ZDRAVJE IN OKOLJE

izbrana poglavja

Ivan Eržen

Peter Gajšek

Cirila Hlastan Ribič

Andreja Kukec

Borut Poljšak

Lijana Zaletel Kragelj

april 2010

ZDRAVJE IN OKOLJE

Fizično okolje, ki nas obdaja, je naravno okolje, prepleteno z vplivi človekovega delovanja. Tudi človek sam predstavlja element tega okolja. S svojim delovanjem pomembno vpliva na osnovne sestavinine naravnega fizičnega okolja, kot so zrak, voda in zemlja. Prav tako pa tudi okolje neposredno vpliva na življenske in bivanjske pogoje človeka in s tem na zdravje in kvaliteto življenja.

Ekonomske potrebe, socialno stanje, družbena ureditev, kultura, sistem vrednot, izobrazba so dejavniki, ki hkrati in z različno močjo vplivajo na odnos družbe do fizičnega okolja. Na ta način določajo razmere v okolju, s tem pa tudi vrsto in obseg vpliva na zdravje človeka. Zaradi tesne medsebojne prepletenosti dejavnikov je izredno težko uveljaviti uravnotežen in za okolje sprejemljiv razvoj.

Javnost je vedno bolj zaskrbljena v zvezi z vplivom posameznih dejavnikov okolja na njihovo zdravje in postavlja povsem konkretna vprašanja kot na primer: ali je to vodo varno uživati, ali je moj spontani splav posledica delovanja dejavnikov v okolju, v katerem delam, kakšna je verjetnost, da bo imel otrok prirojene okvare zaradi materinega dela z računalnikom, ali je uporaba pesticidov nevarna, ali je življenje ob daljnovodih povezano z krvnim rakom in tako naprej.

Obstajata dve znastveni področji, ki proučujeta vplive okolja na zdravje: okoljska medicina in zdravstvena ekologija.

Okoljska medicina je veja medicine, ki jo ponekod (tudi pri nas) poznamo pod imenom higiena.

Je veda, ki proučuje vplive naravnega okolja (kemičnih, fizikalnih, biomehanskih in bioloških dejavnikov iz okolja) na zdravje prebivalstva. Polje delovanja okoljske medicine je multidisciplinarno in združuje znanja medicine, ekologije, kemije, fizike in drugih.

Nekateri globalni problemi, ki jih okoljska medicina izpostavlja v današnjem času, so: učinki onesnaženosti voda in zraka, tanjšanja ozonske plasti in posledično povečano UV sevanje, nadalje učinki kemikalij, jedrskih nezgod in še številnih drugih škodljivih dejavnikov na zdravje ljudi, pa tudi problemi, ki jih v povezavi zdravja z naravnim okoljem lahko pričakujemo v prihodnosti.

Zgodovinsko je okoljska medicina skupaj z epidemiologijo nalezljivih bolezni najstarejša javnozdravstvena veja, saj se je preprečevanje nalezljivih bolezni, ki so

bile še pred stoletjem največja grožnja v razvitih delih sveta, v nerazvitih pa so še vedno, vršilo predvsem s higienskimi ukrepi. Danes je prerasla te okvire, zato se tudi njeno poimenovanje počasi spreminja.

Področje proučevanja in dela **zdravstvene ekologije** je širše kot okoljske medicine. Zdravstvena ekologija proučuje tiste vidike človekovega zdravja in kvalitete življenja, ki jih determinirajo fizikalni, biološki, socialni in psihološki dejavniki okolja. Obravnava teorijo in prakso ocenjevanja, spremljanja, ukrepanja in preprečevanja tistih dejavnikov v okolju, ki lahko potencialno škodljivo delujejo na zdravje sedanje ali bodočih generacij. Za zdravstveno ekologijeo je značilno, da je izredno interdisciplinarna veda, ki združuje znanje, pristope in metode dela disciplin kot so: toksikologija, epidemiologija, okoljska medicina, medicina dela, kemija, mikrobiologija, fizika, sociologija, ekonomija in še številne druge. Sestava interdisciplinarnega tima je odvisna od vrste problema, ki ki ga v okviru posamezne naloge obravnavajo.

Včasih izgleda kot, da nastane dilema med zdravjem in varovanjem okolja. Eno od mejnih stališč je, da vsak nadzor nad uporabo resursov omejuje svobodo in pravico posameznika. Na drugi strani pa imamo stališče, da vsak posameznik ali skupina posameznikov prizadene okolje in je potrebno vso pozornost in prioritete posvetiti okolju in vzdrževanju ekosistema.

Združeni narodi smatrajo, da je zagotavljanje preživetja človeštva prva prioriteta in to je tudi zapisano v splošni deklaraciji o človekovih pravicah, ki pravi: Vsi ljudje imajo pravico do takih življenjskih pogojev in takega nivoja zdravja in blagostanja, vključujoč prehrano, obleko, stanovanje, zdravstveno in socialno službo, ki jim bo omogočila primeren razvoj. Upoštevanje narave in nadzor nad degradacijo okolja je torej v drugi prioriteti. Potrebe druge prioritete bi morale usmerjati človekove aktivnosti, razen seveda v primeru, da so v nasprotju s principi prve prioritete.

Dejavniki, ki vplivajo na zdravje

V okviru proučevanja vpliva okolja na zdravje obravnavamo predvsem naslednje dejavnike okolja:

- Biološki agensi, njihovi prenašalci in rezervoarji
- Fizikalni in kemični agensi v okolju, ki so neodvisni od človekovih aktivnosti in lahko poslabšajo zdravje, bodisi zaradi njihove prisotnosti (na primer radio vplivi UV žarki) ali zaradi njihovega pomanjkanja (jod, selen)
- Škodljivi fizikalni in kemični dejavniki, ki jih v okolje vnaša človek (dušikovi oksidi PAH, prašni delci, plin, biomedicinski odpadki, radioaktivni odpadki itd.).
- Proučevanja socialno ekonomskih dejavnikov nam omogoča boljše razumevanje kje so vzroki za te probleme in na kakšen način jih lahko zmanjšamo.

Zdravstveno stanje posameznika je v osnovi določeno preko dveh različnih skupin dejavnikov:

- genetski dejavniki in
- dejavniki okolja

Genetski dejavniki

Vsak človek dobi od staršev gene, ki se v času življenja običajno ne spreminjajo. Kadar se zaradi različnih razlogov spremenijo in pride do mutacije, lahko pride do sprememb, ki se včasih pokažejo kot rak ali celo smrt celice. Nekatere raziskave kažejo, da vsebujejo geni celo informacijo o samouničenju, saj lahko telo živi le omejeno število let. Meja za večino posameznikov je med 70 in 100 leti. Od genetskih zasnov je odvisno, kako se bo organizem odzval na izpostavljenost dejavnikom okolja. V primeru, ko je izpostavljenost visoka, se bodo posledice pokazale pri vseh izpostavljenih. Pri nekaterih posameznikih se posledice izpostavljenosti pokažejo že pri nižjih dozah škodljivega dejavnika. Pri tem imajo genetske zasnove ključno vlogo. Podedovana občutljivost je znan dejavnik tveganja.

Dejavniki okolja

Temeljni elementi človekovega okolja so zrak, voda in hrana, mikroklima, ki obdaja naše telo in prostor, ki ga potrebujemo za življenje in gibanje. Temu je potrebno dodati še socialno in duhovno okolje, ki pomembno vplivata na kakovost življenja ter na človekovo psihično in fizično zdravje.

Dejavniki okolja povzročajo, ali pa vsaj pomembno vplivajo na razvoj večine bolezni, ki prizadenejo ljudi. Zaradi tega je poznavanje in razumevanje načinov kako posamezni škodljivi dejavniki vplivajo na zdravje izrednega pomena za načrtovanje in uvajanje preventivnih in zaščitnih ukrepov. Okolje, vključno z delovnim okoljem, predstavlja pomemben dejavnik tako za zdravje, kot za bolezen. Obstajajo številni podatki in dokazi o tem, da pride do neposrednih ali neposrednih zdravstvenih posledic, ki so povezane z okoljem (izpostavljenost otrok svincu, vpliv klimatskih sprememb na populacijo vektorjev, ki so odgovorni za prenos nalezljivih bolezni). Povezava med škodljivostmi v o okolju in pojavom znakov bolezni je zelo zapletena, zato običajno ni mogoče natančno opredeliti v kolikšni meri je okolje prispevalo k pojavu določenih stanj. Čeprav je nemogoče povsem natančno določiti kakšen je obseg bolezni, ki so posledica dejavnikov v okolju, saj pogosto ni ustreznega spremljanja, deloma pa tudi zato, ker ostajajo številne posledice neprepoznane, je kljub temu dovolj dokazov, o vplivu okolja na zdravje, da se je potrebno od zaskrbljenosti preusmeriti k delovanju.

Dejavniki okolja pa niso vedno samo škodljivi. Poznanih je veliko primerov, ko je bilo ugotovljen zaščitni vpliv okolja. Prepoznavanje dejavnikov, ki delujejo zaščitno, seveda prav tako prispeva k preprečevanju bolezni in ohranjanju zdravja.

Sodobna spoznanja o delovanju dejavnikov okolja na zdravje omogočajo, da nanje vplivamo, spreminjamo njihovo razširjenost in intenzivnost ter na ta način

vplivamo na zmanjševanje določenih zdravstvenih problemov. Žal pa ne vseh. Različne kombinacije dejavnikov, ki vplivajo na zdravje ljudi, so brez številne. Vsakdo ima prav posebno okolje in osebne lastnosti, ki se razlikujejo od tistih, ki jih imajo drugi. V določenih primerih ne pride do razvoja bolezni, ker je izpostavljenost dovolj nizka, ali pa je čas trajanja dovolj kratek, da ni prišlo do razvoja patoloških sprememb, oziroma je organizem uspel okvare s pomočjo lastnega adaptacijskega mehanizma popraviti. V drugih primerih pa pride lahko ob enaki stopnji izpostavljenosti določenemu dejavniku kljub temu do sprememb na zdravju, ker je prišlo do medsebojnega učinkovanja z drugimi dejavniki. Gre za adicijo, sinergizem, pa tudi antagonizem, ki deluje varovalno, kot je to v primeru sočasne izpostavljenosti živemu srebru in selenu. Posledice na zdravju se ob enaki izpostavljenosti dejavniku okolja lahko od osebe do osebe razlikujejo tudi zato, ker je eden ali drugi opazovani sočasno izpostavljen še drugim škodljivostim in izpostavljenost opazovanih oseb drugim škodljivostim se običajno močno razlikuje.

Ultra-vijolično sevanje

V drugi polovici 20. stoletja so se ob množičnem izpostavljanju sončni svetlobi pričeli izražati raznovrstni škodljivi učinki na koži, ki jih večinoma povzroča delovanje ultravijoličnega dela spektra sončnega sevanja.

Raziskave kažejo, da imajo sončni žarki zaradi povečanega prehajanja skozi zemeljsko ozračje vedno močnejše učinke na kožo. Kljub temu, da še vedno ostajajo številna odprta vprašanja o vzročnih mehanizmih, vplivih specifičnih valovnih dolžin in pomenu različnih načinov izpostavljanja soncu, je Mednarodna agencija za raziskave raka (IARC) na osnovi podatkov o stopnji dokazane kancerogenosti za človeka leta 1992 sončno svetlobo uvrstila med karcinogene dejavnike (skupina 1), ultravijolično A, B in C sevanje (UVA, UVB, UVC).

V Sloveniji je rak kože po številu prijavljenih primerov na drugem mestu med posamičnimi raki pri ženskah (za rakom dojke) in pri moških (za rakom pljuč). Vsako leto je v Sloveniji prijavljenih več novih primerov najnevarnejše oblike kožnega raka, t.j. malignega melanoma: v letu 2003 je bilo prijavljenih že kar 331 invazivnih oblik in 24 zelo zgodnjih, neinvazivnih, primerov.

