interno gradivo.
- Wiedemann P., Boerner FU., Freudenstein F. (2021). Effects of communicating uncertainty descriptions in hazard identification, risk characterization, and risk protection. *Plos One*. Dostopno na: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0253762>
- World Health Organization WHO (2002): Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields. Dostopno na: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42543/>
- World Health Organization WHO (2007). Environmental Health Criteria 238: Extremely Low Frequency (ELF) Fields. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2007.



11 Ukrepi za zmanjšanje EMP v okolici elektroenergetskih objektov

Blaž Valič, Peter Gajšek

Inštitut za neionizirna sevanja Ljubljana

11.1 UVOD

Ukrepi za zmanjšanje vrednosti nizkofrekvenčnih (v nadaljevanju NF) elektromagnetnih polj (v nadaljevanju EMP) v okolici sistemov in naprav elektroenergetske infrastrukture so usmerjeni k temu, da se vrednosti NF EMP na določenem območju v bližini teh virov zmanjšajo. Vzroki za željo po zmanjšanju vrednosti NF EMP so različni. V Sloveniji je gotovo eden od pogostih vzrokov zagotavljanje skladnosti z mejnimi vrednostmi, ki so določene v Uredbi o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (UL RS 70/96), še zlasti na območjih, ki sodijo v I. območje varstva pred sevanji in kjer so posledično mejne vrednosti 10-krat nižje od mednarodno priporočenih. Vzrok za izvajanje ukrepov je tudi načelo previdnosti, ki ob še vedno obstoječi znanstveni negotovosti o morebitnih vplivih NF EMP na zdravje predlaga izvajanje ukrepov za zmanjšanje izpostavljenosti prebivalstva NF EMP. Zaradi potencialno velike škode, ki bi lahko nastala, če bi se v prihodnosti izkazalo, da obstajajo vplivi NF EMP na zdravje pri vrednostih, nižjih od mejnih, je smiselno ukrepe izvajati že prej. Z vidika načela previdnosti so zaradi neznanih koristi izvajanja ukrepov strokovno sprejemljivi samo tisti ukrepi, ki so povezani z ničnimi oziroma zanemarljivimi stroški. Do takšnih ugotovitev prihajajo tudi v tujih študijah (WHO 2007, RIVM 2017). Večkrat pa je vzrok za izvajanje ukrepov za zmanjšanje NF EMP tudi posledica dogovorov in kompromisov z lokalno skupnostjo in drugimi skupinami v postopku umeščanja naprav v prostor in posledično ukrepi niso posledica strokovnih ampak političnih oziroma družbenih vzrokov.

Kakor je bilo že v začetku omenjeno, so ukrepi za zmanjšanje NF EMP v

okolici sistemov in naprav elektroenergetske infrastrukture usmerjeni k temu, da se vrednosti NF električnega polja (v nadaljevanju EP) in/ali NF magnetnega polja (v nadaljevanju MP) zmanjšajo na določenem območju v bližini teh virov. EP in MP se v okolico širita zelo različno, saj na širjenje EP vplivajo vsi vsaj malo prevodni objekti, kot so stavbe, vegetacija in podobno, MP pa se skozi večino materialov širi nemoteno. Glede na območje, kjer želimo doseči zmanjšanje, je potrebno izbrati ustrezne ukrepe. Povišanje višine vodnikov visokonapetostnih (v nadaljevanju VN) daljnovodov (v nadaljevanju DV) je zelo učinkovit ukrep za zmanjšanje vrednosti MP pod DV, vendar njegova učinkovitost z oddaljenostjo upada. Če bi zato želeli doseči zmanjšanje MP DV na oddaljenosti več 10 m, bo ta ukrep neučinkovit in je potrebno izbrati drug, temu namenu ustrenejši ukrep. Zato je v nadaljevanju podan pregled ukrepov z oceno njihove učinkovitosti, stroškov ter zahtevnosti izvedbe. Za prikaz učinkovitosti posameznega ukrepa bo uporabljen redukcijski faktor RF, ki podaja razmerje med vrednostjo EP ali MP polja brez ukrepa ter z ukrepom in nam pove, kolikokrat se je vrednost polja zaradi uvedbe posameznega ukrepa zmanjšala:

$$RF = \frac{EP, MPE_{brez\ ukrepa}}{EP, MPE_z\ ukrepom}$$

Sistemi in naprave elektroenergetske infrastrukture so zelo raznolike, saj med te naprave sodijo:

- vse vrste elektrarn: hidro, črpalne, termoe, jedrske, sončne, vetrne...,
- hranilniki električne energije,
- razdelilne transformatorske postaje (v nadaljevanju RTP), razdelilne postaje in transformatorske postaje (v nadaljevanju TP),
- vse vrste električnih vodov: DV različnih napetostnih nivojev, nadzemni vodi in kablovodi.

Z vidika zmanjševanje izpostavljenosti prebivalstva NF EMP so najpomembnejši DV, saj se zaradi velikih dolžin približajo večjemu številu prebivalstva kot ostali viri, ki so omejeni le na eno območje. Vendar električni vodi vstopajo ali izstopajo tudi iz drugih sisteme in naprave elektroenergetske infrastrukture, in v veliko primerov je NF EMP vodov prevladujoče v okolici tovrstnih objektov. Tako na primer v bližini RTP na vrednosti NF EMP v manjšem delu vplivajo same naprave

znotraj RTP in v večji meri VN DV, ki v RTP vstopajo. Ne velja pa to za vse vire, saj so za TP, ki se nahaja v objektu, kablovodi, ki vstopajo v TP, sicer pomembni, vendar na izpostavljenost NF MP neposredno nad TP običajno bistveno bolj vplivajo električne povezave (zbiralke) znotraj TP.

Pregled politik nekaterih evropskih držav o izvajanju ukrepov za zmanjševanje izpostavljenosti prebivalstva NF EMP zaradi elektroenergetskega sistema kaže, da so sicer pristopi podobni, razlike pa so v obsegu sprejetih previdnostnih ukrepov ter na kakšen način so ti opredeljeni v zakonodaji. Manjša odstopanja so tudi pri predpisanih mejnih vrednostih, čeprav večina držav v Evropi sledi smernicam ICNIRP. Kar zadeva omejevanje NF MP, ima belgijska regija Flandrija zakonodajno omejitve v zaprtih prostorih v višini 10 odstotkov referenčnih vrednosti priporočil EU, druge belgijske regije ter Francija, Nemčija in Nizozemska pa uporabljajo referenčne vrednosti iz priporočil EU (100 μT) – bodisi kot zakonsko omejitve za nove vire bodisi kot priporočeno mejno vrednost za vse vire. Velika Britanija uporablja višjo mejno vrednost. Nemčija ima predpisane tudi nekatere splošnejše pravne obveznosti, da je potrebno npr. minimizirati EMP vseh novo grajenih naprav skladno s stanjem tehnike in v okviru sprejemljivih stroškov. Velika Britanija predpisuje le nizkocenovne ukrepe za zmanjševanje obremenitev okolja z NF EMP. Politike omejevanja obremenitev okolja v Flandriji (Belgija), na Nizozemskem in v Veliki Britaniji se nanašajo samo na nove občutljive lokacije (stanovanjska naselja, bolnišnice, vrtci, šole) v bližini VN DV, v Franciji tudi na nove občutljive lokacije v bližini VN DV, kablovodi in TP ter v Bruslju samo na TP (večina elektroenergetskih vodov je zaradi urbaniziranega okolja podzemne izvedbe). V Nemčiji obveznost zmanjševanja NF EMP velja za vse nove električne naprave (DV, kablovod, TP) v bližini občutljivih lokacij.

Za vsak električni vod je mogoče izbrati takšne tehnične ukrepe, ki znatno zmanjšajo vrednosti NF EMP v njihovi okolici. Seveda pa je takšna izvedba pogosto nesmiselna in neupravičena ter zaradi zelo visokih stroškov in drugih slabosti nesprejemljiva. Pri vsakem ukrepu za zmanjšanje izpostavljenosti je namreč pomembno poleg stroškov upoštevati tudi vse druge vidike, ki pa so zelo raznoliki in so lahko tehnični, okoljski ali družbeni. Značilen tak primer je višina vodnikov DV nad tlemi. Višje kot so vodniki nameščeni, manjše so obremenitve okolja pod DV. Vendar so za doseganje višjih vodnikov DV potrebni tudi višji DV stebri, ki so dražji, širši in posledično na tleh zavzemajo večjo površino, zaradi njihove višine ter tudi širine pa imajo bistveno večji vizualni učinek.

Razpoložljive ukrepe lahko razdelimo v nekaj skupin:

- zmanjšanje obremenitve vodov, kar je mogoče doseči z:
 - zmanjšanjem odjema, kar je glede na trende povečevanja rabe električne energije malo verjetno ali pa s
 - preusmeritvijo prenosa električne energije na vzporedne vode. To lahko pomeni gradnjo novega voda, ki bo razbremenil obstoječi vod in s tem se bodo zmanjšale obremenitve okolja na območju prvotnega voda, ali pa prerazporeditev obremenitev med obstoječimi vodi na način, da se zmanjša obremenjenost okolja na ciljnem območju;
- povečanjem odmika med viri in območji, ki so bolj poseljena:
 - umeščanje DV na tisto stran cest, železnic ali druge infrastrukture, ki je manj poseljena, kjer je to zaradi konfiguracije terena mogoče;
 - upoštevati alternativne, manj poseljene trase za izgradnjo DV;
 - dvigniti višino vodnikov;
- konstrukcijski ukrepi v smislu optimizacije vodov:
 - uporaba kompaktnih (kompaktiranih) geometrij razporeditve faznih vodnikov;
 - dvo- ali več-sistemski DV z ustrezno razporeditvijo faznih vodnikov;
 - nove zasnove daljnovodnih stebrov;
- kompenzacijski ukrepi;
- zaslanjanje s prevodnimi materiali.

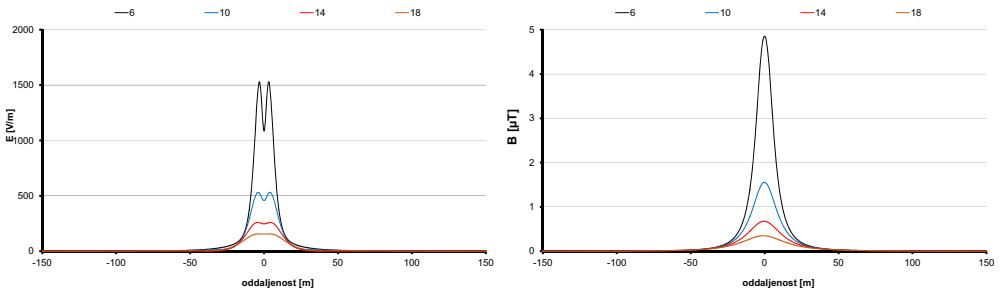
Vsi navedeni ukrepi lahko – odvisno seveda od specifik konkretnega projekta – zmanjšajo izpostavljenost NF EP in/ali NF MP. V nadaljevanju so različni ukrepi predstavljeni tako z vidika učinkovitosti za zmanjšanje obremenjevanja okolja z NF EMP kot s stroškovnega vidika ter njihovega vpliva na nekatere druge pomembne električne in neelektrične parametre, kot je na primer pojav korone in s tem povezan hrup, vidni vpliv in drugo.

11.2 NADZEMNI VISOKONAPETOSTNI DALJNOVODI

11.2.1 Razdalje in višine DV stebrov

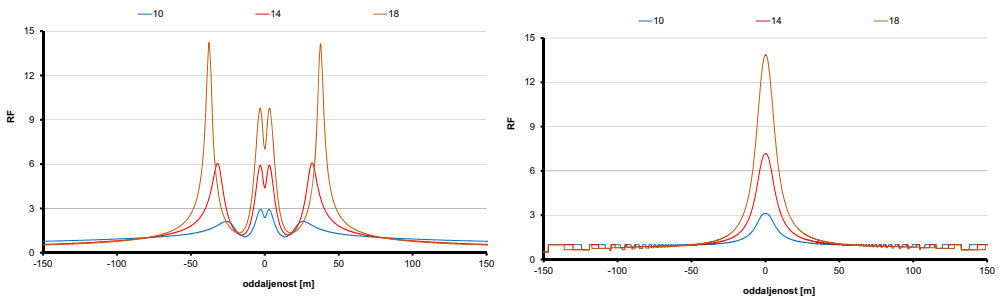
Z oddaljenostjo od DV vrednosti EP in MP močno upadajo, povezava je namreč obratno sorazmerna s kvadratom razdalje. Če jo povečamo za dvakrat, se obremenitve zmanjšajo za štirikrat. Zato je najpreprostejši ukrep za zmanjševanje

izpostavljenosti EP in MP povečanje odmika DV vodnikov od občutljivih območji. Povečanje odmika je mogoče doseči tako s povečanjem višine DV vodnikov kot tudi s horizontalnim odkikom DV od občutljivih območij ali premestitvijo celotne ali dela trase DV. Pri novih DV je pogosta rešitev oddaljevanje od občutljivih poseljenih območij, če ni drugih omejitev v prostoru (Southern California Edison Company, 2004, Department of Energy & Climate Change 2012a, Department of Energy & Climate Change 2012b, Deželak, 2011), prestavljanje obstoječih vodov pa zaradi visokih stroškov ni upravičeno.