Dokazov o škodljivem delovanju dejavnikov okolja je vedno več. Nijihova razširjenost, s tem pa tudi posledice na zdravju je po svetu različno razporejena in v različnih kombinacijah. Kljub dokazom o povezanosti okolja in zdravja pa se uporaba, emisije in depozicija potencialno nevarnih snovi v okolje še naprej veča. Povečuje se izpostavljenost prebivalstva različnim škodljivostim, kar pa ni zgolj posledica prisotnosti večje količine ali intenzivnosti škodljivih dejavnikov okolja temveč tudi načina življenja. Delež prebivalstva, ki živi v urbaniziranem okolju se neprestano povečuje. Slabi bivalni in delovni pogoji, v katerih živi večina svetovnega prebivalstva, so povezani tako z razvojem fizičnih, kot psihosocialnih problemov. Iz revščine, slabih možnosti za delo, zlorabe drog, prenaseljenosti,

neprimernih stanovanj, slabo razvite zdravstvene in socialne službe ter neustreznih pogojev za razvoj otrok izvirajo nasilje in odtujenost.

Preglednica 1-1. Seznam stanj, pri katerih imajo škodljivi dejavniki okolja največji vpliv (prirejeno po Pruss-Ustun A and Corvalàn FC, 2006).

Stanje	**Deleži celotnega bremena, ki ga predstavljajo posamezne bolezni (daly/1000 preb)**	**OKOLJSKIM DEJAVNIKO PRIPISLJIV DELEŽ DALY (1000 preb)**
Driska	4.15	3.85
Infekcije spodnjih dihalnih poti	6.10	2.45
Nenamerne poškodbe	3.30	1.40
Malarija	3.10	1.25
Prometne poškodbe	2.60	1.05
Kronična obstrktivn apljučna bolezen	1.80	0.80
Prirojena stanja	6.50	0.75
Ishemična bolezen srca	3.90	0.75
Manjše mentalne sposobnosti zaradi svinca	0.60	0.70
Utopitve	0.70	0.55
HIV/AIDS	5.65	0.50
Podhranjenost	1.15	0.50
Bolezni ožilja	3.25	0.50
Astma	1.05	0.45
Tuberkuloza	2.25	0.45
Samomori	1.40	0.40
Depresija	4.50	0.35
Zastrupitve	0.50	0.30
Padci	1.10	0.30
Izguba sluha	1.75	0.25
Nasilje	1.45	0.25
Filariaza	0.40	0.20
Rak pljuč	0.75	0.20
	60.7	18.9

Vir: Pruss-Ustun A and Corvalàn FC, 2006.

Zaradi načina življenja in dela se sodobni ljudje tudi veliko dlje časa zadržujejo v zaprtih prostorih, kjer je intenzivnost škodljivosti dejavnikov okolja praviloma večja kot v zunanjem okolju. Poleg tega se zaradi podaljševanja življenjske dobe podaljšuje tudi izpostavljenost škodljivostim v okolju s tem pa je možnost, da bo prišlo do pojava posledic na zdravju večja.

Škodljivi dejavniki okolja so vzrok za okrog 24% (21-27%) vseh bolezni, merjeno z DALY (disabled adjusted life years) ter 23% (21-25%) vseh smrti (Preglednica 1).

DALY je poseben kazalnik, ki združuje dva kazalnika in sicer: years of life lost (YLL) ter years lived with disability (YLD). Kazalnik je oblikovan tako, da z eno samo vrednostjo kvantitativno opredeljuje tako prezgodnjo smrtnost kot tudi invalidnost, ki sta posledica določene škodljivosti. En DALY je enak izgubi enega leta zdravega življenja. Ta podatek je izjemnega pomenapri ocenjevanju javnozdravstvenega pomena posameznega škodljivega dejavnika ter določevanju priorite v procesu obladovanja posameznih škodljivosti v okolju.

Končni vpliv neustreznega okolja je izredno velik. Vsako leto več 100 milijonov ljudi zboli zaradi bolezni dihalnih poti, ki jih povzroča ali pa njihovo stanje poslabša, notranji ali zunanji zrak. Narašča tudi razširjenost astme med otroki ter razširjenost bolezni, ki so posledica uživanja kemično kontaminirane vode. Vedno več primerov raka ter kongenitalnih anomalij povezujejo z dejavniki okolja. Več 100 milijonov ljudi je izpostavljenih nepotrebnim fizikalnim in kemičnim škodljivim dejavnikom na delovnem mestu in v bivalnem okolju. Pol milijona ljudi umre v prometnih nesrečah. 4 milijone otrok umre vsako leto zaradi diarealnih obolenj, ki so večinoma posledica onesnažene hrane ali pitne vode. Več 100 milijonov ljudi ima težave zaradi okužbe s paraziti. Vsako leto umre 2 milijona ljudi zaradi malarije, 267 milijonov pa jih oboli. 3 milijonov ljudi umre vsako leto zaradi tuberkuloze, 20 milijonov pa je takih, ki letno zbolijo zaradi aktivne tuberkuloze. Več 100 milijonov ljudi trpi zaradi nedohranjenosti.

Azbest

Azbest je eden najbolje opisanih dejavnikov, ki povzročajo raka pri poklicno izpostavljenih osebah. Že od leta 1950 dalje je znano, da lahko vodi vdihavanje azbesta do razvoja raka. Poleg poklicne izpostavljenosti pa je potrebno omeniti tudi možnost razvoja raka, ki je posledica izpostavljenosti azbestu v domačem okolju ali pa je posledica lokalnega onesnaženja. Znano je, da so osebe, ki so živele skupaj z zaposlenimi v pridelavi ali predelavi azbesta zboleli za rakom. Določeno tveganje je povezano tudi z erozijami azbestnih vlaknin oziroma kamnin, ki vsebujejo azbest. Pri osebah, ki so azbestu izpostavljene v domačem okolju, je bilo ugotovljeno povečano tveganje za razvoj mezotelioma ter pljučnega raka, ki so ga pogosteje našli pri tistih osebah ki so tudi kadile.

Človek in okolja skozi čas

Zavedanje o pomenu vpliva človekovega okolja na zdravje ima dolgo zgodovino. Na to je opozarjal že Hipokrates s tezo, da je človekovo zdravje v veliki meri odvisno od okolja oziroma od pogojev v katerih posameznik živi. Do danes se stališče ni spremenilo. Dobro so poznani primeri bolezni, ki so posledica izpostavljenosti škodljivim dejavnikom v okolju kot na primer: določene vrste

rakavih obolenj, nekatere bolezni dihal, bolezni živčevja, motnje imunskega sistema, bolezni kosti in gibal, kožna obolenja ali izguba sluha. Drugačne so le metode s katerimi ugotavljamo prisotnost posameznih dejavnikov v okolju ter kakšen je njihov vpliv na zdravje.

Proučevanje vpliva dejavnikov okolja na zdravje temelji na metodah in pristopih, ki so jih več kot stolethe dolgo razvijali v okviru proučevanja pojavljanja in širjenja nalezljivih bolezni v skupnosti. Orodja, ki so jih razvili v okviru raziskav bioloških agensov v okviru obvladovanja posameznih nalezljivih bolezni so odprle pot tudi proučevanju kemičnih in fizikalnih dejavnikov, ki so prisotni v okolju. Zaradi dejstva, da so običajno prisotni sočasno različni kemični in fizikalni dejavniki pa je do nedvoumnih zaključkov na splošno veliko težje priti, kot pa v primeru bioloških dejavnikov. Velika pozornost je usmerjena tudi k proučevanju dejavnikov, katerih delovanje in vpliv še ni povsem pojasnjen, predvsem pa ni jasno, ali imajo škodljivi vpliv na zdravje in kakšen je. Tako je na primer v sedanjem času eno glavnih področij raziskovanja v epidemiologiji okolja proučevanje vplivov neionizirnega sevanja (EMS) na zdravje izpostavljenih.

Za razliko od preteklosti, ko je bil poseben poudarek namenjen proučevanju posameznih, izoliranih fizikalnih, kemičnih in bioloških dejavnikov okolja ter njihovega vpliva na zdravje, je sodobni pristop drugačen, mnogo bolj širok in celovit. Posamezni elementi človekovega fizičnega okolja so med seboj nerazdružljivo in tesno povezani. Zato imajo spremembe v enem delu fizičnega okolja, neposredne ali pa posredne vplive na spremmbe v drugem delu. Preučevanje njihovega vpliva na zdravje je izredno zapleteno in zahtevno. Večinoma ni dovolj, da poznamo zgolj vrsto in koncentracije posameznih škodljivih snovi v okolju. Upoštevati moramo tudi trajanje oziroma pogostnost izpostavljanja, kot tudi vse različne poti vnosa v telo. Le na ta način lahko določimo celotno količino (dozo) škodljive snovi, ki ji je posameznik izpostavljen. Tak pristop narekuje dejstvo, da so reakcije organizma pri različnih dozah različne. Čim višja je doza, tem težje so posledice na zdravju. Kadar gre za trenutno izpostavljenost visokim koncentracijam škodljive snovi, pride praviloma do takojšnih zdravstvenih okvar. Izpostavljenost visokim koncentracijam je največkrat posledica nezgodnega izpusta škodljivih snovi v okolje ali pa je posledica poklicne izpostavljenosti. Veliko bolj pogosto pa so ljudje izpostavljani nizkim koncentracijam posamezne škodljive snovi. V tem primeru pričakujemo škodljive posledice na zdravju takrat, ko je izpostavljenost tem snovem dolgotrajna, lahko tudi več desetletij. Pri posamezniku je izredno težko ugotoviti, v kolikšni meri je, zaradi dolgotrajne izpostavljenosti določenim škodljivim snovem, prizadeto zdravje. Preveč je drugih dejavnikov, ki sočasno vplivajo na zdravje. Včasih si zato pomagamo s preučevanjem vplivov na bolj občutljivo ali bolj izpostavljeno skupino prebivalstva. Toda tudi v tem primeru je potrebna ustrezna previdnost pri oblikovanju končne ocene zdravstvene škodljivosti.

Področje raziskav vplivov oklja na zdravje je izjemno široko. Po desetletjih, ko je bila največja pozornost namenjena poroučevanju značilnosti pojavljanja posameznih bolezni, ki so posledica škodljivega delovanja dejavnikov okolja, je

sedaj, poleg pročevanja pojavljanja fizioloških sprememb in nespecifičnih posledic delovanja dejavnikov v okolju, v ospredju pručevanje problematike izpostavljenosti škodljivim dejavnikom. Preusmeritev področja raziskovanja od proučevanja bolezni k proučevanju pojavljanja nespecifičnih posledic na zdravju ter izpostavljenosti dejavnikom okolja je posledica:

- spremenjene izpostavljenosti škodljivim dejavnikom,
- večvzročnosti (multikavzalnosti),
- razvoja znanosti in tehnologij,
- izboljšane informiranosti in ozaveščenosti.

1. Spr**emenjena izpostavljenost škodljivim dejavnikom**. Industrijska proizvodnja je pomemben vir onesnaževanja okolja in predstavlja vir škodljivosti tako za zaposlene, torej na delovnem mestu, kot tudi za splošno prebivalstvo, ki živi v območju vpliva industrijskega objekta. V razvitem svetu število težkih obolenj, ki so povezana z okoljem, stalno upada. Ob napredni tehnologiji in povečani skrbi za zdravje, se je namreč raven izpostavljenosti škodljivim dejavnikom za večino prebivalstva zmanjšala. Značilno za današnji čas je, da so ljudje izpostavljeni velikemu številu različnih škodljivih dejavnikov, vendar so doze običajno nizke.

2. **Multikavzalnost.** V sedanjem času je v razvitih državah značilno stalno naraščanje kroničnih degenerativnih bolezni (rak, pljučni emfizem, srčno-žilne bolezni). Etiološko je v primeru teh bolezni pomembnih več različnih dejavnikov okolja, poleg tega pa se posamezni škodljivi dejavniki okolja pojavljajo kot etiološki dejavnik pri različnih boleznih (azbest, nasičene maščobe v prehrani).

3. **Razvoj znanosti in tehnologij.** Sodobne metode za ugotavljanje prisotnosti škodljivih snovi ter njihove koncentracije v posameznih elementih okolja so vedno bolj natančne in zanesljive. Občutljivost metod se je v posameznih primerih povečala tudi za nekaj redov velikosti. Zelo pomemben je razvoj toksikologije, ki uspeva z uporabo sodobnih pristopov in tehnik dokaj zanesljivo ugotavljati toksikološke značilnosti posameznih snovi. Te informacije s pridom uporabimo v okviru uvajanja ukrepov za zmanjševanje izpostavljenosti ljudi in varovanje njihovega zdravja.

4. **Izboljšana informiranost in ozaveščenost.** Strokovnjaki, različne javnosti ter nosilci odločitev v zvezi z zdravjem, so dobro informirani in zelo ozaveščeni glede potencialnih nevarnosti, ki bi jih lahko imela izpostavljenost številnim novim in malo poznanim škodljivim dejavnikom okolja. Interes za proučevanja vpliva teh dejavnikov okolja stalno narašča, kar je povezano tudi z dejstvom, da se nekatere bolezni bolj pogosto

pojavljajo na določenem območju, to pa vzbuja vprašanja o lokalni izpostavljenosti škodljivostim iz okolja. Povečan interes za proučevanje dejavnikov okolja pogujuje tudi zavedanje, da ima lahko dolgotrajna izpostavljenost nizkim dozam škodljivih dejavnikov pomemben vpliv na zdravje prebivalstva.

Definicija za okolje je podobno široka kot za zdravje. Zadnja je iz leta 1985. Pravi: Okolje je vse kar obdaja človeka. Razdelimo ga lahko na fizikalno, biološko, socialno, kulturno, itd. od katerih vsako lahko vpliva na zdravstveno stanje prebivalstva.

Nekoliko ožje področje označujemo z pojmom ekosistem. Izraz ekosistem so pričeli uporabljati v 30 letih tega stoletja. Definiramo ga lahko kot sistem dinamičnih, odvisnih povezav med živimi organizmi in njihovim okoljem. Ekosistem smatramo kot neskončno entiteto, ki je razvila mehanizme samo regulacije. V stabilnem ekosistemu ena vrsta ne uničuje druge. Ekosistemi, v katerih prevladuje stabilnost in ravnotežje so v največji meri sposobni preživeti. Jasno je, da ekosistem ne omogoča posamezni vrsti znatnega povečevanja ne da bi bile prizadete druge vrste, to pa lahko vodi do okvare produktivnosti in biološkega potenciala celotnega ekosistema. Sposobnost ekosistema, da sprejme odpadke ter obnovi zemljine ali in očisti vodo ni brezmejna. Pri določeni točki so lahko obremenitve večje kot pa sposobnost sistema, da se prilagodi in škodljivosti eliminira. Sodobna ekologija predpostavlja,da je potrebno upoštevati negotovost, celovitost in sposobnost prilagajanja ekosistema.

Tako kot je koncept homeostaze (sposobnost telesa, da na koordiniran način zagotovi stalnost notranjih pogojev) dobro poznan pri človeku, je sedaj znano, da obstajajo podobni mehanizmi v celotnem ekosistemu, kjer zapleteni mehanizmi koordinirajo opravljanje motenj v sistemu.

Človekova sposobnost prilagajanja

Človeštvo je, tako kot ostala živa bitja, odvisno od okolja, ki vpliva na njihovo zdravje. Zdravje posameznika je ogroženo, če nima zadostnih količin primerne hrane, vode ali če njegovo bivalno okolje ni ustrezno. Vzrok temu je lahko pomanjkanje ali pa neustrezna razporeditev sredstev, potrebnih za življenje. Kadar so ljudje izpostavljeni mikroorganizmom, toksičnim snovem, povišani stopnji sevanja, drugim nevarnostim, ki so povezane z bivalnim ali delovnim okoljem, ali če jih ogroža vojaška sila, takrat je zdravje ogroženo. Vendar pa ima človek, v primerjavi z ostalimi živimi bitji, izredno sposobnost prilagajanja in tudi spreminjanja okolja tako, da bolj ustreza njegovim potrebam. Tako je človek sposoben proizvajati hrano, zaščiti se pred neugodnimi vremenskimi vplivi, skupaj z drugimi pa je sposoben obvarovati se pred sovražniki in drugimi neugodnimi pogoji okolja. Ljudje so razvili določene navade (etika, kultura) ter vzpostavili strukture (mesta, ceste, jezovi..) ki jim omogočajo, da bolje obvladajo in prilagajajo naravne zakonitosti svojim potrebam.

Socialno ekonomski dejavniki neposredno vplivajo na to, kako se resursi porabljajo. Ali bo posameznik lačen, primerno ali pa prekomerno prehranjen ni odvisno le od virov, ki so na voljo, temveč je odvisno od socialno ekonomskih dejavnikov, ki vplivajo na odločitev, kako bo na primer kmetijstvo izkoristilo naravne danosti in koliko ljudi bo mogoče nahraniti. Odvisno je tudi od vremenskih pogojev ter seveda od tega ali je hrana na voljo, kadar jo prebivalstvo potrebuje in kakšne so prehrambene navade. V zadnjih desetletjih so zaradi potrošniške naravnanosti in onesnaževanja okolja naravni resursi močno ogroženi. Naraščanje prebivalstva terja dodatno izkoriščanje naravnih virov, s tem pa je uravnotežen razvoj zelo ogrožen. Medsebojni vpliv človeka in okolja je v veliki meri odvisen in se spreminja zaradi socialnega okolja.

Biološki, kemični in fizikalni dejavniki v človekovem okolju - v zraku, vodi, hrani- pomembno prispevajo k prezgodnji smrti več milijonov ljudi. Več sto milijonov ljudi pa zaradi teh dejavnikov okolja letno zboli. Da bi ljudje ostali zdravi, morajo biti sposobni spreminjati dejavnike okolja, ki ogrožajo zdravje in dobro počutje, ali pa se vsaj prilagoditi na nove razmere. Zelo pomembno je, da spoznajo, katere spremembe so potrebne, da bi izboljšali nivo zdravja.

Res je kar nekaj takih aktivnosti, ki jih izvajajo posamezniki v lastnem okolju ter na ta način dosežejo bolj primerno okolje. Večinoma pa na dejavnike okolja, ki vplivajo na zdravje, nimajo bistvenega vpliva. Na primer:

- industrijsko onesnaževanje,
- neustrezna preskrba s pitno vodo ter neustrezno ravnanje z odpadnimi vodami,
- neustrezni bivalni pogoji ter slabo načrtovanje mesta,
- neustrezne možnosti za proizvodnjo hrane,
- slaba kvaliteta cest,
- neustrezna kvaliteta zraka,
- neustrezni ergonomski pogoji na delovnem mestu.

Danes imamo sicer dovolj znanja in poznamo sredstva, kako preprečiti bolezni, vendar so možnosti po svetu zelo neenake. Ne samo med državami, tudi znotraj posameznih držav so možnosti za dosego ustreznega nivoja zdravja različne. V razvitejših družbah iščejo poti, kako izboljšati možnosti za dosego zdravja. Največ je narejenega na področju promocije zdravega načina življenja in obnašanja. Velik napredek v zdravju prebivalstva je povezan z ukrepi za zmanjševanje onesnaženosti zraka, za čiščenje odpadnih voda, zmanjševanje nevarnosti nesreč v prometu, promocijo nekajenja in izboljšanja prehrambenih navad. V deželah v razvoju je največji poudarek namenjen zagotavljanju zdrave pitne vod, skrbi za zdravje mater in otrok ter ukrepom za zmanjšanje nalezljivih bolezni.

Koncept uravnoteženega razvoja

Onesnaževanje okolja ni nov problem. Že v pradavnih časih so bila območja, kjer je človek bival in delal onesnažena. Vendar pa so bile proizvodne enote glede na naša

današnja merila, zelo majhne. Šlo je večinoma za individualno proizvodnjo na nivoju obrti in rokodelstva. Zaradi tega je bilo tudi onesnaževanje okolja zelo ozko omejeno. Drugače je bilo z onesnaževanjem okolja, ki je bilo posledica človekovega bivanja na določenem območju. To je predstavljalo veliko večji problem in je bil to tudi eden najpomembnejših omejitvenih dejavnikov pri širjenju naselij. Največji problem so predstavljali predvsem komunalni odpadki in fekalije. Drugače je bilo seveda takrat, kadar je bilo naselje zgrajeno v bližini reke. Reke so takrat pomenile eno najpomembnejših transportnih poti, hkrati pa so bile primeren sprejemnik za odpadke. Onesnaževanje zraka ni imelo širših posledic, saj je bila proizvodnja energije skromna, predvsem za ogrevanje in kuhanje, dimnikov pa praktično niso imeli. Izpostavljenost delavcev škodljivostim na delovnem mestu pa je bila izredno velika. Delali so s primitivnimi proizvodnimi sredstvi in niso uporabljali nobene zaščite, saj večinoma tudi niso poznali škodljivosti, ki so jim bili izpostavljeni.

O pravem industrijskem onesnaževanju torej lahko govorimo šele v zgodnjem devetnajstem stoletju, ko je pričela industrijska revolucija. Uporaba novih tehnologij je vodila do izrednega porasta produktivnosti, ob enem pa je prišlo do takega onesnaževanja okolja, kot še nikoli prej. Večinoma je bilo onesnaževanje posledica pridobivanja energije za proizvodnjo železa in jekla. Prišlo je do povečane onesnaženosti okolja tako na mestu proizvodnje, kot tudi na bolj oddaljenih krajih. Ti problemi so bili zlasti izraženi v Angliji, ki je bila pionir na področju industrializacije. Kmalu pa se je z industrializacijo problem onesnaženja razširil tudi na druga evropska mesta in v severno Ameriko, pa tudi na nekatera kolonizirana območja. Čeprav je bila onesnaženost okolja velik problem, pa ni bila v prvi prioriteti pri razreševanju problemov.

Človekovo zdravje je odvisno od sposobnosti družbe, da uravnava interakcije med človekovimi aktivnostmi in fizikalnim ter biološkim okoljem. Družbena skupnost prevzema vlogo varnostnika in pospešuje zdravje prebivalstva, ob tem pa ne sme prizadeti naravnih sistemov, od katerih je odvisno fizično in biološko okolje. Fizikalno in biološko okolje vključuje vse, od neposrednega bivalnega okolja do delovnega in širšega državnega, oziroma globalnega okolja. Vključuje skrb za stabilne klimatske pogoje in zagotavljanje potrebnih-varnih elementov okolja (voda, zrak, zemlja). Vključuje tudi neprekinjeno delovanje naravnih sistemov, ki sprejemajo odpadke, ki jih proizvaja človek ne da bi bili ljudje ob tem izpostavljeni patogenim mikroorganizmom in toksičnim snovem ter tako, da ne bodo ogrožene bodoče generacije. Ti koncepti so temelj ideje o uravnoteženem razvoju. Ta ideja se je uveljavila v zadnjih dveh desetletjih dvajsetega stoletja, čeprav je že sto let pred tem obveljalo stališče, da je človek del naravnega okolja in kar naredi v naravnem okolju, naredi v resnici sebi.