Slika 11.1: EP (levo) in MP (desno) 110 kV DV tipa sod na višini 1 m nad tlemi za različne višine najnižjega vodnika nad tlemi (6, 10, 14 in 18 m).

Kot je razvidno iz slike 11.1, višina vodnikov bistveno vpliva na obremenitve okolja pod DV. Že zvišanje vodnikov z najnižje dovoljene višine 6 m na 10 m pomeni več kot polovico manjše vrednosti tako EP kot tudi MP. Iz obeh slik je razviden tudi velik vpliv oddaljenosti na vrednosti, saj z oddaljevanjem od osi DV vrednosti hitro upadajo.



Slika 11.2: Redukcijski faktor RF za EP (levo) in MP (desno) 110 kV DV tipa sod na višini 1 m nad tlemi za različne višine najnižjega vodnika nad tlemi. Kot izhodiščna višina najnižjega vodnika je uporabljena višina 6 m. Oscilacije redukcijskega faktorja RF na oddaljenostih 50 m in več so posledica zaokroževanja rezultata izračuna MP na 3 decimalna mesta.

Slika 11.2 prikazuje potek redukcijskega faktorja (RF) za EP in MP glede na oddaljenost. Razvidno je, da je ukrep povišanja vodnikov najbolj učinkovit pod DV oziroma v njegovi bližini, z oddaljenostjo pa upada in je za NF MP na oddaljenosti približno 50 m že neučinkovit. Ločimo horizontalno odmikanje vodnikov – ta ukrep v bistvu pomeni spremembo umestitve voda v prostor (prestavljanje trase) in pa vertikalno odmikanje vodnikov (pri nadzemnih vodih to pomeni višanje vodnikov na izbrani lokaciji, kar praktično pomeni uporabo višjih DV stebrov). Glavne pomanjkljivosti tega pristopa so povečanje stroškov zaradi višjih stebrov, možnih vplivov na okolje, večjih temeljev, morebitnih neželenih vizualnih učinkov in skromnih zmanjšanj NF EMP izven ozkega koridorja DV (Cestnik et al. 2017).

11.2.2 Geometrija DV stebrov

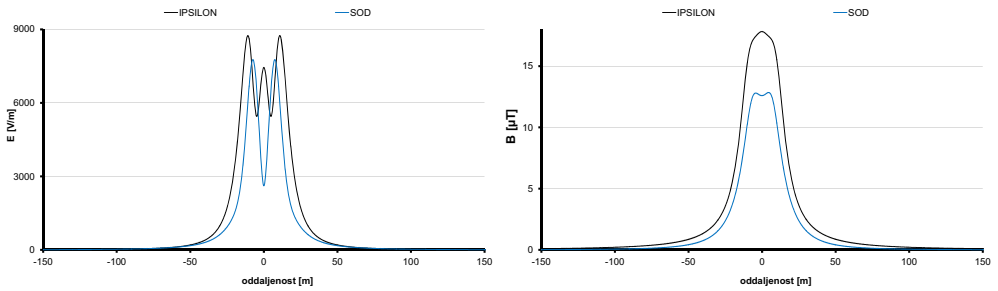
Geometrija DV stebrov oziroma razporeditev vodnikov na DV stebru lahko v veliki meri vpliva na to, kakšne bodo vrednosti NF EMP v okolici DV. Tudi z geometrijo stebrov namreč vplivamo na to, kakšni bodo medsebojni kompenzacijski učinki (CIGRE 2009).

Na primer, vrednosti NF EP v okolici dvosistemskega 400 kV DV tipa sod so bistveno nižje od vrednosti v okolici enosistemskega 400 kV DV tipa ipsilon, in to kljub temu, da dvosistemski DV prenaša dvakrat več električne energije kot enosistemski (Cestnik et al. 2007, Valič et al. 2014).

Območje, do katerega so lahko presežene mejne vrednosti za I. območje varstva pred sevanji, je za različne tipe DV podano v tabeli 11.1. Razvidno je, da so te oddaljenosti za dvosistemske DV manjše kot za enosistemske, poleg tega pa je od obravnavanih tipov DV najbolj ugoden DV tipa sod (Valič et al. 2014).

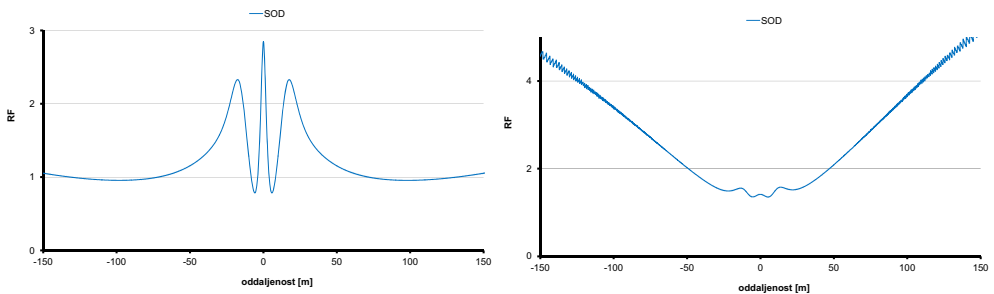
Tabela 11.1: Velikost vplivnega območja za različne tipe DV (Valič et al. 2014).

nazivna napetost [kV]	tip DV	velikost vplivnega območja [m]
400	enosistemski ipsilon	46
400	dvosistemski sod	36
220	enosistemski jelka	24
220	dvosistemski sod	18
110	enosistemski jelka	14
110	dvosistemski donava	14
110	dvosistemski sod	11



Slika 11.3: EP (levo) in MP (desno) različnih 400 kV DV na višini 1 m nad tlemi za višino najnižjega vodnika 8 m nad tlemi.

Na sliki 11.3 je predstavljen potek EP in MP v okolici 400 kV DV tipa sod in ipsilon. Čeprav se na prvi pogled zdi, da razlika med obema geometrijama ni velika, je pri tem potrebno upoštevati, da je DV tipa sod dvosistemski in zato prenaša dvakrat toliko električne energije kot enosistemski DV tipa ipsilon. Poleg tega pa so tudi sicer vrednosti tako EP kot tudi MP v bližini DV tipa sod nižje kot v bližini DV tipa ipsilon, kar je razvidno iz slike 11.4, kjer je predstavljen potek redukcijskega faktorja. Redukcijski faktor je namreč za MP ves čas višji kot 1 in z oddaljenostjo od DV narašča, medtem ko je redukcijski faktor za EP pri večjih oddaljenostih približno 1, v bližini DV pa sicer njegova vrednost niha, a je večinoma večja od 1.



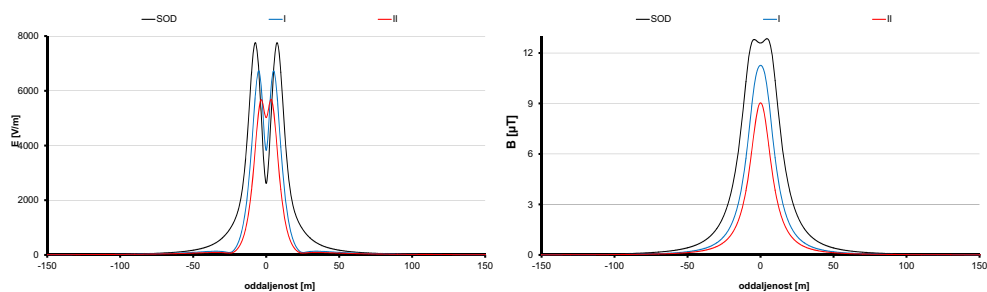
Slika 11.4: Redukcijski faktor RF za EP (levo) in MP (desno) 400 kV DV tipa sod na višini 1 m nad tlemi za višino najnižjega vodnika 8 m nad tlemi. Kot izhodiščni tip DV je uporabljen tip ipsilon. Oscilacije redukcijskega faktorja RF na oddaljenostih 50 m in več so posledica zaokroževanja rezultata izračuna MP na 3 decimalna mesta.

Izbira najustreznejše geometrije DV stebrov kot ukrep za zmanjševanje NF EMP je izvedljiv pri novogradnji DV oz. ob večjih rekonstrukcijah.

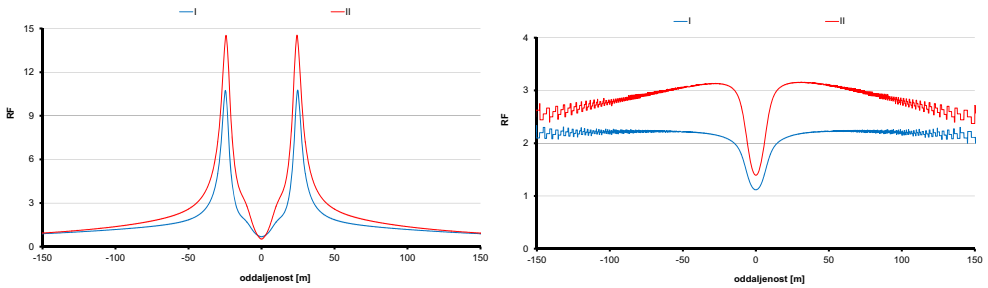
11.2.3 Kompaktirani stebri

Pri kompaktiranem stebru so razdalje med vodniki manjše kot pri klasičnih izvedbah predalčnih stebrov. Predalčna konstrukcija DV stebra je izdelana iz kovinskih profilov, ki so z vijačenjem ali kovičenjem povezani v konstrukcijo stebra. Med profili so »okna«, steber je sicer širši, vendar se v veliki meri vidi skozenj. Kompaktirani stebri so po navadi prav tako kovinski, vendar so v prerezu okrogle ali poligonalne oblike, njihova širina je bistveno manjša kot od predalčnih, vendar se skozenj ne vidi. Pri kompaktiranih stebrih manjše medsebojne oddaljenosti vodnikov izboljšujejo medsebojno delno kompenzacijo polj, zato DV, izvedeni s kompaktiranimi stebri, povzročajo manjše EP in MP kot klasično izvedeni DV (Cestnik et al. 2017, Podkoritnik et al. 2013, 2015).

V praksi seveda obstajajo omejitve glede kompaktiranja, saj je potrebno vedno ohraniti zadostno razdaljo med vodniki, da ne pride do električnega preboja ter da se zagotovi varnost delavcev med vzdrževalnimi deli. Dodatna pomanjkljivost kompaktiranja je potreba po več podpornih konstrukcijah na dolžinsko enoto DV, da se zmanjša vpliv dejavnikov, kot so veter ali povesi na medsebojno oddaljenost vodnikov; stroški pa se s tem seveda povečujejo, prav tako tudi vizualni učinki. Prav tako se za nadzemne vode nad 200 kV s približevanjem faznih vodnikov povečuje NF EP na površini vodnika, kar lahko povzroči tudi povečanje korone in hrupa. V praksi je kompaktiranje zanimivo tudi zaradi nekaterih drugih vidikov, kot je ožja trasa kompaktiranega DV, ki je danes ob vse težavnejšem umeščanju DV v prostor pomemben dejavnik.



Slika 11.5: EP (levo) in MP (desno) 400 kV DV tipa sod, I in II na višini 1 m nad tlemi za višino najnižjega vodnika 8 m nad tlemi.



Slika 11.6: Redukcijski faktor RF za EP (levo) in MP (desno) 400 kV DV tipa I in II na višini 1 m nad tlemi za višino najnižjega vodnika 8 m nad tlemi. Kot izhodiščni tip DV je uporabljen tip sod. Oscilacije redukcijskega faktorja RF na oddaljenostih 50 m in več so posledica zaokroževanja rezultata izračuna MP na 3 decimalna mesta.