Koncept uravnoteženega razvoja poudarja potrebo po takem ekonomskem razvoju, ki ne bo toliko prizadel okolja, da bi bile zaradi tega ogrožene možnosti bodočih generacij. Definicija uravnoteženega razvoja pravi, da je to tak razvoj, ki zadovoljuje potrebe sedanje generacije in ne ogroža možnosti bodočih generacij, da bi uresničile njihove potrebe. Razvoj, ki naj bi omogočil izkoriščanje vseh človeških potencialov terja tako ustrezno ekonomsko osnovo kot primerno okolje. Ekonomski razvoj

mora biti tak, da je mogoče varovati okolje. Ne sme uničevati človeškega in socialnega kapitala ali drugih sredstev sodobne družbe. Prednosti ekonomskega udejstvovanja morajo biti enakomerno porazdeljene tako med narodi, družbenimi skupnostmi, kot tudi med lokalnimi skupnostmi. Enakost je namreč pomemben del uravnoteženega razvoja.

Pri razumni uporabi sodobnega znanja nam uravnotežen razvoj lahko pomaga k temu, da ima vsak posameznik možnost uporabe resursov okolja, ki so potrebni za izpolnitev njihovih pravic. To je pomembno doseči z neprestano obvezo za izboljševanje razumevanja povezav med okoljem in zdravjem, ne da bi ob tem presegli sposobnosti ekosistema, da absorbira škodljivosti. Uravnotežen razvoj mora biti torej usmerjen tako, da se ne bo zgodilo, da bi stroški sanacije okolja postali bodočim generacijam.

PROUČEVANJA VPLIVA OKOLJA NA LJUDI- OKOLJSKA EPIDEMIOLOGIJA

OKOLJSKA EPIDEMIOLOGIJA

Okoljska epidemiologija je opredeljena kot proučevanje učinkov na zdravje populacij zaradi izpostavljenosti fizikalnim, kemičnim in biološkim dejavnikom izven človekovega telesa ter zaradi sedanjih ali preteklih socialnih, ekonomskih in kulturnih dejavnikov (na primer urbanizacija, kmetijski razvoj, proizvodnja/poraba energije), povezanih s temi fizikalnimi, kemičnimi in biološkimi dejavniki.

Okoljsko epidemiologijo lahko razumemo v njenem širšem ali ožjem pomenu. V ožjem pomenu gre za epidemiološko vejo, ki se ukvarja s povezanostjo zdravstvenih pojavov pri ljudeh z okoljem v smislu zunanjega naravnega okolja. V širšem smislu pa v okoljsko epidemiologijo lahko umestimo tudi veje epidemiologije, ki jih imamo sicer za posebne veje epidemiologije:

- epidemiologija delovnega okolja oziroma epidemiologija poklicnih bolezni (occupational epidemiology) – ukvarja se s proučevanjem zdravstvenih pojavov v povezavi s škodljivimi dejavniki, prisotnimi v delovnem okolju;
- epidemiologija šolskega okolja – ukvarja se s proučevanjem zdravstvenih pojavov v povezavi s škodljivimi dejavniki, prisotnimi v šolskem okolju otrok (delovnem okolju otrok);
- epidemiologija grajenega okolja (built-environment epidemiology) – izraz »grajeno okolje« se nanaša na okolja, ki so nastala s pomočjo človeške roke, da bi zagotovila okolje za bivanje ljudi ali njihove dejavnosti (hiše, vasi, mesta, itd). Ta veja okoljske epidemiologije se ukvarja s proučevanjem zdravstvenih pojavov v povezavi s škodljivimi dejavniki, prisotnimi znotraj in zunaj zgradb;

Zgodovinski razvoj okoljske epidemiologije

V preteklosti se je izraz »okoljska epidemiologija« uporabljal za skupek konvencionalnih epidemioloških tehnik za postavljanje hipotez, proučevanje in interpretacijo povezanosti med boleznimi in dejavniki za njihov nastanek in razvoj, ki jih najdemo v naravnem okolju. V sedanjem času se ta izraz razume mnogo širše. Razume se kot širši pristop, ki je v prvi vrsti usmerjen na okoliščine izpostavitve in kot odvisne spremenljivke obravnava vse možne učinke na zdravje, ki jih povzročajo

učinkovine v okolju zaradi izpostavljenosti populacij. Razlogov za premik od »v bolezen usmerjene« k »v izpostavljenost usmerjene« okoljske epidemiologije je več.

- Prvi razlog je, da so predvsem v razvitih deželah postale kronične degenerativne bolezni kot so rak in bolezni srca in žilja najpogostejša obolenja. Vzroki za te bolezni so različni in nemalokrat številni, kar pomeni, da nobenega specifičnega škodljivega dejavnika ne moremo obravnavati kot nujen vzrok. To velja tudi za tiste degenerativne bolezni, katerih etiologijo povezujemo tudi z delovanjem dejavnikom iz naravnega okolja (na primer pljučni emfizem). Da je slika še bolj zapletena, so številni okoljski dejavniki (na primer azbest itd.) vzročno povezani z več kot eno boleznijo.
- Drugi razlog je, da je večina okoljsko povzročenih bolezenskih pojavov povezanih z odmerkom učinkovine. Za določeno nevarnost lahko obstaja izpostavljenost, ki je dovolj nizka ali dovolj kratka, da ne pomeni tveganja za akutno bolezen, lahkopa se posledice razvijejo kadar je izpostavljenost kronična. Postalo je tudi očitno, da so škodljivi učinki pogosto rezultat interakcije med različnimi nevarnostmi (seštevek učinkov, sinergistično delovanje, antagonistično delovanje itd.). Pri enaki izpostavljenosti določeni nevarnosti je tveganje lahko različno glede na prisotnost ali odsotnost neke druge nevarnosti.
- Tretji razlog je, da se analitske tehnike za merjenje onesnaževal v okolju uporabljajo vse pogosteje, njihova občutljivost pa se je z razvojem tehnologije izboljšala za več razredov. Posledica tega je velik porast podatkov o nevarnostih v okolju, za katere je potrebno narediti ocene tveganja.
- Četrti razlog je, da so vodilni strokovnjaki in znanstveniki na področju javnega zdravja ter javnost vse bolj zaskrbljeni glede števila onesnaževal v okolju, katerih potencialni škodljivi učinki niso poznani ali jih slabo razumemo.

Pomen okoljske epidemiologije

Zdravstvene posledice izpostavljenosti prahu mineralov, ionizirajočemu sevanju, svincu in številnim drugim snovem v okolju so bile odkrite in ovrednotene predvsem z epidemiološkimi raziskavami. Široko področje dela je gotovo razlog, da znanstvene in politične srenje vse pogosteje iščejo odgovore na zdravstvene probleme ljudi v okoljski epidemiologiji.

Večino bolezni ali povzročajo ali nanje vplivajo okoljski dejavniki. Okoljska epidemiologija je razvila orodja za identifikacijo in merjenje vpliva okoljskih dejavnikov na zdravje ljudi v skupnosti. Poznavanje in razumevanje načinov vpliva okoljskih dejavnikov na zdravje je torej ključnega pomena za razvoj preventivnih programov in ukrepov.

Ker okoljska epidemiologija obravnava resnične izpostavljenosti v resničnih populacijah v pogojih resničnega življenja, ima lahko še posebej veliko vrednost pri razkrivanju vzrokov bolezni ljudi. Okoljska epidemiologija torej omogoča znanstveno osnovo za trdne okoljske in zdravstvene politike in javnozdravstvene ukrepe.

Okoljska epidemiologija pridobiva z leti vse večji pomen, saj se zaskrbljenost ljudi, da onesnaževala v našem okolju lahko močno škodijo našemu zdravju, vedno bolj krepi. Z delovanjem škodljivih dejavnikov iz naravnega okolja so povezane številne zelo resne bolezni.

Namen in cilji okoljske epidemiologije

Okoljska epidemiologija si s proučevanjem populacij v različnih okoliščinah izpostavljenosti prizadeva razjasniti odnose med učinkovinami in/ali dejavniki v naravnem okolju ljudi in njihovim zdravjem. To je njen poglavitni namen.

Cilji, ki si jih pri doseganju tega namena zastavlja okoljska epidemiologija, so številni, poglavitna pa sta dva. Prvi poglavitni cilj je, da v populaciji, ki je izpostavljena okoljskim onesnaževalom, oceni dodano tveganje teh onesnaževal, pa čeprav je le-to lahko le potencialno. Še posebej je to pomembno pri novih, še ne (dovolj) poznanih nevarnostih iz okolja. Identifikacija nepoznanih nevarnosti zaradi zunanjih izpostavitev je tako še vedno v središču okoljske epidemiologije. Drugi poglavitni cilj je identificirati vire onesnaženja in odgovornih za onesnaženje. Na ta način je ukrepanje veliko bolj učinkovito.

Področja delovanja okoljske epidemiologije

Glavna področja delovanja okoljske epidemiologije so:

- identifikacija prej nepoznanih okoljskih izpostavljenosti učinkovinam, ki so dokazano nevarne in, če je potrebno, 'a posteriori' vrednotenje tveganj, ki so jim sledila (absolutnih, relativnih ali pripisljivih);
- ocena individualnih izpostavljenosti okoljskim nevarnostim in ocena tveganja;
- uvajanje nadzornih in preventivnih ukrepov ter ocena učinkovitosti teh ukrepov.

Vedno bolj pomembno področje delovanja okoljske epidemiologije pa je tudi pravilno obveščanje ljudi o okoljskih tveganjih (risk communication). Skoraj vsak dan poročajo o novih okoljsko-zdravstvenih tveganjih. Problem pri tem je, da nas

informacije, ki jih posredujejo najpogosteje različni mediji, pogosto zmedejo in so si nasprotujoče zaradi negotovosti in vrzeli v podatkih in v poznavanju problematike.

Značilnosti raziskovanja v okoljski epidemiologiji

Z raziskavami na področju okoljske epidemiologije proučujemo povezanost med okoljem in zdravjem, pri čemer je namen oceniti odnos med pogostnostjo bolezni in ravnjo izpostavitve določeni učinkovini. Uporabljamo lahko različne vrste raziskav na različnih ravneh. Pri tem niso vsi tipi raziskav uporabni v vseh primerih - niso alternativne možnosti, med katerimi bi bilo mogoče prosto izbirati v katerikoli situaciji. Izbira tipa raziskave je odvisna predvsem od vprašanja, ki si ga postavljamo (cilj raziskave) ter od omejitev, kot so:

- pogostost pojava, ki ga proučujemo,
- časovno obdobje, v katerem je potrebno pridobiti vsaj približne odgovore,
- dostopnost proučevane populacije,
- razpoložljiva sredstva ter
- etične zahteve.

Umetnost dobrega načrta raziskave v okoljski epidemiologiji je najti kompromis med idealnim in možnim na način, ki bo pripeljal do najbolj uporabnih podatkov in nato rezultatov raziskav v okviru danih možnosti. Raziskovanje v okoljski epidemiologiji spremljajo namreč veliki problemi.

Problemi raziskovanja v okoljski epidemiologiji

Raziskovanje povezanosti med zdravstvenimi pojavi in škodljivimi dejavniki iz okolja ni enostavno delo. Raziskovalci na področju okoljskega zdravja se pri svojem delu soočajo s problemi, ki so skoraj izključno lastni tej veji epidemiologije. Med njimi so naslednji:

- ljudje nismo naenkrat izpostavljeni delovanju le enega posameznega škodljivega dejavnika iz okolja na naše zdravje, temveč delovanju številnih dejavnikov iz kompleksih mešanic škodljivih učinkovin,
- dodatna ovira je, da so te učinkovine zelo pogosto prisotne v nizkih koncentracijah,
- zelo pogosto se te koncentracije med posamezniki znotraj opazovanega območja bistveno ne razlikujejo, zaradi česar je potrebno raziskovanje z individualne ravni prestaviti na populacijsko raven,
- zelo pogosto nimamo na voljo podatkov o dejanskih vrednostih koncentracij onesnaževal v okolju, zato jih je potrebno ocenjevati s pomočjo matematičnega modeliranja;

- vrednosti mer, s katerimi ocenjujemo moč povezanosti med dvema (ali več) pojavoma (na primer relativno tveganje), so pogosto nizke (pod 1,5),
- zdravstveni problemi, ki jih povezujemo z onesnaženostjo okolja, nastanejo ponavadi kot posledica dolgotrajnega delovanja škodljivih učinkovin, pogosto tudi ne neposrednega delovanja teh učinkovin,
- pri tem je poleg lokalne onesnaženosti lahko prisotna tudi globalna onesnaženost (dokazan je prenos onesnaževal kot je na primer ozon v kraje, ki so lahko od vira onesnaženja oddaljeni tudi stotine kilometrov),
- izpostavljenost je bila lahko tudi kratkotrajna, a se je lahko zgodila daleč v preteklosti. Nekatere bolezni, ki nastanejo kot posledica delovanja škodljivih dejavnikov iz okolja, imajo zelo dolgo predklinično (latentno) fazo bolezni (na primer različne vrste rakavih bolezni),
- bolezni, ki jih opazujemo kot morebitno posledico delovanja škodljivih učinkovin iz okolja, imajo poleg okoljskih determinant prisotne še druge, pogosto močnejše determinante (če bi na primer želeli opazovati povezanost med pljučnim rakom in onesnaženostjo zraka na nekem območju, bi kajenje bila enan od takšnih močnih determinant). Pri opredeljevanju povezanosti, ki jo raziskujemo to pomeni velik problem,
- pri merjenju izpostavljenosti lahko pride do napak, kar lahko vodi v pristrane zaključke,
- okoljska epidemiologija je zelo pomembna veda v proučevanju povezanosti med zdravstvenimi stanji in okoljskimi dejavniki, kljub temu pa obstajata vsaj dva razloga, da ni realistično pričakovati, da bi z epidemiološkimi metodami bilo mogoče prepoznati več kot le omejeno število škodljivih vplivov na zdravje, ki jih povzročajo okoljske učinkovine. Prvič, število okoljskih učinkovin, ki bi jih morali proučevati, je enormno, in drugič, čakanje, da se učinki dejavnikov z dolgo latentno dobo dejansko razvijejo, preden bi začeli izvajati preventivne ukrepe, bi bilo neetično.

Posebnosti raziskav v okoljski epidemiologiji

Raziskave v okoljski epidemiologiji imajo nekaj posebnosti, ki jih ne zasledimo v večini drugih vej epidemiologije. Dve najpomembnejši posebnosti sta geografska dimenzija razsikav in matematično modeliranje z namenom kvantifikacije izpostavljenosti.

Geografska dimenzija raziskav v okoljski epidemiologiji.

Prva posebnost izhaja iz tega, da je v okoljski epidemiologiji eden od poglavitnih ciljev identificirati vire onesnaženja. Onesnaženost zraka, vode in zemlje je načeloma povezana z viri onesnaževanja, ki imajo natančno določeno geografsko lego. Vrisovanje ravni okoljskih izpostavljenosti v zemljevide oziroma kartiranje (mapping) je zelo uporabno orodje v okoljski epidemiologiji. Poleg okoljskih izpostavljenosti vrisujemo v zemljevide tudi različne vidike zdravstvenega stanje ljudi, ki živijo na opazovanem območju. Temu postopku pravimo tudi geografska analiza ali GIS (od Geographical Information System) analiza.

Orodje GIS, kakršnega poznamo danes, uporabljajo že vrsto let pri prostorskem načrtovanju, določanju zavarovanih območij in v telekomunikacijskih raziskava. Tehnologija GIS ni namenjena le prikazu prostorskih informacij, ampak podpira tudi številne analitične funkcije, kot so na primer mrežne analize (ang. network analysis), kreiranje obrisov okoli objektov (ang. buffering) in geo-kodiranje (ang. geo-coding), ki so uporabne tudi pri proučevanju vplivov dejavnikov iz naravnega okolja na zdravje ljudi.

Modeliranje okoljske izpostavljenosti.

Kartiranje ravni okoljskih izpostavljenosti je povezano s problemi razpoložljivosti relevantnih podatkov o teh izpostavljenostih. Pri meritvah onesnaženosti zraka na primer raven izpostavljenosti merijo posebne merilne naprave, ki so ponavadi postavljene v bivalnem okolju ljudi in s tem merijo imisijske vrednosti. Prvi problem s temi meritvami je, da merilne naparave zaradi visokih stroškov niso postavljene povsod, kjer bi to bilo potrebno, ali pa niso postavljene stalno (mobilne merilne naprave) in torej ne izmerijo morda zelo kritičnih situacij (npr. izpad filtrske naprave na viru onesnaževanja). V zadnjih dveh desetletjih si zato vedno pogosteje pomagamo z modeliranjem onesnaženosti okolja z različnimi matematičnimi modeli.

Okoljsko modeliranje je uporaba računalniških matematičnih programov za določitev onesnaženosti na določenem območju, ki ga proučujemo. Tako lahko onesnaženost določimo na poljubnih mestih (t.i. receptorjih), ne da bi imeli tam merilne postaje. Okoljski modeli nam omogočajo opis trenutnega stanja onesnaženosti, trendov spreminjanja in stanja v prihodnosti. Modeli tako predstavljajo cenovno ugoden in učinkovit način analize vplivov ekoloških in meteoroloških parametrov na stanje onesnaženosti na določenem območju. Spremenljivke, ki jih vnašamo v matematični model, morajo biti skrbno izbrane in dejansko pomembne za izračun in se razlikujejo od modela do modela. Modeliranje v okolju je metoda opazovanja in ustvarjanja uporabnih opisov določenega procesa, pojava. Orodja za modeliranje so postala pomembna osnova za presoje vplivov na okolje in imajo pomembno vlogo pri zagotavljanju podatkov in kazalcev, ki so potrebni za opis stanja, trendov razvoja in obetov za prihodnost okolja. Poudarek je na napovedovanju podnebnih, ekoloških, zemeljskih sprememb in oceanskih sistemov in s tem povezanega tveganja za zdravje.

Tako kot vsako modeliranje ima tudi koljsko modeliranje svoje prednosti in slabosti. Med prednostmi lahko naštejemo :

- za določitev onesnaženosti na številnih poljubnih mestih ni potrebno imeti ogromnega števila merilnih postaj,
- z njimi lahko do neke mere nadomestimo pomanjkanje podatkov, ko meritve niso možne,
- omogoča vpogled v stanje onesnaženosti v prihodnosti, razvijanje strategij zmanjševanja onesnaženosti in varovanja zdravja ljudi,
- omogoča napoved dinamike sprememb v okolju.

Slabosti pa so naslednje:

- potrebna je izbira pravilnih spremenljivk, ki dejansko vplivajo na onesnaženost, če hočemo dobiti relevantne rezultate. Do najboljših rezultatov modeliranja bi prišli z modeliranjem meritev koncentracij onesnaževal na viru onesnaževanja (točkovnem ali linijskem z opoštevanjem difuznih virov), torej z merjenjem emisijskih vrednosti, vendar pa do teh vrednosti običajno ni lahko priti, vzroki pa so zaupnost podatkov, cena in težja primerljivost z drugimi meritvami (drugačne merilne tehnike, drugi parametri, drugačno vzorčenje itd.),
- trenutne napovedi vpliva onesnaževal na klimo, kvaliteto zraka in ekosisteme so nezanesljive, ker vseh spremenljivk še ne znamo natančno parameterizirati (npr. obstajajo negotovosti v zvezi z transportom in transformacijo aerosolov ter indirektnim vplivom aerosolov na tvorbo oblakov) in posledično ne znamo jasno razlikovati med naravno variabilnostjo (vpliv vulkanov, sončnega sevanja) in spremembami, ki jih povzroča človek (izpusti toplogrednih plinov, aerosoli),
- potrebna je natančna obdelava podatkov, ustrezna računalniška podpora, dobri strokovnjaki in dobra organizacija tistih ustanov, ki zbirajo podatke o spremenljivkah.

Razvoj kompleksnih modelov kakovosti zraka se je pričel v poznih sedemdesetih letih. Prvi modeli so predvsem temeljili na modeliranju zraka v urbanih okoljih na lokalni ravni, pozneje so le-ti razširili na regionalno, nacionalno in globalno raven. Za oceno onesnaženosti zraka z emisijami SO_2 iz prometa se najpogosteje uporablja CMAQ - Community Multiscale Air Quality model, za oceno kakovosti zraka v Evropi pa raziskovalci najpogosteje uporabljajo CHIMERE - Chemistry-Transport model. Pogosto se uporablja tudi HERMES - High-Elective Resolution Modelling Emission System model, ki vključuje poleg meteoroloških in ekoloških parametrov tudi podatke o antropogenih in biogenih virih onesnaževanja zraka. V Sloveniji smo simulirali geografsko območje rabe energije in onesnaženost zraka z WRF-chem -

Weather Research and Forecasting modelom, na Agenciji Republike Slovenije za okolje pa so pri izdelavi ocene onesnaženosti zraka z SO_2, NO_2, prašnimi delci, CO in benzenom uporabili dva disperzijska modela, in sicer ADMS - Atmospheric Dispersion Modelling System in Screen - Single source Gaussian plume model.

Pregled značilnosti raziskav v okoljski epidemiologiji

Raziskave v okoljski epidemiologiji lahko, tako kot v epidemiologiji na splošno, delimo glede na številne značilnosti na:

- glede na raven raziskovanja na raziskave na populacijski ravni, ravni posameznika in molekularni ravni;
- glede na to, ali gre za poskuse ali opazovanja, na opazovalne raziskave in poskuse;
- glede na to, ali pojave samo opisujemo, ali jih tudi analiziramo, na opisne (deskriptivne) in analitične raziskave.

Raziskave na populacijski ravni, ravni posameznika in molekularni ravni

Okoljska epidemiologija je v osnovi veda, ki se ukvarja z analizo povezanosti med zdravstvenimi pojavi in okoljskimi dejavniki tveganja za njihov nastanek in razvoj na populacijski ravni. Vendar pa so problemi, ki smo jih našteli prej in še številni drugi, usmerili raziskovanje tudi na druge ravni. To ni nekaj posebnega ali lastnega samo okoljski epidemiologiji. Lastno je vsem vedam, ki se ukvarjajo z analiziranjem človeka in njegovega zdravja, umeščenega v različna okolja. Ravni raziskovanja v okoljski epidemiologiji so makro raven (populacijska raven oziroma raven skupin ljudi), mezzo raven (raven posameznika) in mikro raven (molekularna raven):

Makro raven

Raven proučevanja vzrokov za zdravstvene pojave na ravni populacij lahko označimo kot makro-raven. Populacija je dinamična tvorba, ki jo sestavljajo posamezni ljudje. Pri tem se te tvorbe obnašajo kot bolj ali manj enoten »organizem« (odvisno od variabilnosti pojava na ravni posameznika). Enota opazovanje je populacija, proučujemo pa porazdelitev zdravja med različnimi populacijami (na primer primerjamo zdravje ljudi z onesnaženega območja z zdravjem ljudi z neonesnaženega). Raziskave te ravni imenujemo z enotnim imenom tudi »ekološke raziskave«.