Iz slik 11.5 in 11.6 je razvidno, da so kompaktnije izvedbe DV stebrov zelo učinkovit ukrep za zmanjšanje tako EP kot tudi MP, saj zmanjšanje razdalje med vodniki DV zmanjša polje, ki ga DV povzroča. Kompaktiranje je učinkovito na celotnem območju DV, pri 400 kV DV pa je najbolj učinkovito v območju med 15 in 80 metrov od osi DV, torej v območju, ki je z vidika zmanjševanja izpostavljenosti najbolj aktualno.

Za izvedbo kompaktiranih različic DV stebrov se običajno uporabijo poligonalni stebri, ki so že sami po sebi kompaktnjejši od konvencionalnih predalčnih izvedb stebrov. Kljub nekaj izvedenim primerom pa kompaktirani stebri v Sloveniji niso razširjeni, vzroki pa so tudi v pomanjkljivih in dvoumnih zakonskih okvirih s tega področja in v pomanjkanju ustrezne standardizacije pri uporabi konzolnih izolatorjev (Žlajpah 2013). Kljub bistveno hitrejši montaži poligonalnih stebrov na terenu v primerjavi s klasičnimi stebri pa so skupni stroški kompaktiranih različic še vedno višji od stroškov izgradnje DV s klasičnimi stebri. V prihodnosti pa lahko kompaktirani stebri zaradi vse višjih stroškov, povezanih s služnostnimi pravicami, postanejo tudi ekonomsko upravičeni, saj z ožjimi koridorji DV, ki jih omogočajo kompaktirane različice DV, lahko te stroške zmanjšamo (Majkić 2011, Bratić 2013).

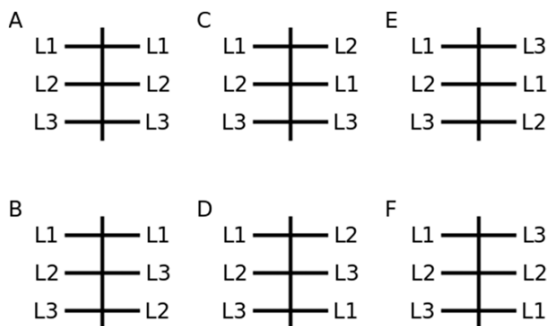
11.2.4 Razporeditev faz

Optimizacija faz je ukrep, kjer se z optimalno razporeditvijo faznih vodnikov dvosistemskih DV doseže največja medsebojna kompenzacija EMP. Z optimiziranjem faz se zmanjšajo vrednosti tako EP kot tudi MP. Pogoji za učinkovito izvedbo ukrepa so naslednji:

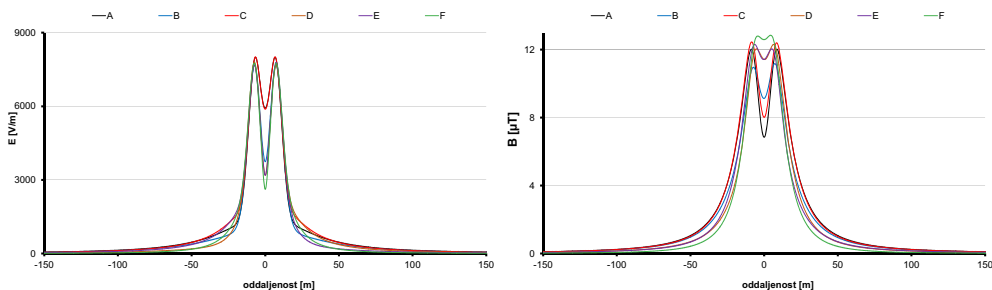
- dvo- ali več-sistemski DV, kjer sta vsaj dva sistema v obratovanju;
- oba sistema morata biti pod napetostjo za zmanjševanje EP;
- določitev optimalnih razporeditev za vsako glavo stebra posebej.

Ker je ta ukrep običajno povezan s sorazmerno majhnimi stroški (predvsem v primerjavi z ostalimi možnimi ukrepi), je izvajanje tega ukrepa med najbolj smiselnimi, tako pri novogradnjah dvosistemskih DV kot tudi pri rekonstrukcijah. Tudi na obstoječih dvosistemskih DV, ki nimajo optimalno razporejenih faz, je optimizacijo faz večinoma mogoče izvesti tudi ob manjših rekonstrukcijah in vzdrževalnih delih (Gajšek 2014). Ta ukrep se v Sloveniji v praksi redno uporablja.

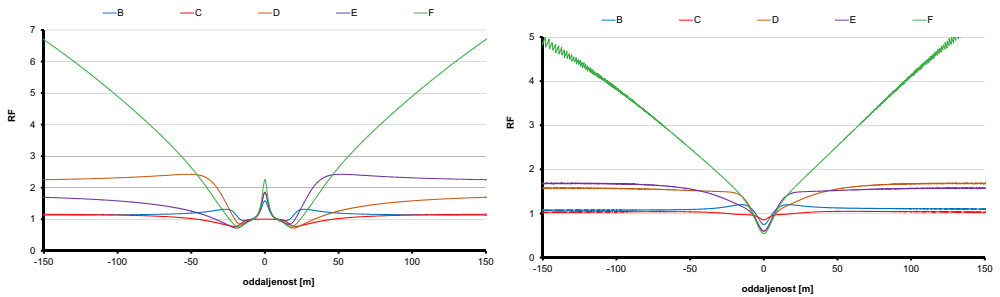
V nekaterih državah so optimizacijo faz lastniki oziroma upravitelji virov sprejeli kot prostovoljen kodeks dobre prakse (Southern California Edison Company 2004, Department of Energy & Climate Change 2012a, Department of Energy & Climate Change 2012b, Deželak 2011, Valič et al. 2014).



Slika 11.7: Analizirane variante razporeditve faz za DV steber tipa sod.



Slika 11.8: EP (levo) in MP (desno) 400 kV DV tipa sod za različne razporeditve faz na višini 1 m nad tlemi za višino najnižjega vodnika 8 m nad tlemi.



Slika 11.9: Redukcijski faktor RF za EP (levo) in MP (desno) 400 kV DV tipa sod za različne razporeditve faz na višini 1 m nad tlemi za višino najnižjega vodnika 8 m nad tlemi. Kot izhodiščna konfiguracija je uporabljena konfiguracija A s simetrično razporeditvijo faz.

Iz slik 11.8 in 11.9 je razvidno, da je tako za EP kot tudi za MP na večjih razdaljah od DV najučinkovitejša razporeditev faz F. Vrednost redukcijskega faktorja je odvisna od oddaljenosti od DV in se z večanjem oddaljenosti viša.

11.2.5 Razdeljena faza

Optimizacije razporeditve faz pri enosistemskem DV ni mogoče izvesti, saj kakršna koli sprememba zaporedja faz vodnikov enega sistema spremeni le smer nastalega polja, ne pa tudi njegove velikosti. Zato se je pri enosistemskih vodih potrebno poslužiti kompleksnejšega ukrepa izvedbe razdeljene faze oziroma cepljenih vodnikov (ang. split phase). Pri tem gre za deljenje faznih vodnikov iz npr. 3 na 6 vodnikov. V praksi to pomeni, da iz enosistemskega voda naredimo dvosistemski vod. Pri tem je ponovno pomembno fazno zaporedje, saj je za maksimalne kompenzacijske učinke (minimalno skupno EMP) potrebno vodnike razporediti v pravem vrstnem redu.

Vodi s cepljenimi vodniki imajo dvojni učinek na zmanjšanje vrednosti MP. Zaradi podvojenih vodnikov se tok v njih prepolovi, to ima za posledico tudi zmanjšanje MP na eno polovico prvotne vrednosti. Drugi učinek je posledica kompenzacije EP in MP med vodniki, podobno kot je to prisotno pri optimalni razporeditvi faz. Zato je za EP učinkovitost izvedbe cepljenih vodnikov primerljiva z učinkovitostjo optimizacije faz, za MP pa ima ukrep cepljenih vodnikov večji učinek kot optimizacija faz.

Ukrep je izvedljiv tudi za dvofazne sisteme, saj je vedno mogoče vode enega sistema razcepiti na pare vodov.

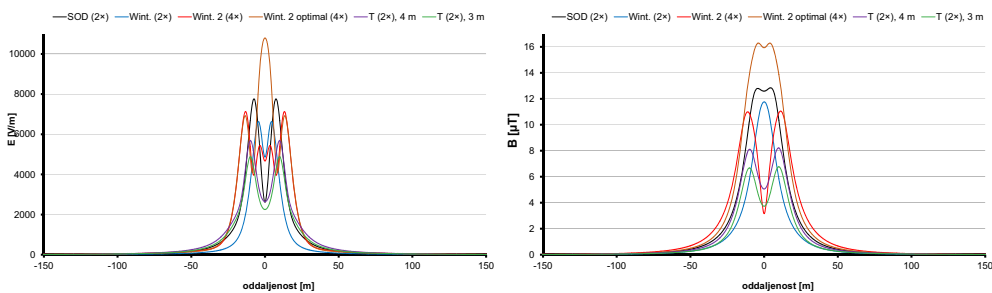
11.2.6 Nove zasnove stebrov

Evropski operaterji prenosnih omrežij v sodelovanju z univerzami in komercialnimi partnerji razvijajo in deloma tudi že uporabljajo inovativne zasnove stebrov. Z novimi rešitvami v obliki novih tipov DV stebrov se iščejo rešitve, da bi bili DV manj moteči:

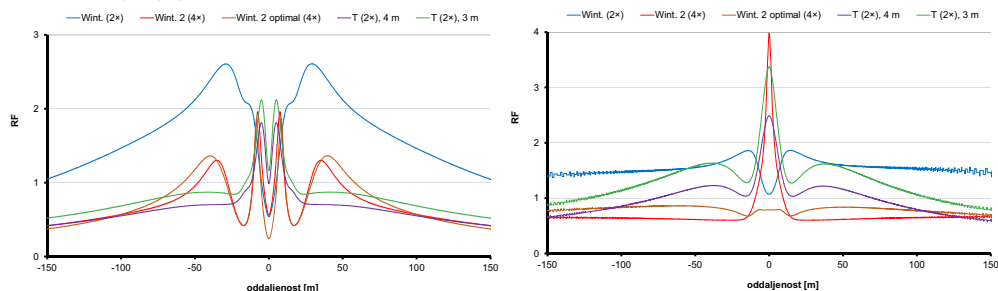
- po izgledu bolj sodobne in s tem bolj sprejemljive za javnost;
- z manjšim vizualnim vplivom;
- ki povzročajo manjše vrednosti NF EMP.

Eden od sodobnih stebrov je tako imenovani Wintrack dizajn (Tennet 2012), ki je več let nastajal na Nizozemskem. Razviti sta bili dvosistemska (Wintrack) in štirisistemska različica (Wintrack 2).

Britanski nacionalni operater National Grid je v sodelovanju s podjetjem Bystrup razvil t.i. T-stebre (ang. *T-pylons*). T-steber je kompaktna konstrukcija s snopi vodnikov, ki so bližje skupaj, kar vpliva tudi na nižje vrednosti EMP. Vodniki so nameščeni v trikotni oz. prizmatični razporeditvi.



Slika 11.10: EP (levo) in MP (desno) 400 kV DV sod, Wintrack, Wintrack 2 in T na višini 1 m nad tlemi za višino najnižjega vodnika 8 m nad tlemi.



Slika 11.11: Redukcijski faktor RF za EP (levo) in MP (desno) 400 kV DV tipa Wintrack, Wintrack 2 in T na višini 1 m nad tlemi za višino najnižjega vodnika 8 m nad tlemi. Kot izhodiščni tip DV je uporabljen tip sod. Oscilacije redukcijskega faktorja RF na oddaljenostih 50 m in več so posledica zaokroževanja rezultata izračuna MP na 3 decimalna mesta.

Iz slik 11.10 in 11.11 je razvidno, da je so DV stebri Wintrack učinkovitejši pri zmanjševanju vrednosti EP in MP kot pa stebri tipa T. Tudi konfiguracija Wintrack 2, kjer DV sestavljajo štiri 400 kV sistemi, je z vidika obremenjevanja okolja smiselna, saj so vrednosti EP in MP le malo višje kot za DV tipa sod ob dvakratni preneseni energiji.