Proučevanje zdravja na tej ravni je pomembno, pa čeprav ga spremljajo številne kritike, ki so povezane predvsem s prenosom rezultatov s populacijske ravni na raven posameznika. Raziskave na populacijski ravni so v marsikaterem pogledu v medicini zapostavljene in veljajo kot primerne le za raziskave za postavljanje hipotez. Eden njihovih največjih problemov je t.im. »ekološka zmota« (ecologic fallacy). Ekološka zmota, ki jo poznamo tudi pod imenoma »pristranost združevanja (agregiranja)« in »ekološka pristranost«, je pristranost, do katere pride če zmotno predpostavljamo, da je statistična povezanost med dvema spremenljivkama populacijske ravni enaka

povezanosti med ustreznima spremenljivkama individualne ravni. V ekstremnih primerih lahko povezanost na eni ravni popolnoma izgine na drugi ravni, ali pa je celo obrnjena. Zavedati se moramo, da samo to, če je pogostnost bolezni večja na območjih s pogostejšo izpostavljenostjo, še ne pomeni, da imajo izpostavljeni posamezniki večje tveganje za bolezen kot posamezniki, ki niso izpostavljeni. Osnovni problem ekološke zmote je, da nobena populacijska skupina ni popolnoma homogena glede na izpostavljenost. Če bi vsako opazovano območje sestavljali samo prebivalci, ki bi bili izpostavljeni ali samo prebivalci, ki ne bi bili izpostavljeni, potem ekološka zmota sploh ne bi obstajala.

Mezzo raven.

Ne glede na to, da je populacija sestavljena iz posameznikov, pa se determinante zdravja na populacijski ravni razlikujejo od determinant na ravni posameznika, zato je potrebno pojave proučevati tudi na tej ravni. V raziskovanju na tej ravni uporabljamo kohortne raziskave, raziskave primerov s kontrolami, pa tudi presečne pregledne raziskave. Raziskave te ravni so bistveno številčnejše kot raziskave drugih dveh ravni, saj je prav ta raven tista, na kateri se tradicionalno najpogosteje ocenjuje tveganja pri posameznih izpostavljenostih.

Osredotočanje predvsem na raziskovanje na individualni ravni lahko pripelje do različnih problemov. Zanašanje le na rezultate raziskav individualne ravni zanemarja populacijski kontekst, v katerem se izpostavljenosti dogajajo, prav tako pa zanemarja izpostavljenosti, ki so uniformne znotraj posamezne populacije. Standardizirane primerjave populacij lahko odkrijejo pomembne dejavnike, ki jih individualna raven ne more. Nadalje lahko pripelje do tega, da se tudi v ukrepanju osredotočamo le na individualno raven, pri čemer hitro lahko zanemarimo glavne probleme okoljskega zdravja. Na primer, osredotočanje na izpostavljenost posameznikov lahko privede do zanemarjanja daljnosežnih indirektnih učinkov izpostavljenosti na ravni populacij. To se je v preteklosti že dogajalo. V Zahodni Evropi so v preteklosti na primer, da bi prebivalcev, živečim okoli industrijskih obratov, zmanjšali izpostavljenost, gradili višje dimnike, namesto, da bi zmanjšali izpuste. Tudi tovrstno ukrepanje je precej prispevalo k današnjim problemom čezmejnega (transboundary) širjenja onesnaževal in globalnih klimatskih sprememb.

Sredi devetdesetih let prejšnjega stoletja so začeli razmišljati, da je ta t.im. »epidemiologija dejavnikov tveganja« dosegla meje svojega dometa, in da je potrebno uvesti bolj občutljive in specifične metode – metode z biomarkerji izpostavljenosti, občutljivosti in zdravstvenih pojavov, da bi izboljšali znanja o mehanizmih bolezni in tveganjih.

Mikro raven.

S to ravnjo se ukvarja molekularna epidemiologija. Gre za novo vedo, ki skuša združiti prefinjene, visoko razvite in zelo občutljive laboratorijske metode z analitičnimi epidemiološkimi metodami. Uporablja se na primer v proučevanju poklicnih in okoljskih izpostavljenosti mutagenom in karcinogenom. Molekularna

epidemiologija je bolj skupek meritvenih metod, kot pa disciplina s samostojno vsebino.

Na začetku so pristopi na tej ravni obetali da bi lahko vsaj delno obšli slabosti raziskovanja v okoljski epidemiologiji, zato so se molekularni markerji začeli vse pogosteje uporabljati za ocenjevanje izpostavljenosti in občutljivosti posameznika. Prav tako so se začeli uporabljati tudi zgodnji markerji zdravstvenih pojavov v epidemioloških študijah. Kazalo je, da bodo raziskave na tej ravni, predvsem preko poznavanja molekularnih mehanizmov povezanosti med izpostavljenostjo in zdravstvenim pojavom, povečale biološko verjetnost opazovane povezanosti. Te metode naj bi tudi zmanjšale določene vrste pristranosti in motenja, in s tem potencialno zvečale moč okoljskih raziskav. Vendar pa so se sčasoma pokazale slabosti tega pristopa. Ena izmed večjih slabosti je, da so molekularni markerji zelo dragi, raziskave, v katerih se uporabljajo, pa so posledično narejene na majhnih vzorcih. Moč teh raziskav je zato dejansko lahko manjša kot pri raziskavah drugih dveh ravni.

Vsaka od ravni prispeva svoj del k sestavljanju celostne slike, ki jo proučujemo vedno, ko proučujemo povezanost med zdravstvenimi pojavi in okoljskimi dejavniki. Pri tem nikakor ne moremo govoriti o tem, da je ena od ravni pomembnejša od drugih dveh. Na žalost v preteklosti ni bilo tako in v različnih obdobjih so epidemiologi dajali večji pomen enkrat eni, drugič drugi ravni.

Smiselno bi bilo procese/pojave proučevati na več ravneh istočasno. Rezultati tako zastavljenega proučevanja dajo lahko bolj celostno in tudi bolj korektno sliko opazovane povezanosti kot proučevanje zgolj eni ravni. Tako bi bolj zanesljivo odkrili/identificirali vzročne procese. Dodatno bi tak pristop omogočil proučiti, kako se lahko proces na eni ravni (na primer socialna kohezija na populacijski ravni) odrazi na drugi ravni (na primer v pojavu bolezni na ravni posameznika). V zadnjem desetletju se tako vedno pogosteje srečujemo s tovrstnimi raziskavami, ki jim s skupnim imenom pravimo »večravenske raziskave« (multilevel studies). Če imamo na voljo tako podatke na pupulacijski kot tudi na individualni ravni lahko zmanjšamo motenje (cross-level confounding) in spreminjanje učinka med ravnmi (cross-level effect modification) tako, da uporabimo tehniko večravenskega modeliranja. Ta pristop združuje najboljše značilnosti analiz na individualni in populacijski ravni. Seveda pa se moramo zavedati, da moramo pri združevanju rezultatov med različnimi ravnmi biti izjemno previdni. Ekološka zmota je samo oena od možnih napak, ki lahko vodijo v napačno sklepanje. Tako imenovano »atomistično zmoto«, lahko zagrešimo, če sklepamo na vzročnost na populacijski ravni iz rezultatov, ki jih nudijo raziskave na individualni ravni.

Opazovalne raziskave in poskusi

Delitev na opazovalne in eksperimentalne raziskave (poskuse ali intervencijske raziskave) sodi med temeljne delitve epidemioloških raziskav.

V **opazovalnih raziskavah** raziskovalec le opazuje, kaj se dogaja in v dogajanje ne posega pri tem pa čim bolj vestno beleži potek in izid dogajanja. Sinonim za izraz »opazovalna raziskava« je »neeksperimentalna raziskava«.

Opazovalne raziskave so lahko opisne (deskriptivne) ali analitične, oziroma še bolje, lahko se uporabijo v namen opisovanja opazovanih pojavov ali v namen analize njihove povezanosti z drugimi pojavi, pri čemer se pred postopkom v naprej postavi trditev ali hipoteza.

Nasprotje opazovalnih raziskav so raziskave, pri katerih raziskovalec določi in nadzoruje pogoje dogajanja in s tem vanj načrtno tudi poseže. To so t.im. poskusi oziroma **eksperimentalne ali intervencijske raziskave** (intervencijske zato, ker je ena od njihovih bistvenih lastnosti, da z njimi želimo namenoma izzvati neko spremembo pri opazovancih z uvajanjem preventivnih ali terapevtskih ukrepov ali intervencij).

Da bi se izognili morebitnim pristranostim, naj bi bili skupini (ali več skupin), ki ju primerjamo v eksperimentalni raziskavi, primerljivi v vseh značilnostih, razen v ukrepu, katerega učinek opazujemo. Opazovanci so zato v skupine, ki jih primerjamo med seboj in so izpostavljeni različnim pogojem, razporejeni na slučajen način (randomizacija). To je ena izmed glavnih lastnosti in prednosti poskusov. Pri laboratorijskih poskusih randomizacija običajno ni problematična, veliko težje jo je izvesti v kliničnih pogojih, najtežje pa v pogojih na terenu.

Eksperimentalne raziskave imajo največjo moč pri testiranju hipotez, zaradi česar je njihova vrednost na prvi pogled veliko večja kot vrednost opazovalnih raziskav. Vendar pa imajo tudi tovrstne raziskave svoje slabosti. Ena od ključnih je, da je zaradi etičnih razlogov klasični eksperiment (naključno izbrano polovico opazovancev izpostavimo delovanju škodljivega dejavnika, nato pa opazujemo s kakšno frekvenco se bo pojavila bolezen v vsaki od opazovanih skupin) na ljudeh nemogoče izvajati. To je možno le v točno predpisanih primerih (na primer testirati, ali bo odstranitev izpostavljenosti zmanjšala incidenco bolezni ali umrljivost zaradi nje). Zato so v epidemiologiji eksperimentalne raziskave omejene le na intervencije, za katere se verjame, da lahko ljudem prinesejo dobrobit.

V okoljski epidemiologiji poznamo tako poskuse na populacijski ravni (skupnostne poskuse) kot tudi poskuse na individualni ravni (terenski poskusi).

Glavnina raziskav v okoljski epidemiologiji je opazovalnih (od ekoloških preko presečnih preglednih vse do raziskav primerov s kontrolami in kohortnih raziskav). Poskusov je v tej epidemiološki veji malo. Razlogi so etične narave, še posebej zaradi tega, ker gre v tej veji epidemiologije pogosto za poskuse na celih skupinah ljudi (community trials). Za te vrste poskusov še posebej velja, da se lahko izvajajo le takrat, kadar gre za preizkušanje učinkovine/dejavnika, ki ima le pozitivne učinke na zdravje ljudi (preventiva bolezni, odstranitev obstoječe škodljivosti).

Opisne in analitične raziskave

Druga temeljna delitev raziskav je delitev na opisne in analitične raziskave.