11.2.7 Pasivna in aktivna kompenzacija

Znižanje MP je mogoče doseči z uporabo kompenzacijskih vodnikov, ki potekajo vzporedno s faznimi vodniki (CIGRE 1980, CIGRE 2015, Deželak 2011). Zasediti je mogoče dve varianti kompenzacije (Cestnik et al. 2007, 2017): pasivna in aktivna.

Pri pasivni kompenzaciji se zanko namesti blizu vira MP, ki ga želimo kompenzirati. Zaradi MP, ki ga ustvarja vir, se v zanki inducira tok, ki zopet povzroča MP, ki je po smeri nasprotno prvotnemu MP in ga zato delno kompenzira. Če je potrebna večja kompenzacija, se lahko serijsko vgradi kondenzator, ki poveča inducirani tok in inducirano MP. Ukrep pasivne kompenzacije se v praksi uporablja tam, kjer je potreba po zmanjšanju vrednosti MP omejena na manjše območje – krajše razdalje.

Za fizično pritrditev vodnikov pasivne zanke na steber so potrebni namenski, posebej v ta namen skonstruirani stebri. Pri klasičnih stebrih v predalčni konstrukciji se običajno dodajo posebne konzole, ki nosijo vodnik pasivne zanke, pri novejših izvedbah (npr. Wintrack) pa se pasivna zanka lahko vpne bližje stebru brez konzol. Pasivna kompenzacija je kot ukrep za zmanjševanje MP izvedljiva pri na novih in obstoječih DV ob večjih rekonstrukcijah.

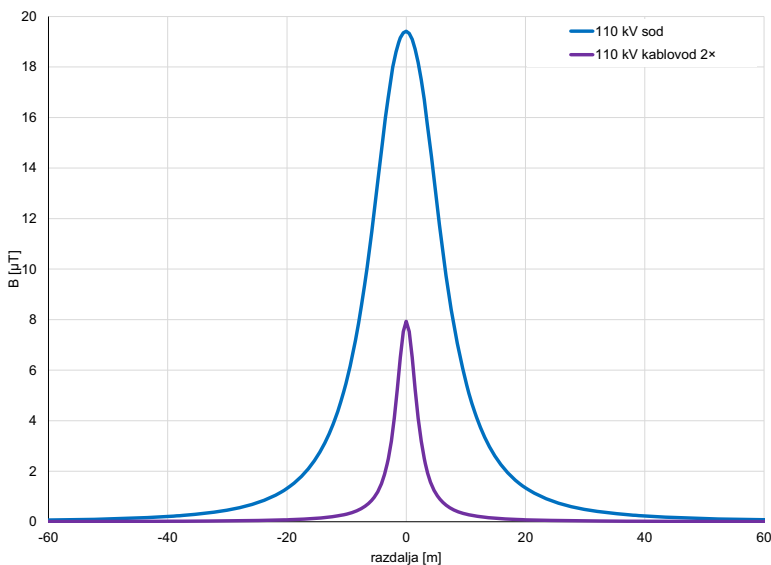
Računski primer uporabe pasivne kompenzacijske zanke kaže, da je pod DV kompenzacija MP sorazmerno majhna, ko pa se pomikamo stran od osi DV, se učinek kompenzacije povečuje (CIGRE 2009). Redukcijski faktor blizu osi DV znaša manj kot 2, medtem ko znaša na večjih oddaljenostih od DV na eni strani DV do 4, na drugi pa več kot 8, kar kaže na to da je z nesimetrično namestitvijo zanke mogoče doseči boljše rezultate kompenzacije na ciljani strani DV.

Pri aktivni kompenzaciji je tako kot pri pasivni blizu vira vgradi zanka, vendar tu tok v zanki generira zunanji vir. Amplituda in faza toka se regulirata tako, da je MP na ciljnem območju najmanjše. Seveda je za izvedbo aktivne kompenzacije potrebna bolj zahtevna oprema, zato je sistem v osnovi dražji in manj zanesljiv od pasivne kompenzacije. Po drugi strani pa je kompenzacija MP boljša, vendar je

tudi v primeru aktivne kompenzacije učinkovitost omejena na manjše območje. Pri namestitvi zanke za aktivno kompenzacijo imamo več svobode z izbiro lokacije, saj je za razliko od pasivne izvedbe lahko nameščena tudi dlje stran od vira.

11.2.8 Pokablitev DV

MP neposredno nad kablovodom je primerljivo in včasih tudi večje kot pri ekvivalentnem DV, vendar se z razdaljo od osi kablovoda bistveno hitreje zmanjšuje (glej sliko 11.12). Kablovod so običajno položeni pod cestami ali pešpotmi, kjer se ljudje zadržujejo krajši čas, zato je izpostavljenost kratkotrajna in prehodna. Zaradi navedenega je tudi kabliranje eden od možnih ukrepov zmanjševanja obremenitev okolja z EMP. Vendar se je potrebno zavedati, da je izvedba voda v obliki kablovoda nekajkrat dražja od izvedbe v obliki DV, še posebej stroški narastejo pri napetostih 220 kV in več, poleg visokih stroškov pa so povezani tudi s tehnološkimi, obratovalnimi in vzdrževalnimi omejitvami. V več državah tako velja stališče (priporočilo), da samo za namen zmanjševanja obremenitev okolja z EMP kabliranje ni upravičeno (BESTGRID 2015a, RIVM 2017b, Ruiz et al. 2012, Southern California Edison Company 2004).



Slika 11.12: MP 110 kV DV tipa sod in dvojnega 110 kV kablovoda.

11.3 PODZEMNI KABLOVODI

Možnosti pri zaslanjanju oz. kompenzaciji EMP kablovodov so v osnovi naslednje:

- načrtovanje geometrije in globine polaganja kablovoda;
- dodajanje pasivnih zank (kompenzacije);
- načrtovanje kablovoda s tokom v kovinskem plašču;
- zaslanjanje s prevodnimi kovinskimi materiali;
- zaslanjanje s feromagnetnimi kovinskimi materiali.

Neodvisno od učinkovitosti zmanjševanja MP pri vsaki od zgoraj navedenih rešitev je najoptimalnejša rešitev močno odvisna od tega, ali je treba ukrep izvesti na že obstoječem kablu ali na novem kablu.

11.3.1 Razdalja in globina vkopa

Podobno kot pri daljnovodih velja tudi pri kablovodih povečanje odmika za enega od preprostejših in ekonomsko ugodnejših ukrepov za zmanjševanje NF MP v okolici kablovoda. Odmik je mogoče povečati tako, da se pri izbiri trase kablovoda izbere takšna rešitev, ki se odmakne od območij, kjer se zadržujejo ljudje. Prav tako pa je zmanjšanje vrednosti NF MP mogoče doseči tudi s povečanjem globine vkopa, kar pa je povezano z znatnimi stroški in se zato uporablja redko.

Pri kablovodu je vpliv povečanja odmikov zelo učinkovit ukrep, saj vrednosti NF MP z oddaljenostjo hitro upadajo. Ker smo tik nad kablovodom od njega oddaljeni samo meter ali dva, se z odmikom nekaj metrov vrednosti bistveno zmanjšajo, veliko bolj, kot bi se vrednosti zmanjšale pri enakem odmiku od daljnovoda, saj smo tudi v najneugodnejšem primeru od vodnikov daljnovoda oddaljeni vsaj 5 m.

Zaradi tega je pri umeščanju novih kablovodov v prostor smiselno optimalno načrtovati traso kablovoda in se tam, kjer je to enostavno in z minimalnimi stroški mogoče, izogniti poseljenim območjem. Pomembna je tudi mikrolokacija umestitve kablovoda, saj lahko sprememba poteka kablovoda za nekaj metrov (umestitev na eno stran ceste namesto na drugo) pomeni bistveno zmanjšanje izpostavljenosti.

11.3.2 Geometrija razporeditve vodnikov

Tudi pri kablovodih velja, da se magnetno polje vodnikov enega sistema med seboj delno kompenzira. Bolj ugodno geometrijo razporeditve vodnikov kot izberemo, manjše so vrednosti NF MP. Analize kažejo, da trikotna razporeditev faznih vodnikov pomeni nižje sevalne obremenitve kot horizontalna razporeditev z enakimi razmiki med vodniki, kar velja tako za polaganje KBV kot za obliko DV stebra (Valič et al. 2014, Cestnik et al. 2017). Ker ukrep v veliki večini primerov pri novogradnji ni povezan z nobenimi dodatnimi stroški, ga je smiselno striktno uvesti v prakso načrtovanja kablovodov. Kljub temu, da so rezultati tovrstnih študij znani že dolgo, se tovrstna praksa pri načrtovanju novih kablovodov v praksi velikokrat spregleda. Izvajanje ukrepa za obstoječe kablovode ni smiselno, saj bi v praksi pomenilo izgradnjo novega kablovoda, razen če je kablovod speljan po podzemnem hodniku, kjer lahko preprosto prerazporedimo potek vodnikov iz običajno vzporedno nameščenih vodnikov v trikotno namestitev.

11.3.3 Razmik med vodniki

Še bolj kot pri daljnovodih je vpliv razdalje med vodniki pomemben pri kablovodih, saj so pri kablovodih vodniki lahko položeni zelo blizu skupaj, s čemer dosežemo veliko medsebojno kompenzacijo magnetnega polja. Za optimalno nameščene vodnike v obliki trikot se pri zmanjšanju medsebojne oddaljenosti vodnikov iz 20 cm na 10 cm MP zmanjša za dvakrat.

Ob novogradnjah je strošek tega, da se kablovod izvede s kar najmanjšimi medsebojnimi oddaljenostmi vodnikov, zanemarljiv. Zato je ukrep zmanjšanja oddaljenosti vodnikov kablovoda smiselno izvajati vedno. Ne glede na to, kjer kablovod poteka, če ni nekih drugih posebnih omejitev, naj se ga izvede tako, da so vodniki kablovoda položeni tesno skupaj. To je smiselno upoštevati tudi znotraj transformatorskih postaj, kjer so različne povezave izvedene s kablji.

11.3.4 Razporeditev faz

Podobno kot pri DV se tudi pri dvo- ali več- sistemskih kablovodih lahko optimizira razporeditev vodnikov na način, da je medsebojna kompenzacija vodnikov

največja in posledično skupno MP najmanjše. Pri novo grajenih prenosnih vodih je optimizacija faznega zaporedja lahko nizkocenovni ukrep, če ga primerjamo s klasično primerljivo izvedbo.

11.3.5. Razdeljena faza

so kablovodi izvedeni z razdeljenimi fazami, ko se za eno fazo uporabi več vzporedno vezanih kablov. V tem primeru je pri kablovodih z optimizacijo razporeditve posameznih kablov mogoče doseči veliko zmanjšanje MP, tudi za faktor 10 ali več. Praksa kaže, da se to običajno ne izvaja in se vsi kabli ene faze položijo skupaj, kar je najneugodnejša mogoča razporeditev kablov. Optimalno razporejanje kablov v primerih, kjer se za eno fazo uporablja več kablov bi moralo postati stalna praksa, saj je povezano z zanemarljivimi stroški. Smiselnost uporabe razdeljene faze kot samostojnega ukrepa zgolj za zmanjšanje MP je vprašljiva, saj je zaradi podvojenega števila kablov (ki pa so lahko ustrezno manjšega preseka) povezana z znatnimi dodatnimi sredstvi.

11.3.6 Pasivna in aktivna kompenzacija

Tako kot pri DV se tudi pri kablovodih za zmanjšanje obremenitev okolja z MP lahko uporabi pasivna ali aktivna kompenzacija (glej poglavje 11.2.7 Pasivna in aktivna kompenzacija). Z izračuni je bilo ugotovljeno, da se z uporabo pasivne zanke nameščene v neposredni bližini zunanjega ovoja dvosistemskih kablov vrednosti MP pri določenih oddaljenostih zmanjšajo do 6-krat. Podatki o učinkovitosti aktivne kompenzacije kablovodov niso na voljo.

11.3.7 Zaslanjanje

Pri zaslanjanju se nad ter tudi ob ali celo pod kablovodom namestijo zaščitni zasloni. Obstajata dve vrsti zaslanjanja virov EMP. Feromagnetni zaslon, ki se imenuje tako zato, ker temelji na uporabi materialov z visoko relativno permeabilnostjo in se uporablja tako za zaslanjanje statičnega in tudi NF MP. Bolj kot ima material visoko relativno permeabilnost, bolj je učinkovit za zaslanjanje NF MP. Drugi način zaslanjanja temelji na vrtničnih tokovih oz. na induciranih tokovih

znotraj materiala, ki jih povzroči izmenično NF MP, ki gre "skozi" material. Ta drugi mehanizem je torej uporaben za izmenična NF MP in je bolj učinkovit, če je prevodnost materiala višja. Zaslanjanje je tako za novogradnje kot tudi za rekonstrukcije zahtevnejša in dražja rešitev kot kompenzacija z zankami.

Feromagnetni zaslони se obnašajo kot »dobri prevodniki« magnetnega polja, zato spremenijo razporeditev magnetnega polja v svoji bližini tako, da se manj razširja v ciljno območje. Zaslони so lahko odprti (zaščitni zaslon v obliki plošč nameščen nad kablovodom) ali zaprti (zaščitne plošče položene okrog kablovoda z vseh strani). Pri uporabi zaprtega tipa zaslonov so ti lahko zelo učinkoviti pri zaslanjanju NF MP, saj lahko dosežemo redukcijski faktor 1000 in več (CIGRE 2009).

Pri zaslanjanju na principu vrtinčnih tokov je redukcijski faktor proporcionalen debelini zaslona. Uporabljajo se materiali z visoko prevodnostjo, kot sta npr. baker ali aluminij. Za razliko od feromagnetnih zaslonov, kjer je učinkovitost na razdaljah, širših od zaslona, zanemarljiva, pa je pri zaslanjanju s prevodnimi materiali učinkovitost tudi pri razdaljah, večjih od širine zaslona, pomembna.

Z uporabo bakrenih zaslonov, nameščenih nad kablom, je mogoče doseči zmanjšanje NF MP za 7-krat (CIGRE 2009). Plošče (zaslони) so lahko nameščeni tudi pod kabli, samostojno ali skupaj s ploščami nad kabli, kar še poveča učinkovitost. Z odmikanjem zaslona od kabla učinkovitost zaslanjanja pada, padajo pa tudi izgube zaradi zaslanjanja. Aluminijasti zaslони so zaradi slabše prevodnosti manj učinkoviti, a cenejši.

11.4 TRANSFORMATORSKE POSTAJE

TP, ki so nameščene v neposredni bližini bivalnih območij, so lahko pomemben vir obremenitev prebivalstva z NF MP. To velja zlasti za TP, ki so umeščene v bivalne objekte. V stanovanjih, ki se nahajajo tik ob ali nad TP, so lahko vrednosti NF MP visoke in presežejo mejne vrednosti za I. območje varstva pred sevanji glede na uredbo o elektromagnetnem sevanji (Ul RS 70/96).

11.4.1 Razdalja

Podobno kot pri drugih virih EMP tudi pri TP velja, da se vrednosti polj z oddaljenostjo hitro zmanjšujejo. V raziskavi na Finskem (Ilonen et al. 2008) so ugotovili,

da v kar 70 odstotkih stanovanj nad TP dnevna povprečna vrednost NF MP presega vrednost $0,4 \mu\text{T}$, medtem ko je takšnih stanovanj v višjih nadstropjih le 6,7 %.

11.4.2 Razmik med vodniki in razporeditev zbiralk

TP sestavlja več različnih sklopov in naprav: transformator, SN in NN stikalne omare, kabli oziroma zbiralke, ki povezujejo prej omenjene naprave ter razne druge pomožne naprave. Zaradi velikih tokov, ki tečejo po NN zbiralkah, so te običajno največji vir NF MP (Valič et al. 2009). Zato je izjemno pomembna izvedba NN zbiralk. Najneugodnejša varianta izvedbe zbiralk je z neizoliranimi bakrenimi ploščatimi vodniki, nameščenimi na stropu TP. Posamezni vodniki tovrstnih zbiralk so lahko med seboj oddaljeni tudi več 10 cm, zato se NF MP vodnikov med seboj slabo kompenzira. Rezultati numerične analize kažejo, da je mogoče vrednosti MP v stanovanju nad TP zmanjšati za 10-krat, če se obstoječe NN zbiralke nadomesti s kabelsko izvedbo zbiralk v tleh TP, kable NN zbiralk razporedi optimalno v trikotnik ter zamenja obstoječe NN stikalne omare s takimi, ki so nižje izvedbe.

Ob načrtovanju novih TP predstavljajo ukrepi optimizacije izvedbe NN zbiralk minimalne dodatne stroške, zato je izvedba tovrstnih ukrepov smiselna še zlasti za vse TP, ki se nahajajo v bližini objektov ali območij, kjer se ljudje zadržujejo dlje časa. Prav tako tovrstni ukrepi predstavljajo minimalne stroške tudi ob večjih rekonstrukcijah TP, kot je npr. menjava NN stikalnih omar ali menjava transformatorja, zato je izvedba teh ukrepov smiselna tudi pri vseh večjih rekonstrukcijah TP. Pri tem je potrebno posvetiti pozornost naslednjih podrobnostim:

- vse električne povezave, po katerih tečejo veliki tokovi (zlasti NN zbiralke) se v TP namesti stran od območij, kjer se dlje časa zadržujejo ljudje;
- NN zbiralke se izvede optimalno torej s kabli, ki se jih razmesti optimalno (kot to velja za kablovode). Ker se velikokrat za NN zbiralke uporablja več kablov za posamezno fazo, se uporabi tudi optimizacijo razdeljenih faz (kot za kablovode);
- če se nad TP nahaja stanovanje, se izbere stikalne omare, v katerih zbiralke potekajo nizko nad tlemi;
- suhi transformatorji povzročajo znatno večje vrednosti NF MP kot oljni;
- priključki NN zbiralk na transformator se izvedejo tako, da so čim nižji. Točna izvedba je odvisna od tipa priključkov na transformator, izberejo naj se taki priključki, kjer priključni kabli ne pridejo na transformator navpično

- navzdol, ampak vodoravno s strani;
- nikoli se NN zbiralk in drugih naprav v TP, po katerih tečejo veliki tokovi, ne namešča na ali v bližino zunanjih sten. Takšne naprave se umesti čimbolj v sredino TP;
- za nadaljnje znižanje vrednosti NF MP bi bilo potrebno izbrati takšne transformatorje, ki povzročajo manjše vrednosti NF MP.

11.4.3 Zaslanjanje

Za zaslanjanje MP TP se lahko uporabljajo enake metode kot za kablovode, in sicer feromagnetni zaslони in prevodni zaslони. Izvedba zaslanjanja je pri TP bistveno bolj zahtevana kot pri kablovodih, saj je potrebno zaščititi večje površine (najmanj eno stranico TP), zato se zaslanjanje kot ukrep za zmanjševanje vrednosti NF MP uporablja le izjemoma.

11.5 ZAKLJUČEK

Analiza ukrepov za zmanjševanje vrednosti NF EMP kaže, da obstaja vrsta različnih ukrepov, ki so na voljo tako za DV kot tudi kablovode in TP. Ukrepi za zmanjševanje obremenitev okolja z NF EMP so upravičeni, če so povezani z minimalnimi stroški. Bistveno povečanje stroškov z namenom zmanjševanja NF EMP pod zakonsko določenimi vrednostmi oz. pod vrednosti mednarodnih smernic (ICNIRP 2010) ni smiselno in upravičeno.

V tabelah 11.2 in 11.3 je podan pregled ukrepov za DV in kablovode skupaj z njihovim morebitnim vplivom na druge dejavnike. Tabeli predstavljata primerjavo posameznih parametrov v relativnem smislu po ukrepih.

Pri oceni stroškov so bili upoštevani tudi številni primeri in analize iz tujine (Ahmed et al., 2018, Ismail 2008, Kalhor 2007, Carlos 2014, Jimenez et al. 2018, Alexandru 2017, Ayman 2014, Pino Lopez 2014, Bignucolo 2018, Cruz 2003, Romero 2007). Pri oceni stroškov velja opozorilo, da je za vsak ukrep posebej težko točno opredeliti stroške, saj so le ti odvisni od številnih dejavnikov, kot je dolžina voda, drugi pogoji okolja, način izvedbe ukrepa itd.

Tabela 11.2: Učinkovitost, vpliv na druge pomembne veličine in primerjava stroškov posameznih ukrepov, ki so primernejši za DV. Znak '+' pomeni pozitiven vpliv, '-' negativen vpliv, '=' ni vpliva; znak ↑ nakazuje velikost stroška - ↑ majhno povečanje, ↑↑↑↑ veliko povečanje. Za lažjo preglednost so najprimernejši ukrepi označeni z zeleno, primerni ukrepi s svetlo zeleno, delno primerni z belo, neprimerni pa z rdečo barvo.

ukrep	MP	EP	zmanjšanje hrupa	vpliv na radio-interference	vpliv na fazno nesimetrijo	stroški vzdrževanja	stroški izgradnje
zvišanje višine vodnikov	+	+	+	+	=	↑	↑↑
razporeditev vodnikov	+	+	=	↑	+	↑	↑↑↑
kompaktiranje	++	++	↑↑	↑	+	↑↑	↑↑↑↑
razcepitev vodnikov	+++	++	↑	↑	+	↑↑↑	↑↑↑↑
pasivna kompenzacija	+++	+	=	=	=	↑	↑
aktivna kompenzacija	+++	+	=	=	=	↑↑↑↑	↑↑↑

Tabela 11.3: Učinkovitost, vpliv na druge pomembne veličine in primerjava stroškov posameznih ukrepov, ki so primernejši za kablovode. Znak '+' pomeni pozitiven vpliv, '-' negativen vpliv, '=' ni vpliva; znak ↑ nakazuje velikost stroška - ↑ majhno povečanje, ↑↑↑ veliko povečanje. Za lažjo preglednost so najprimernejši ukrepi označeni z zeleno, primerni ukrepi s svetlo zeleno, delno primerni z belo, neprimer- ni pa z rdečo barvo.

Ukrep	Višina faktorja zaslanjanja	Vpliv na izgube	Vpliv na korono**	Stroški vzdrževanja	Stroški izgradnje	
Pasivna kompenzacija	+	+++	=	↑	↑	
Odrpno feromagnetno zaslanjanje	+ do +++	+++	↑	↑↑↑	↑↑↑	
Zaprto feromagnetno zaslanjanje	+++	++	↑	Odvisno od izvedbe	↑↑↑↑	
Prevodno zaslanjanje	++	+	Cu: ni Al: odvisno od okolice	↑↑↑	Cu -	Al +

** pri izvedbi z DV

Pod pogojem, da socialne in ekonomske koristi preskrbe z električno energijo niso ogrožene, je izvajanje ukrepov zmanjševanja izpostavljenosti NF EMP z zelo nizkimi stroški razumno in upravičeno. To bi moralo postati tudi del inženirske prakse, kjer bi se pri načrtovanju novih vodov oziroma rekonstrukciji poiskalo tiste tehnične rešitve, ki ob minimalnih dodatnih stroških zagotavljajo zmanjšanje vrednosti NF EMP. Pri izbiri ukrepov je potrebno upoštevati, da noben ukrep zmanjševanja NF EMP ni univerzalen, torej primeren za vsako okoliščino, saj je vedno potrebno pretehtati vse okoliščine in se temu primerno odločiti o izvajanju ukrepov.

Stroški normirani na dolžinsko enoto (kilometer), za vse predstavljene ukrepe, padajo z naraščajočo dolžino prenosnega voda in se povečujejo s prenosno zmogljivostjo (nazivno močjo) voda.

Nadzemni DV v klasični predalčni konstrukciji je najcenejša tehnologija prenosa električne energije za katero koli dolžino prenosne poti ali zmogljivost.