Opisne raziskave so namenjene temu, da z njimi odkrivamo vzorce porazdeljevanja zdravstvenih pojavov v prostoru in času ter glede na značilnosti skupin ljudi, brez poudarka na v naprej postavljenih hipotezah. Tako je tudi v okoljski epidemilogiji:

- zdravstvene in okoljske pojave opisujemo glede na prostor zato, da dobimo vpogled v razsežnost in morebitno kopičenje v prostoru (raziskave prostorskih vzorcev). S ponavljanjem opisovanja v prostoru pa lahko dobimo vpogled tudi v morebitno širjenje pojavov oziroma hitrost širjenja v prostoru. V slednjem primeru je prostorski dodana tudi časovna komponenta opisovanja;
- zdravstveni in okoljski pojavi se v času lahko bolj ali manj spreminjajo. Spreminjanje (nihanje) je lahko redno in je zaradi tega lahko celo predvidljivo, lahko pa gre za enkraten in s tem bistveno manj predvidljiv pojav. Zdravstvene in okoljske pojave glede na čas opisujemo zato, da dobimo vpogled v razsežnost in morebitno kopičenje v času (raziskave časovnih vzorcev);
- na ravni posameznika lahko z opisnimi raziskavami odkrivamo tudi porazdeljevanje zdravstvenih pojavov glede na različne značilnosti ljudi. Pri tem lahko opazujemo vrojene (spol, starost, rasa) ali pridobljene značilnosti (imunsko stanje, izobrazba, poklic, različne vrste vedenj kot je kajenje, itd.). Lahko so tudi pogoji, v katerih posameznik živi ali dela (bivalno okolje, delovno okolje).

Tako kot v večini epidemioloških postopkov, imamo tudi pri opisovanju v okoljski epidemiologiji priporočeno sosledje korakov. Ti koraki so naslednji:

- določiti, katere osebe šteti kot primer bolezni, ki jo obravnavamo;
- poiskati primere v različnih virih podatkov (statistika umrljivosti, bolnišnični podatki, podatki medicine dela in posebne raziskave);
- za vsak primer je potrebno poiskati podatke o starosti, spolu, kraju bivanja, datumu začetka bolezni ali diagnoze bolezni ali smrti zaradi bolezni ter vse ostale pomembne podatke;
- določiti velikost populacije, v kateri so nastali primeri;
- proučiti podatke, če se pojavljajo kakršnikoli vzorci, izračunati stopnje in primerjati z informacijami o drugih populacijah;
- razmisliti o možnih razlagah rezultatov tega ocenjevanja, pri tem pa biti previden pri postavljanju trdnih zaključkov.

Analitične raziskave so raziskave, ki so posebej načrtovane za testiranje hipotez, ki jih običajno postavimo na podlagi rezultatov opisnih študij. Imenujemo jih tudi raziskave za testiranje hipotez. V tem procesu poskušamo oceniti, v kolikšna moč povezanosti med stopnjo izpostavljenosti in velikostjo/intenziteto/frekvenco opazovanega pojava. Odločitev o tem, ali je izpostavljenost nekemu okoljskemu dejavniku povzročila večje tveganje za zbolet, na splošno ni lahka. Vrsta kriterijev mora biti izpolnjena, preden lahko povezavo med izpostavljenostjo in boleznijo označimo kot vzročno, dokazi o izpolnjevanju teh kriterijev pa pogosto niso na voljo, ali pa niso jasni. V to skupino raziskav sodijo na primer presečne pregledne raziskave, študije primerov s kontrolami in kohortne raziskave.

Primeri raziskav v okoljski epidemiologiji

Raziskave na populacijski ravni – ekološke raziskave

Splošne značilnosti

Skupno ime za raziskave, pri katerih je osnovna enota analize populacija ali skupina ljudi, in ne posameznik, je »**ekološka raziska**va«. Glavne značilnosti ekoloških raziskav so naslednje:

- podatki se običajno opazujejo v natančno opredeljenih prostorskih ali administrativnih enotah (na primer države, regije, upravne enote, občine, itd.), ali pa v različnih inštitucijah (na primer šole, itd.);
- podatke lahko dobimo iz različnih stalnih virov, lahko pa tudi iz občasnih virov (posebne raziskave). Občasne raziskave (na primer presečna pregledna raziskava) so lahko zelo pomemben vir podatkov o motečih dejavnikih na ravni populacij (na primer o prevalenci kajenja, itd.);
- povezanost med pojavi pri tej vrsti raziskav opazujemo z metodami za opazovanje moči povezanosti (korelacijske metode). Zato zasledimo tudi poimenovanje »korelacijske raziskave«.

Prednosti in pomanjkljivosti ekoloških raziskav

Tako kot druge epidemiološke raziskave, imajo tudi ekološke raziskave svoje prednosti in pomanjkljivosti. Med prednostmi naj naštejemo, da so hitro izvedljive in poceni, da so lahko najboljši pristop za preučevanje izpostavljenosti, ki so lažje merljive na skupinah prebivalcev, kot pa na individualni ravni, da lahko z njimi povezujemo podatke iz različnih baz podatkov, in da so primerne za monitoriranje učinkovitosti javnozdravstvenih ukrepov na populacijski ravni. V okoljski epidemiologiji so ekološke študije velikokrat najbolj ustrezna oblika raziskav za študij izpostavljenosti kot so onesnaženost zraka, kakovost vode in ultravijolično sevanje.

Kljub več praktičnim prednostim, pa imajo ekološke raziskave tudi precej metodoloških slabosti. Med njimi naj naštejemo, da se običajno opirajo na podatke, zbrane v druge namene, podatki o različnih motečih pojavih pa največkrat niso na voljo. Poleg tega, ker je enota analize skupina ljudi in ne posameznik, iz rezultatov ekoloških raziskav ne moremo sklepati o povezanosti med izpostavljenostjo in učinkom na individualni ravni. Povezanosti med dejavnikom tveganja in zdravstvenim pojavom, ki ni na ravni posameznikov, temveč na populacijski ravni, pravimo »ekološka«. Če na primer v ekološki raziskavi ugotovimo, da je povprečna vrednost krvnega tlaka prebivalstev držav, ki jih opazujemo, večja ob večji povprečni porabi soli v teh državah, govori to v prid ekološki povezanosti. To pa lahko drž, ali pa ne na ravni posameznikov (posamezniki, ki zaužijejo veliko soli imajo lahko višji krvni tlak kot osebe, ki zaužijejo malo soli, vendar bi lahko bilo tudi nasprotno). Na splošno je rezultate ekoloških raziskav pogosto težko razlagati oziroma moramo pri njihovi razlagi biti zelo previdni

Namen ekoloških raziskav

Čeprav zelo pogosto zasledimo, da so raziskave tega tipa opisne in namenjene predvsem postavljanju hipotez, ki jih potem preverjamo z drugimi vrstami raziskav, to drži v primeru, da rezultate, dobljene v ekoloških raziskavah, ki so raziskave na populacijski ravni, poskušamo prenesti na raven posameznika in iz njih sklepati na biološke vplive in tveganja na tej ravni. V takem primeru obstaja velika verjetnost, da zagrešimo ekološko zmoto.

Vendar pa njihove rezultate lahko uporabljamo tudi izključno na populacijski ravni in iz njih sklepati o učinkih na epidemiološke pojave (npr. incidenco bolezni v opazovani populaciji). V tem primeru se lahko uporabljajo tudi v analitične namene. SZO je celo izdala priporočilo, kdaj in kako jih uporabljati v namen izboljšanja informacijske podpore okoljsko zdravstvenim politikam in odločanju na tem področju na sploh.

Vrste spremenljivk v ekoloških raziskavah

V ekološke raziskave v okoljski epidemiologiji lahko vstopijo različni tipi spremenljivk glede na to, ali so osnovni podatki pridobljeni na ravni posameznika ali ne:

- spremenljivke, ki so v osnovi izmerjene (opazovane) na posameznikih - v tem primeru je potrebno posamezne meritve povzeti/agregirati in nato uporabiti v ekološki raziskavi povzetno mero (na primer povprečje, mediano vrednost posameznih vrednosti ali odstotek oseb z opazovanim stanjem) za opazovano enoto (državo, občino, itd.). Tovrstne spremenljivke lahko proučujemo tudi na individualni ravni. Primeri takih meritev so: povprečni dohodek, odstotek družin pod mejo revščine ali povprečno število članov gospodinjstva;
- okoljske spremenljivke – lastnosti območja, na katerem živijo/delajo, se šolajo člani populacij, ki jih primerjamo med seboj. Običajno so te meritve pridobljene v različnih

raziskavah okolja opazovanega območja. Primeri so: maksimalna dnevna koncentracija ozona ali povprečna letna koncentracija radona. Večinoma so povzetne (povprečne) mere urnih meritev. Te meritve, ki so običajno izvedene na ravni skupnosti so sicer zadovoljiv približek izpostavljenosti na individualni ravni in tovrstne spremenljivke bi lahko pogojno proučevali tudi na individualni ravno, vendar pa, če bi jih, ne bi dosegli dovolj velikega kontrasta v izpostavljenosti na tej ravni, zato jih je bolj priporočljivo raziskovati na populacijski ravni, torej z ekološkimi raziskavami;

- globalne spremenljivke - lastnosti, ki se nanašajo na skupine, organizacije, ekosisteme in nimajo analogov na ravni posameznika. Primer takih meritev so: celotno območje zelenja, gostota prebivalstva, obstoj specifične zakonodaje na nekem območju. Tovrstne spremenljivke lahko proučujemo le na populacijski ravni.

Glede na to značilnost lahko razvrstimo ekološke raziskave v:

- ekološke raziskave temelječe popolnoma na individualnih podatkih – proučevana populacija je dobro opredeljena, podaki za vse ali veliko večino spremenljivk so na voljo na individualni ravni, za namen ekološke analize pa jih agregiramo. Podatke pridobimo npr. s pomočjo presečnih preglednih raziskav, ki so predstavljene v nadaljevanju poglavja;
- čiste ekološke raziskave – raziskave, v katerih nimamo nobenih podatkov na individualni ravni in
- delno ekološke – raziskave, v katerih imamo del podatkov na individualni ravni (npr. starost, spol, mesto bivanja, itd.), del pa na populacijski ravni.

V nasprotju z drugimi epidemiološkimi študijami, so spremenljivke, ki merijo izid izpostavljenosti v ekoloških študijah na ravni populacije večinoma spremenljivke numeričnega tipa, tudi če gre na ravni posameznika za binarne spremenljivke. Na primer, če opazujemo smrti zaradi bolezni Y, na ravni posameznika štejemo dogodke (dogodek = smrt zaradi bolezni Y), ki se zgodijo, ali pa ne, torej gre za binarno spremenljivko. Na ravni populacije na podlagi opazovanja teh dogodkov izračunamo epidemiološko mero, ki ji pravimo umrljivost za boleznijo Y (epidemiološki pojav = incidenca smrti zaradi bolezni Y). Ta spremenljivka, ki izraža vrednost epidemiološkega pojava, je spremenljivka numeričnega tipa. Drugi primer je opazovanje spola. Na ravni posameznika je spol binarna spremenljivka, na ravni populacije pa izražamo delež/odstotek moškega oziroma delež/odstotek ženskega prebivalstva. V obeh primerih gre za numerični spremenljivki. Tudi spremenljivke, ki merijo izpostavljenost, težijo k temu, da so spremenljivke numeričnega tipa.

Vrste ekoloških raziskav

Omenjena razvrstitev sicer pomaga razumeti koncept ekoloških raziskav, ne sodi med najpomembnejše. Najpomembnejše razvrstitve ekoloških raziskav so:

Prva razvrstitev ekološke raziskave razvršča na opazovalne (npr. študije časovnih trendov) in eksperimentalne oziroma poskuse (skupnostne poskuse).