11.6 LITERATURA

- Ahmed R et al, Technical and Economic Feasibility of Passive Shielding Used to Mitigate Power Lines' Magnetic Fields, Electrical Power and Machine Department, 2018, Egipt
- Alexandru M, Fartinescu CG, Popescu CL, Popescu MO., Shielding of magnetic field produced by energized cables. In *Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2017 10th International Symposium, IEEE, pp. 378-381.
- Ayman Aboud, Hussein Anis , Mitigation of Power Lines-Produced Magnetic Fields by Optimized Active Shielding«, *Environmental Science and Technology*, American Science Press, Houston, Texas, USA, Jun. 2012, vol. 2, pp. 178-184., S. Barsali, R. Giglioli, D. Poli, Active shielding of overhead line magnetic field: Design and applications”, *Electric Power Systems Research*, 2014, vol. 110, pp 55-63.
- BESTGRID Project, 2015a, Testing Better Practices, Final Report
- Bignucolo, F.; Coppo, M.; Savio, A.; Turri, R. Use of Rod Compactors for High Voltage Overhead Power Lines Magnetic Field Mitigation, *Energies* 2017, Vol 10, No 9, 1381.
- Bratič L., Uporaba poligonalnih stebrov za VN daljnovode, 11. Konferenca slovenskih elektroenergetikov, CIGRE ŠK B2-08, 2013
- Byeong-Yoon Lee et al., Assessment of Magnetic Field Mitigation and Electrical Environmental Effects for Commercially Operating 154kV Transmission Lines with Passive Loop, *J Electr Eng Technol* Vol. 9, No. 3: 991-996, 2014
- Cestnik B, Grabner K, Kregar A, Mandelj M, Blažič K 2017, Možnosti za zmanjšanje izpostavljenosti EMS v okolici VN nadzemnih vodov, 13. Konferenca slovenskih elektroenergetikov, Maribor
- Cestnik B, Vončina R, 2007, Analiza elektromagnetnega sevanja DV 2 x 400 kV Okroglo – italijanska meja, 8. Konferenca slovenskih elektroenergetikov, Čatež
- CIGRE WG 01 SC 36, 1980, Electric and Magnetic Fields Produced by Transmission Systems, Practical Guide
- CIGRE Working Group B2, 2015, Overhead lines, Annual Report
- CIGRE Working Group C4.204, 2009. Mitigation Techniques Of Power-Frequency Magnetic Fields Originated From Electric Power Systems
- Del Pino Lopez, Juan Carlos, Luca Giaccone, Aldo Canova, and Pedro Cruz Romero., Ga-based active loop optimization for magnetic field mitigation of MV/LV substations, *IEEE Latin America Transactions*, 2014, Vol 12, no. 6, pp. 1055-1061.
- Department of Energy & Climate Change, 2012a, Optimum phasing of high voltage double-circuit power lines. A voluntary code of practice, London.
- Department of Energy & Climate Change, 2012b, Power Lines: Demonstrating compliance with EMF public exposure guidelines. A voluntary Code of Practice, London.
- Deželak K, 2011, Optimalna razporeditev vodnikov daljnovoda glede na emisije elektromagnetnih polj in hrupa, doktorska disertacija, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor
- Gajšek P, Valič B. 2014. Električna in magnetna polja - naprave za distribucijo električne energije. Projekt Forum EMS, Ljubljana.
- ICNIRP, 2006, Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 Ghz), Health Physics
- Ilonen K., Markkanen A., Mezei G., Juutilainen J., “Indoor Transformer Stations as Predictors of Residential ELF Magnetic Field Exposure“, *Bioelectromagnetics*: 29: 213-218, 2008.
- Ismail H. M., Effect of Tower Displacement of Parallel Transmission Lines on the Magnetic Field Distribution, in *IEEE Transactions on Power Delivery*, Oct. 2008, vol. 23, no. 4, pp. 1705-1712.
- Víctor J. Hernández Jiménez, Edgardo D. Castronuovo, Ismael Sánchez Rodríguez-Morcillo. Optimal statistical calculation of underground cable bundles positions for time-varying currents. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol 95, pp 26-35, 2018,
- Juan Carlos, P. Cruz-Romero, L. S. Iribarnegaray, and J. M. Román, Magnetic field shielding optimization in underground power cable duct banks, *Electric Power Systems Research*, 2014, vol. 114, pp. 21-27
- Kalhor H. A. and Zanoobi M. R., Mitigation of Power Frequency Fields by Proper Choice of Line Configuration and Shielding, *Electromagnetics*, Feb. 2007, vol. 25, no. 3, pp. 231-243.
- Maša Majkić, Umeščanje daljnovodov v prostor, magistrska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2011
- Podkoritnik S, Barl B, 2013, Kompaktiranje dvosistemskega 110 kV daljnovoda in možnosti kompaktiranja 400 kV daljnovodov v slovenskem EES, 11. Konferenca slovenskih elektroenergetikov, Laško
- Podkoritnik S, Kompaktiranje 400 kV daljnovoda z vidika kooordinacije izolacije in vpliva na okolje, CIGRE/CIRED, 2015
- RIVM 2017a, Comparison of international policies on electromagnetic fields (power frequency and radiofrequency

- fields), https://www.rivm.nl/dsresource?_sp=6dc64df9-d190-4bbe-9400-87a187bea65e.1522165463502&objectid=c4308d43-be24-4ab7-a144-67131d335b8d&type=pdf&disposition=inline, 5.10.2018
- RIVM 2017b, National precautionary policies on magnetic fields from power lines in Belgium, France, Germany, the Netherlands and the United Kingdom, Report 0118
- Romero P. C., Santos J. R., del Pino Lopez J. C., A comparative analysis of passive loop-based magnetic field mitigation of overhead lines, IEEE Transactions on Power Delivery, Jul. 2007, vol. 22, no. 3, pp. 1773- 1781.
- Ruiz I, Pallero N, Villafañe A, Medaglia A, 2012, Reduction of Magnetic Field Levels on Joint Bays, CIGRE B1-102, Paris
- Southern California Edison Company – EMF Research & Education, 2004, EMF Design Guidelines For Electrical Facilities, Irwindale, California
- Tennet, The Wintrack pylon, 2012. dostopno na: https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/Publications/Corporate_Brochures/The_Wintrack_pylon_2012.pdf
- Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (Ur. L. RS 70/96)
- Valič B, Gajšek P. 2009. Analiza variant sanacije transformatorske postaje, nameščene v stanovanjskem objektu. Prispevek na CIGRÉ, 9. Konferenca slovenskih elektroenergetikov. Kranjska Gora, 2009.
- Valič B, Trček T, Gajšek P. 2014. Izpostavljenost prebivalstva električnim in magnetnim poljem po rekonstrukciji 220 in 400 kV daljnovodov. Inštitut za neionizirna sevanja, Ljubljana.
- WHO, 2007, Environmental Health Criteria 238. Extremely low frequency fields, Geneva.
- Žlajpah, S, Elektroservisi d.d., Uporaba poligonalnih stebrov za VN daljnovode. Prispevek na CIGRÉ, 11. Konferenca slovenskih elektroenergetikov. Laško, 2013.

12

Stališča ključnih mednarodnih organizacij glede EMP in zdravstvenih tveganj

12.1 SVETOVNA ZDRAVSTVENA ORGANIZACIJA (SZO)

»Pregled znanstvene literature o morebitnih škodljivih vplivih na zdravje zaradi izpostavljenosti nizkofrekvenčnim električnim in magnetnim poljem (0 do 300 Hz) je pokazal, da izpostavljenost jakostim, ki so nižje od smer-nic Mednarodne komisije za varstvo pred neionizirnimi sevanji (ICNIRP, 2010), nima ugotovljenih škodljivih posledic za zdravje. Nekatere raziskave pa kažejo na statistično povezavo med magnetnimi polji in otroško levkemijo, medtem ko omenjene povezave ni mogoče potrditi pri odraslih ali z laboratorijskimi raziskavami. Potrebne so dodatne raziskave.«

www.who.int



12.2 ZNANSTVENI ODBOR ZA NOVO UGOTOVLJENA ZDRAVSTVENA TVEGANJA (SCENIHR), EVROPSKA KOMISIJA

»Nove epidemiološke študije se ujemajo s starejšimi spoznanji, ki so pokazala na povečano tveganje za nastanek otroške levkemije, ko je dnevna izpostavljenost znašala od 0,3 do 0,4 μ T. Že v prejšnjih mnenjih je bilo navedeno, da ni na voljo nobenih podatkov o mehanizmih ter podpornih podatkov eksperimentalnih študij, ki bi lahko potrdili podane ugotovitve. Zaradi navedenega ter tudi zaradi pomanj-



kljivosti epidemioloških študij povezave ne moremo interpretirati kot vzročne.«

https://ec.europa.eu/health/sites/default/files/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf

12.3 MEDNARODNA KOMISIJA ZA VARSTVO PRED NEIONI-ZIRNIMI SEVANJI (ICNIRP)

»Trenutno obstoječi dokazi o vzročni povezavi med nizkofrekvenčnimi magnetnimi polji in povečanim tveganjem za pojavnost otroške levkemije so preveč šibki, da bi lahko na njihovi podlagi pripravili osnovna priporočila za primer izpostavljenosti. Če razmerje ni vzročno, zmanjšanje izpostavljenosti ne pomeni nobenih koristi za zdravje.«

www.icnirp.int



12.4 MEDNARODNA AGENCIJA ZA RAZISKOVANJE RAKA (IARC)

»Raziskave so pokazale, da lahko EMP električnih naprav in daljnovodov povzročijo šibke električne tokove, ki stečejo skozi človekovo telo. Ti tokovi so precej šibkejši od naravnih tokov, ki nastajajo v možganih, živcih in srcu in ne predstavljajo tveganja za zdravje. Opravljenih je bilo precej raziskav o vplivih EMP na zdravje ljudi. Nekatere študije so nakazale možnost povezave med izpostavljenostjo magnetnim poljem in otroško levkemijo. Vendar pa se je po natančnejšem vrednotenju raziskav izkazalo, da so rezultati neprepičljivi in povezave zelo šibke.«

<https://www.iarc.who.int/>



12.5 AGENCIJA ZA JAVNO ZDRAVJE (PHE), ANGLIJA

»Obstajajo epidemiološke študije, ki kažejo, da je dolgotrajna izpostavljenost magnetnim poljem nad 0,4 μ T povezana z manjšim povečanjem nevarnosti levkemije pri otrocih, za kar pa ni ustreznih znanstvenih podlag. Na voljo ni podatkov o kancerogenem vplivu nizkofrekvenčnih magnetnih polj na odrasle. Poleg tega so v praksi takšne ravni izpostavljenosti otrok zelo redke - pod 1% v državah EU.«

www.gov.uk



Public Health
England

12.6 EVROPSKA MREŽA ZA SPREMLJANJE OCEN TVEGANJA (EFHRAN)

Dokazi za otroško levkemijo so omejeni. Dokazi za vse ostale rake pri odraslih in otrocih so nezadostni. Od tega odstopa le rak dojke, za katerega dokazi kažejo na pomanjkanje vpliva. Tudi dokazi za nevrodegenerativne bolezni, reproduktivne učinke in simptome so nezadostni, medtem ko dokazi za kardiovaskularne bolezni in električno hipersenzitivnost kažejo na pomanjkanje vpliva.

https://webgate.ec.europa.eu/chafea_pdb/assets/files/pdb/20081106/20081106_d1-d9_en_ps.pdf



European Health Risk Assessment Network on
Electromagnetic Fields Exposure

12.7 ŠVEDSKA UPRAVA ZA VARSTVO PRED SEVANJI (SSI/SSM)

Predlagane so nadaljnje raziskave Alzheimerjeve bolezni in amiotrofične lateralne skleroze (ALS), saj bi lahko med omenjenima boleznima in nizkofrekvenčnim magnetnim poljem obstajala povezava, ki pa za zdaj ostaja nejasna. V zvezi z rakom pri odraslih uprava navaja, da »nove študije ne spreminjajo stališč«, ker dokazi ostajajo nezadostni, da bi potrdili vzročno povezavo med nizkofrekvenčnimi magnetnimi polji in rakom.

stralsakerhetsmyndigheten.se



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority



13

Slovarček izrazov

- akcijski potencial** kratkotrajen prehodni preobrat membranskega potenciala, ki se sproži, ko lokalna depolarizacija na membrani doseže prag vzdražnosti, med vznurjenjem potuje vzdolž aksona ali skeletnega mišičnega vlakna
- Alzheimerjeva bolezen** presenilna ali senilna demenca z značilnimi argirofilnimi, amiloidnimi lehami, nevrofibrilnimi pentljami in difuzno atrofijo možganske skorje
- apoptoza** programirana (v genomu) celična smrt
- benigen** ki je ozdravljiv in/ali poteka v blažji obliki; - ki raste počasi, ne vdira v okolico in ne dela zasevkov in je praviloma nenevaren; sin. benignus, nemaligen, nerakast, nerakav, nezločest
- citokemija / citokemične raziskave** veda o lokacijah, strukturnih povezavah in medsebojnih odnosih med celičnimi spojinami
- časovna povezanost / povezanost v času** povezanost dejavnika in izida v času v epidemiologiji, eden od kriterijev za opredelitev vzročnosti
- daljnovid (DV)** Nadzemni vod, elektroenergetska naprava za prenos in distribucijo električne energije, ki ima vodnike nameščene na stebrih. Daljnovidni so različnih napetostnih nivojev: 10, 20, 35, 110, 220 in 400 kV.
- deoksiribonukleinska kislina (DNK)** sestavlja primarni genetski material, ki se nahaja v celičnem jedru
- električni tok** Električni tok je usmerjeno gibanje električnih nabojev. Običajno se z električnim tokom srečujemo v prevodnih materialih. Enota za tok je amper (A). Električni tok je lahko statičen in se s časom ne spreminja, ali pa izmeničen, ko se njena velikost periodično spreminja. V električnem omrežju se smer in velikost električnega toka spreminja s frekvenco 50 Hz.

električno polje (EP) Fizikalni pojav, ki nastane zaradi neenakomerne porazdelitve električnih nabojev. Vsak električni naboj je vir električnega polja, če so naboji neenakomerno porazdeljeni, se pojavi električno polje. Neenakomerna porazdelitev nabojev ima za posledico tudi pojav potencialne razlike oziroma napetosti, zato je električno polje prisotno povsod tam, kjer je prisotna električna napetost. Enota za jakost električnega polja je volt na meter (V/m).

elektromagnetno sevanje (EMS) Elektromagnetno sevanje je posledica električno nabitih delcev. Ti delci so osnovni gradniki snovi. Elektroni imajo negativni električni naboj, protoni imajo pozitivnega. Izmenični tok, ki teče v eno in v drugo smer, proizvaja časovno spreminjajoče se magnetno polje. Časovno spreminjajoče se magnetno polje s procesom, imenovanem indukcija, proizvaja časovno spreminjajoče se električno polje. Spreminjajoče se električno polje proizvaja spreminjajoče se magnetno polje in tako naprej. Ta proces ustvari elektromagnetno sevanje, ki je sestavljeno iz spreminjajočega se električnega in magnetnega polja. EMS potuje skozi prazen prostor s svetlobno hitrostjo (300.000 km/s) in lahko nosi informacijo. Določimo ga s frekvenco ali energijo. Čim višja je frekvenca sevanja (manjša valovna dolžina), tem višja je njegova energija, in obratno. Elektromagnetna sevanja delimo glede na njihov učinek na ionizirna in neionizirna. Elektromagnetno sevanje z valovno dolžino med 400 in 700 nm zaznavamo kot svetloba.

elektromagnetno valovanje Izraza »elektromagnetno valovanje« in »elektromagnetno sevanje« se pogosto uporabljata kot sopomenki, čeprav, strogo gledano, ne moremo govoriti o sevanju, kadar se valovanje ne razširja po praznem prostoru (npr. v optičnem vlaknu ali koaksialnem kablu).

emisija neposredno ali posredno oddajanje EMP določenega vira v okolje.

epidemiologija veda, ki raziskuje porazdelitev in dejavnike z zdravjem povezanih stanj in dogodkov v izbrani populaciji, njeni rezultati pomagajo obvladovati zdravstvene težave v izbranem okolju

frekvenca (f) število valov v sekundi, enota je herc (Hz)

genotoksičen sposobnost poškodovanja DNK

hipofiza žleza, ki se nahaja na spodnji površini možganovine, izloča več hormonov in uravnava delovanje več drugih žlez

hipokampus področje sive možganovine, ki se razteza ob dnu temporalnega roga stranskega ventrikla možganovine.

hormon kemična spojina, ki nastane v določenem organu v telesu in ima specifičen regulatorni učinek na delovanje drugih organov ali celic

imisija skupna obremenjenost okolja z EMP iz različnih virov.

- in vitro** raziskave na celičnem nivoju
- in vivo** raziskave na živalih
- incidenca / pojavnost** število novih primerov (npr. bolezni) v določenem času, odraža dinamiko pojava
- interval zaupanja** območje vrednosti za željeno spremenljivko v katerem se z določeno verjetnostjo nahaja tudi njena prava vrednost
- ionizirna sevanja** So elektromagnetna sevanja, ki imajo zelo visoke frekvence in tako dovolj energije za ionizacijo snovi - izbijajo elektrone iz atomov. Od tod tudi ime, saj procesu izbijanja elektronov iz atomov pravimo ionizacija. Ker ionizirna sevanja izbijajo elektrone tudi iz atomov v človekovem telesu, lahko ogrozijo zdravje. Med ionizirna sodijo rentgenska sevanja, radioaktivna sevanja v zemeljski skorji in zunaj nje.
- kablovod** Podzemni vod, elektroenergetska naprava za prenos in distribucijo električne energije, ki ima vodnike položene v zemlji. Uporabljajo se predvsem pri nižjih napetostnih nivojih: 0,4, 10 in 20 kV, v manjšem obsegu tudi pri 110 kV, pri najvišjih napetostnih nivojih 220 in 400 kV pa tudi v svetovnem merilu le izjemoma - npr. podvodne povezave.
- kancerogen** snov ali dejavnik, ki povzroča nastanek maligne novotvorbe
- kognitivno / zavedno (zavedati se sebe in okolice)** Razumski procesi, ki omogočajo, da se zavedamo svojih misli in zaznav. Vključuje vse oblike zaznavanja, mišljenja in dejavnosti spomina.
- kohorta - kohortna raziskava** Katerakoli definirana skupina oseb, ki jo spremljamo skozi določeno časovno obdobje.
Kohortna raziskava je tista, kjer določeno populacijo (kohorto) izberemo glede na prisotnost ali odsotnost dejavnika tveganja, ki lahko vpliva na verjetnost nastanka določene bolezni ali izida. Kohorti nato sledimo z namenom, da pri izpostavljenih v resnici dokažemo večje tveganje za nastanek neugodnega izida (bolezni).
- kongenitalno / prirojeno** spremembe, ki so prisotne ob rojstvu
- kontrolna skupina** V primeru kontrola študij so to osebe s katerimi primerjamo primere (obolele). Izbor pravih kontrol je bistven za veljavnost epidemioloških študij.
- latentna doba** čas med izpostavljenostjo dejavniku, ki bolezen povzroča in pojavom bolezni
- levkemija** progresivna, maligna bolezen krvotvornih organov, za katero je značilno neustrezno nastajanje in množenje belih krvničk in njihovih matičnih celic v krvi in kostnem mozgu
- levkemija-akutna limfoblastna** primarno bolezen otrok in mlajših odraslih, predstavlja 80 % vseh levkemij v otroštvu

magnetno polje (MP) Fizikalen pojav, ki nastane zaradi premikanja električnih nabojev. Električne naboje, ki tečejo po žici ali drugem prevodniku, imenujemo električni tok. Električni tok pa je vir magnetnega polja. Za jakost magnetnega polja se uporabljata dve veličini električna poljska jakost z enot amper na meter (A/m) ali gostota magnetnega pretoka z enoto tesla (T).

maligen ki je težko ozdravljiv in se navadno nezadržno slabša, -pri katerem se izrojene celice nezadržno množijo, vdirajo v okolico in tvorijo zasevke

mejna vrednost Mejna vrednost je največja dopustna vrednost veličine glede na zakonodajo. V Sloveniji od leta 1996 to področje ureja Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (UL RS 70/1996), ki določa mejne vrednosti, ki jih električna in magnetna polja na človeku dostopnih mestih v okolju ne smejo preseirati.

metabolizem / presnova vsota vseh procesov v katere je vključena določena snov v organizmu

multivarijantna analiza katerakoli analitična metoda, ki omogoča simultano raziskovanje (študij) dveh ali več odvisnih spremenljivk

mutácija trajna sprememba strukture ali množine genskega materiala, ki se prenaša na hčerinske celice oziroma se deduje na potomce, vendar ni nujno, da se izrazi vedno tudi v fenotipu (znane so točkovna, kromosomska in genomska mutacija)

mutagen / mutageni učinek ali delovanje dejavnik, ki sproži gensko mutacijo

napetost Električna napetost je enaka razliki električnih potencialov med dvema točkama. Razlika električnih potencialov pa nastane zaradi neenakomerne porazdelitve nabojev, kar je lahko posledica več dejavnikov: premikanje nabitih delcev skupaj (nastanek strel), kemični procesi (baterija), indukcija v tuljavi zaradi spreminjanja magnetnega polja... Napetost je lahko statična in se s časom ne spreminja, ali pa izmenična, ko se njena velikost periodično spreminja. V električnem omrežju se smer in velikost napetosti spreminja s frekvenco 50 Hz.

neionizirna sevanja So elektromagnetna sevanja, ki imajo nižje frekvence od ionizirnih ter tako premajhno energijo za ionizacijo snovi. Med neionizirna sevanja sodijo statična električna in magnetna polja, izmenična elektromagnetna sevanja do 300 GHz, infrardeča svetloba, vidna svetloba in ultravijolična svetloba. Kljub temu, da ultrazvok in infrazvok nista elektromagnetni valovanji, ju tudi prištevamo med neionizirna sevanja.

odmerek - učinek razmerje med izpostavljenostjo (dozo-odmerkom) in učinkom (boleznijo)

opisna raziskava	Epidemiološka raziskava, kjer ne ugotavljamo vzročnih povezav. Spremembe ali razlike v eni značilnosti opredeljujemo glede na spremembe in razlike v drugi, brez posegov preiskovalca.
placebo	zdravilo ali postopek brez učinkovine
presečna /študija/	Raziskava, ki preuči odnos med boleznimi in ostalimi opazovanimi dejavniki tveganja neke populacije v določenem trenutku. Določitev časovnega zaporedja med vzrokom in posledico v tej vrsti raziskave ni vselej mogoča.
prevalenca	Celokupno število primerov bolezni ali stanj v izbrani populaciji v določenem trenutku. Opisuje razsežnost pojava in je odvisen od dogodkov v preteklosti.
primer – kontrola / študija/	Vrsta raziskave, ki primerja opazovano skupino bolnih z ustrežno kontrolno skupino zdravih glede na pogostost izpostavljenosti določenemu dejavniku tveganja.
pristranost / odstopanje	odstopanje rezultatov od dejanskega stanja ali proces, ki vodi v tako pristranost
pristranost ali napaka zaradi motečih spremenljivk	Zaradi povezave dejavnika tveganja z ostalimi dejavniki, ki niso neposredno odgovorni za učinek, lahko pride do navideznega vpliva slednjih na rezultate in izid raziskave.
pristranost zaradi izbora	sistematična napaka zaradi načina izbora populacije, ki rezultat študije prikaže kot večje ali manjše tveganje od dejanskega
psihofiziologija	fiziologija psihologije, ki opisuje delovanje osnovnih procesov mišljenja in duševnosti
rak / novotvorba	nastanek maligne novotvorbe
rakotvoren	glej kancerogen
razdelilna transformatorska postaja (RTP)	Večja elektroenergetska naprava za povezovanje visokonapetostnih 110, 220 in 400 kV omrežij med seboj ter s srednjenaletostnim 10 in 20 kV omrežjem. RTP sestavlja eden ali več transformatorjev, stikalne naprave ter drugi pomožni objekti.
razmerje obovetov	Uporablja se v raziskavah primer - kontrola, kjer primerjamo obete za bolezen v primeru izpostavljenosti z obeti za bolezen pri neizpostavljenih.
razmerje tveganj / relativno tveganje	razmerje med tveganjem pri izpostavljenih in tveganjem pri neizpostavljenih ali manj izpostavljenih
sevanje	oddajanje valov ali delcev, ki se širijo v prostor (sevanje radijske antene, sevanje radioaktivnega vira, sevanje svetlobe)
simptom	sprememba, značilna za bolezen, ki jo opiše bolnik (ko opisuje subjektivne težave); bolezenski znak
standardizirana stopnja umrljivosti	število aktualnih smrti v določenem obdobju glede na pričakovano število, pomnoženo s 100

- statistična povezava / povezanost spremenljivk** statistična povezanost med dvema spremenljivkama
- statistična značilnost** Statistične metode z določeno stopnjo zanesljivosti omogočajo oceno povezanosti med dejavniki. Upošteva se to verjetnost lahko v vzorcu določene velikosti govorimo o statistično značilnih rezultatih.
- stopnja varstva pred sevanjem** V Sloveniji uredba določa dve stopnji varstva pred sevanjem.
I. stopnja varstva pred sevanjem velja na I. območju varstva pred sevanji, kjer je potrebno povečano varstvo pred sevanji: območje objektov vzgojnovarstvenega in izobraževalnega programa in zdravstvenega varstva, bolnišnic, objektov namenjenih bivanju, igri in rekreaciji, javnih zelenih in rekreacijskih površin, trgovsko-poslovno-stanovanjsko območje, ki je hkrati namenjeno bivanju in obrtnim ter podobnim proizvodnim dejavnostim, javno središče, kjer se opravljajo upravne, trgovske, storitvene ali gostinske dejavnosti in podobno.
II. stopnja varstva pred sevanjem velja na II. območju varstva pred sevanji, kjer je dopusten poseg v okolje, ki je zaradi sevanja bolj moteč. II. območje varstva pred sevanji je zlasti območje brez stanovanj, namenjeno industrijski ali obrtni ali drugi podobni proizvodni dejavnosti, transportni, skladiščni ali servisni dejavnosti ter vsa druga območja, ki niso določena kot I. območje varstva pred sevanji.
- transformatorska postaja (TP)** Elektroenergetska naprava za povezovanje nizkonapetostnega 0,4 kV omrežja s srednjenapetostnim 10 ali 20 kV omrežjem. Transformatorska postaja sestoji iz transformatorja in stikalnih naprav, nameščena pa je lahko v samostojnem zidanem ali montažnem objektu, da daljnovodnem stebru ali je del drugega objekta.
- tumor** nenormalna, atipična, nekontrolirana, navadno lokalna patološka rast tkiva
- tveganje** verjetnost nastanka dogodka
- valovanje** širjenje motnje po snovi ali prostoru
- valovna dolžina (λ)** Razdalja med dvema sosednjima vrhovoma valovanja je valovna dolžina. Izražena je v metrih (m). Navadno uporabljamo manjše enote: milimeter (mm) = tisočinka metra, mikrometer (μm) = milijoninka metra, nanometer (nm) = milijardinka metra.
- vplivno območje** Vplivno območje opisuje tisto območje v prostoru, kjer so presežene mejne vrednosti.
- vzročna povezava** Povezanost vzroka in posledic, ki zaradi izpostavljenosti temu dejavniku nastanejo. V epidemiologiji želimo opredeliti vzročnost in razlikovati med vrstami dejavnikov. Poudariti pa je treba, da zgolj epidemiološki dokaz sam po sebi ne zadošča za opredelitev vzročne povezanosti.

O avtorjih



Doc. dr. Peter Gajšek je direktor Inštituta za neionizirna sevanja in predavatelj na FE UNI-LJ za področje bioelektromagnetike. Njegovo specialno področje je preučevanje vplivov EMP na ljudi s poudarkom na eksperimentalni in teoretični dozimetriji. Vrsto let je opravljal raziskave s področja EMP v uglednih laboratorijih po svetu. Trenutno je član konzorcija EU projekta **SeaWave** o vplivih 5G na zdravje. Je tudi član številnih mednarodnih organizacij s področja EMP, med drugim Mednarodnega svetovalnega odbora globalnega projekta o EMP v okviru Svetovne zdravstvene organizacije (IAC WHO). Je avtor prek 140 objav v znanstveni in strokovni periodiki s področja EMP. Je koordinator projekta Forum EMS (www.forum-ems.si).



Prof. dr. Tadej Kotnik je redni profesor in znanstveni svetnik na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, kjer je bil v letih 2013-2017 prodekan za znanstveno-raziskovalno dejavnost, odtlej pa je predstojnik Laboratorija za biokibernetiko na Katedri za biomedicinsko tehniko. Na 2. in 3. stopnji univerzitetnega študija predava predmete s področja biomedicinske tehnike in bioelektromagnetike, raziskovalno pa se osredotoča na učinke električnih polj na membrane bioloških celic, predvsem elektroporacijo membrane ter njeno uporabo za vnos učinkovin in prenos genov med organizmi. Bil je prejemnik Galvanijeve nagrade Svetovnega društva za bioelektrokemijo za leto 2001 in eden od desetih prejemnikov nagrade »Najodmevnejši raziskovalni dosežki Univerze v Ljubljani« v letu 2014. Njegove objave v znanstvenih revijah so doslej prejele že več kot 4500 citatov.



Mitja Blagajac je strokovnjak za vsebine in komuniciranje ter upravljanje tveganj, nevarnosti in kriz. Zaključil je študij marketinga ter se dodatno šolal na Londonski šoli za odnose z javnostmi (LSPR). Od leta 2015 s partnerji deluje v družbi Zgodba, kjer pripravlja predvsem koncepte in strategije komuniciranja ter pomaga podjetjem upravljati tveganja in krize. Je soavtor knjig *Krizno komuniciranje in upravljanje z nevarnostmi* (2000) in *Lobiranje je vroče* (2006) ter vrste strokovnih člankov. Je soavtor projekta Forum EMS in že več kot desetletje deluje na področju komuniciranja tveganj in kriznih komunikacij.



Dr. Fedor Černe je predsednik upravnega odbora Inštituta PROSPEX (Belgija). Je strokovnjak z dolgoletnimi izkušnjami na področju javne uprave, industrije, raziskav in zasebnega svetovanja na področjih okoljske politike, trajnostnega razvoja, sodelovanja z nevladnimi organizacijami, evropske politike varstva okolja in izzivi širitve evropske unije. V okviru študija instrumentov varstva okolja se je poglobljeno ukvarjal z načelom previdnosti in njegove implementacije. Posebej so ga zanimali zahtevni procesi dialoga in vključevanje zainteresiranih strani s ciljem iskanja stičnih točk in kompromisov.



Prim. prof. dr. Ivan Eržen je zdravnik, specialist javnega zdravja in že več kot 30 let opravlja različne naloge v okviru dejavnosti javnega zdravja. Pedagoško se udeležuje pri različnih izobraževalnih programih na prvi, drugi in tretji stopnji študija v Sloveniji in v tujini. Njegovo raziskovalno področje je vezano na proučevanje zdravja prebivalstva ter dejavnikov, ki na to vplivajo. Trenutno je vodja Šole za javno zdravje, ki je del Nacionalnega inštituta za javno zdravje, opravlja pa tudi funkcijo strokovnega direktorja na tej isti ustanovi.

**Marko Fatur**

Marko Fatur je vodja oddelka za komunalno gospodarstvo na Ljubljanskem urbanističnem zavodu d.d., kjer je osrednji vidik njegovega delovanja povezan z načrtovanjem komunalne infrastrukture od strateškega do operativno izvedbenega nivoja. Na državni ravni že več kot dvajset let sodeluje pri umeščanju pomembnejših infrastrukturnih objektov v prostor, pri čemer večinski del načrtovanja predstavljajo elektroenergetski objekti. Vključen je tudi v pedagoško delo kot strokovni sodelavec za področje komunalnega gospodarstva na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo ter Fakulteti za arhitekturo Univerze v Ljubljani.



Doc. dr. Bor Kos je zaposlen na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, kjer je aktiven raziskovalec na področju biomedicinskih aplikacij elektromagnetnih polj. Za svojo doktorsko disertacijo s področja numeričnega modeliranja elektromagnetnih količin v človeškem telesu je leta 2015 prejel Vodovnikovo nagrado Fakulteta za elektrotehniko. Leta 2018 je za svoje delo na področju numeričnega načrtovanja zdravljenja z metodami na osnovi elektroterapije prejel nagrado Alessandro Chiabrera, ki jo podeljuje

EBEA – Evropsko združenje za bioelektromagnetiko. Raziskovalno se ukvarja z numeričnim modeliranjem elektromagnetnih pojavov za določanje izpostavljenosti elektromagnetnim poljem in za uporabo elektromagnetike v biomedicini.



Prof. dr. Paolo Ravazzani je strokovni direktor Nacionalnega raziskovalnega sveta Republike Italije (CNR). Od decembra 2018 opravlja funkcijo direktorja Inštituta za elektroniko in informacijski inženiring CNR IEIIT. Glavna področja delovanja so povezana z raziskovanjem uporabe EMP v medicini z njihovo karakterizacijo za biomedicinske sisteme in naprave, s študijem metod za vrednotenje izpostavljenosti EMP nizkih frekvenc in mikrovalov ter preučevanjem možnih vplivov EMP na zdravje. Kot vodilni raziskovalec in koordinator je sodeloval v več evropskih

projektih s področja EMP in sicer: ELFSTAT (2015–2019), ARIMMORA (2011–2015), EFHRAN (2009–2012), EMF-NET (2004–2008), EMFnEAR (2004–2007), GUARD (2002–2004). Je avtor 179 znanstvenih člankov s h-indeksom 24.



Akad. prof. dr. Gregor Serša je leta 1978 diplomiral na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani, kjer je trenutno profesor molekularne biologije. Zaposlen je na Onkološkem inštitutu v Ljubljani kot predstojnik Oddelka za eksperimentalno onkologijo. Njegovo posebno področje zanimanja je vpliv električnega polja na tumorske celice in tumorje kot sistem za prenos zdravil in genov v različnih terapevtskih pristopih. Poleg eksperimentalnega dela je aktivno vključen v izobraževanje dodiplomskih in podiplomskih študentov na Univerzi v Ljubljani.



Dr. Blaž Valič se celotno raziskovalno in poklicno pot ukvarja z vprašanji, povezanimi s človekom in električnimi ter magnetnimi polji. Še posebej se je pri raziskovalnem in strokovnem delu posvečal numeričnim izračunom elektromagnetnih veličin v človeku ter okolju ter njihovimi meritvami. Je član več domačih in mednarodnih organizacij s področja bioelektromagnetike in recenzent v mednarodnih znanstvenih revijah s te ga področja. Je vodja akreditiranega laboratorija za izvajanje meritev elektromagnetnih veličin na Inštitutu za neionizirna sevanja ter avtor in soavtor vrste znanstvenih in poljudnih publikacij.



Dr. Emma Chiaramello je doktorirala iz biomedicinske tehnike na Politehniku v Torinu, Italija. Od leta 2019 je raziskovalka pri IEIIT CNR. Njeni znanstveni interesi vključujejo preučevanje interakcij med EMP in biološkimi sistemi, tako z deterministično dozimetrijo, ki temelji na metodah računalniškega elektromagnetizma, kot s stohastično dozimetrijo, ki temelji na nadomestnem modeliranju.



Dr. Marta Bonato je doktorirala iz biomedicinske tehnike na Politehniku v Milanu, Italija, Od leta 2021 je raziskovalna sodelavka pri IEIIT CNR. Njeni raziskovalni interesi so povezani s proučevanjem interakcije elektromagnetnih polj z biološkimi sistemi in s proučevanjem možnih učinkov EMP na zdravje tako z deterministično kot stohastično dozimetrijo.

Znanstvena monografija z naslovom Elektromagnetna polja – zdravje in okolje, v sklopu 14 poglavij predstavlja najpomembnejša področja elektromagnetnih polj pri umeščanju elektroenergetskih objektov v okolje. Vsa poglavja opisujejo najnovejša spoznanja na področjih, ki jih pokrivajo in so podprta tudi z natančnimi opisi iz prakse. Monografija tako prinaša v slovenski prostor poglobljeno obravnavo vplivov elektromagnetnih polj elektroenergetskih objektov na zdravje in okolje ter prinaša uporaben pregled nad ukrepi in politikami, ki uspešno prispevajo k zmanjšanju tovrstnih vplivov.

Prof. dr. Maja Čemažar, Onkološki inštitut

Pričujoča znanstvena monografija naslavlja strokovne, družbene in ekonomske izzive, ki so povezani z umeščanjem elektroenergetskih objektov v prostor.

Mednarodno uveljavljeni strokovnjaki izhajajoč iz bioloških, zdravstvenih, fizikalnih in tehnoloških osnov pojasnijo pomen zmanjševanja izpostavljenosti elektromagnetnim poljem, temelječ na načelu previdnosti. Publikacija tako prinaša sodoben in celosten vpogled umeščanja elektroenergetskih objektov v prostor, od izzivov do praktičnih rešitev, skladnih s priporočili mednarodnih strokovnih organizacij.

Doc. dr. Damijan Škrk, Uprava RS za varstvo pred sevanji

info@inis.si
www.inis.si



info@forum-ems.si
www.forum-ems.si



ISBN 978-961-92727-8-7



9 789619 272787