Druga razvrstitev ekološke raziskave razvršča glede na to, ali z njimi samo opisujemo opazovane pojave ali z njimi analiziramo v naprej postavljene hipoteze na opisne in analitične. Pri tem so eksperimentalne raziskave vedno samo analitične, medtem ko se opazovalne raziskave delijo na opisne in analitične:

- opisne (raziskovalne ali eksploratorne) raziskave – skupna značilnost opisnih ali eksploratornih ekoloških raziskav je, da z njimi primerjamo epidemiološke pojave (npr. stopnje incidence neke bolezni) med več sosednimi območji (občinami, regijami, državami) v istem časovnem obdobju, ali pa primerjamo epidemiološki pojav na enem območju v različnih časovnih obdobjih. V nobenem primeru ne merimo izpostavljenosti specifičnim okoljskim dejavnikom. Namen tovrstnih raziskav je najti morebitne prostorske ali časovne vzorce, ki bi lahko dali slutiti okoljsko etiologijo opazovanih zdravstvenih pojavov. Analizo lahko opravimo zelo neformalno (ocena »na oko«), ali pa uporabimo posebne statistične metode (npr. Moranov koeficient). Ker v teh študijah informacija o izpostavljenosti ni neposredno vključena v analizo, so le-te predvsem primerne za postavljanje hipotez o povezanosti med opazovanim zdravstvenim pojavom in okoljsko izpostavljenostjo. Kljub temu pa lahko v teh raziskavah tudi testiramo hipotezo – namreč hipotezo, da ni prostorskega ali časovnega kopičenja opazovanega zdravstvenega pojava;
- analitične raziskave - skupna značilnost analitičnih ekoloških raziskav je, da z njimi testiramo hipoteze o povezanosti med opazovanim zdravstvenim pojavom in okoljsko izpostavljenostjo na populacijski ravni.

Tretja razvrstitev ekološke raziskave razvršča po tem, ali gre za proučevanje (primerjavo) populacij v prostoru ali v času. Glede na to značilnost delimo opisne ekološke raziskave na:

- študije prostorskih vzorcev (exploratory studies of spatial patterns) in

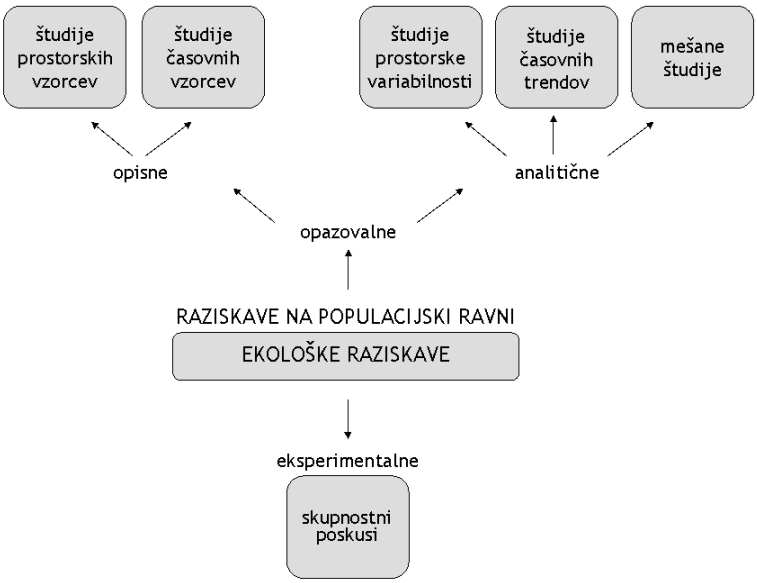
- študije časovnih vzorcev (exploratory studies of temporal patterns).

Analitične ekološke raziskave pa delimo na:

- študije prostorskega kopičenja (multiple-group studies) (primerjava različnih populacij, ki živijo na različnih krajih ob istem času),
- študije časovnega trenda ali časovne vrste (time-trend studies) (primerjava iste populacije, ki živi na istem kraju, ob različnem času) in
- mešane študije oziroma raziskave prostorsko-časovnega kopičenja (mixed studies)

Med pogosteje uporablanimi študijami so študije prostorskih vzorcev, študije prostorske variabilnosti in študije časovnih trendov.

S pravilno zasnovo je mogoče nekatere pomanjkljivosti ekoloških raziskav omiliti. Časovna analiza (analiza s časovno vrsto) na primer lahko zmanjša vpliv nekaterih motečih dejavnikov, kot so na primer socio-ekonomski dejavniki, ki lahko v ekoloških raziskavah predstavljajo veliko težavo. Slika 1-2 shematično prikazuje tipe raziskav v okoljski epidemiologiji na populacijski ravni.



Slika 1-2: Tipi raziskav v okoljski epidemiologiji na populacijski ravni.

Študije prostorskih vzorcev

Pri študijah prostorskih vzorcev gre za opisovanje pogostosti zdravstvenih pojavov glede na prostor. Dajo nam vpogled v geografsko razsežnost zdravstvenega problema in njegovo geografsko variabilnost. Tovrstne raziskave imenujemo tudi geografske raziskave oziroma študije (geographical studies) ali raziskave kartiranja (mapping studies, disease mapping studies) zdravstvenih pojavov.

Pri tovrstnih študijah ima »prostor« različen pomen. Lahko pomeni kraj bivanja, kraj rojstva, kraj zaposlitve, kraj šolanja, kraj zdravljenja, odvisno od tega kateri zdravstveni pojav opazujemo. Različne vrste »prostora« lahko tudi združujemo v kategorije, na primer ruralna in urbana območja.

Enote opazovanja, na ravni katerih zbiramo podatke (npr. agregiramo podatke, pridobljene na ravni posameznika) so različne geografske ali administrativne enote. Te so lahko večje ali manjše (država, območje, občina, krajevna skupnost ali popisni okoliš, ulica).

Prostorski opis pojavov ponavadi prikazujemo v obliki zemljevidov, čeprav bi ga lahko tudi s tabelami. Zemljevid namreč zagotavlja bolj pregledno prikazovanje prostorskih podatkov. Poznamo dve vrsti zemljevidov:

- točkovni zemljevid ali karta (spot map) – ta vrsta zemljevidov se običajno uporablja za prikazovanje kopičenj ali izbruhov z omejenim številom primerov. Pika (točka) ali znak »X« se postavi na mesto, na katerem je živela ali delala obolela oseba. Primer takšnega zemljevida je zemljevid, s katerim je John Snow prikazal območje Londona, v katerem je po njegovem izbruhnila kolera sredi 19. stoletja.
- koropletna karta ali površinski kartogram (choroplethic map) – površinski kartogram je vrsta tematske karte za prikazovanje kvantitativnih pojavov znotraj prostorskih enot, v kateri so področja obarvana v različnih svetlostnih tonih enobarvne ali večbarvne lestvice ali senčena, in s tem odražajo vrednost pojava, ki ga prikazujemo (običajno razrede vrednosti). Beseda »koroplet« izhaja iz grščine (choros = mesto; pleth = vrednost). Tovrstne zemljevide na primer uporablja Register raka za Slovenijo za prikazovanje incidence raka po izbranih administrativnih enotah.

S študijami prostorskih vzorcev lahko ugotovimo območja/skupnosti, v katerih je povečano tveganje za določeno bolezen. Tudi, če podlagi takšne raziskave ni mogoče odkriti, zakaj imajo ljudje v nekaterih skupnostih (oziroma na nekaterih območjih) večje tveganje za zdravstveni pojav, lahko pomagajo postaviti hipoteze, ki jih nato testiramo z analitičnimi študijami.

Tovrstne raziskave imajo nekatere značilnosti, ki jih moramo pri analiziranju podatkov nujno upoštevati. Dve izmed takšnih značilnosti sta:

- območja z majhnim številom opazovanih primerov bolezni imajo ponavadi večjo variabilnost epidemiološkega pojava (stopnje), ki ga opazujemo, zaradi česar lahko opazimo najbolj ekstremne vrednosti vrednosti stopenj prav na teh območjih;
- sosednja območja težijo k temu, da imajo bolj podobne vrednosti stopenj kot medsebojno bolj oddaljena območja (pozitivna autokorelacija).

Za obvladovanje tovrstnih problemov obstajajo posebne statistične metode (npr. Bayesove metode), ki presegajo namen vsebine tega poglavja.

Primer študije prostorskih vzorcev oziroma opisne geografske ekološke raziskave je raziskava o pojavljanju raka v občini Brežice na podlagi podatkov Registra raka za Slovenijo (Primer 1).

PRIMER 1.

Cilj raziskave z naslovom »Estimation of cancer burden in Brežice Municipality, a community neighboring Krško Nuclear Power Plant in Slovenia« je bil oceniti tveganje za nastanek raka v občini Brežice/Slovenija v obdobju 1984-2003 in jo primerjati z obdobjem 1970-1983, preden je v bližini začela delovati jedrska elektrarna Krško.

Da bi primerjali relativno tveganje (RR) za različne vrste raka, so raziskovalci izvedli opisno geografsko epidemiološko študijo na nacionalni, območni in lokalni ravni. Poleg tega je bila opravljena še analiza med obema primerjanima obdobjema. Standardizirana stopnja incidence (SIR) je služila kot ocena RR. Ocenjeno je bilo RR za vse vrste raka skupaj, pet najpogostejših vrst raka ter raka ščitnice in levkemije. Tveganje za različne vrste raka na opazovanem območju so primerjali na nacionalni, regionalni in lokalni ravni. Na nacionalni ravni so tveganje v statistični regiji Spodnjeposavska regija, v kateri se nahajata tako občina Brežice jedrska elektrarna Krško, primerjali s tveganjem v 11 drugih slovenskih statističnih regijah. Na območni ravni so tveganje v občini Brežice primerjali s tveganjem v 15 sosednjih občinah. Na lokalni ravni je bila v času raziskave občina Brežice razdeljena na 14 krajevnih skupnosti in tveganje za nastanek raka so na tej ravni primerjali med njimi.

Rezultati so pokazali, da se je število novih primerov raka, kot tudi ocenjeno RR za vse in posamezne lokalizacije raka, v obdobju 1984-2003 zvišalo tako v občini Brežice kot tudi po vsej Sloveniji. V obdobju 1984-2003 je bila SIR za vse rake skupaj v Brežicah pod nacionalnim in pod območnim povprečjem, RR za raka na debelem črevesju in raka maternicnega vratu pa je bilo višje. Nadalje v občini Brežice v obdobju 1984-2003 ni bilo očitnega kopičenja območij z višjim oziroma nižjim RR. RR za raka ščitnice in levkemije je bilo v Brežicah primerljivo s slovenskim povprečjem v obeh opazovanih obdobjih.

Avtorji so na podlagi rezultatov zaključili, da povečanje bremena raka v občini Brežice ne more biti povezano z nuklearno elektrarno Krško, temveč najverjetneje s nezdravim življenjskim slogom prebivalcev te občine.

V nekaterih primerih študij prostorskih vzorcev v analizo zajamemo tudi spremljajoče značilnosti kot so okoljske značilnosti (npr. stopnja urbanizacije okolja, stopnja industrializacije okolja, stopnja ozelenitve okolja, itd.), družbene značilnosti (npr. socio-ekonomsko stanje, starostna struktura, etnična struktura, itd.) in druge značilnosti prebivalstev (stopnja obolelosti za določenimi boleznimi). Vključevanje takšnih podatkov v študije prostorskih vzorcev vključuje primerjave območij, urejenih v skupine glede na te značilnosti. Ta pristop je precej podoben metodam, ki jih uporabljamo v analitičnih študijah prostorske variabilnosti in zato je razmejitev z njimi težka. V to kategorijo raziskav bi lahko uvrstili raziskavo Reidove in sodelavcev, ki so poskusili kartirati determinante ranljivosti ljudi pri vročinskih valovih (Primer 2)

PRIMER 2

Z namenom, da bi našli možnosti za zmanšanje ranljivost prebivalcev ob vročinskih valovih, so si Reidova in sodelavci v raziskavi z naslovom »Mapping community determinants of heat vulnerability« zadali za cilj, da bodo kartirali determinante ranljivosti ljudi pri teh okoljskih pojavih. Dokazov, da lahko vročinski valovi povečajo tako umrljivost kot tudi zabolevnost za določenimi boleznimi, je vse več. Zaskrbljenost zaradi zaradi podnebnih sprememb narašča, vendar pa se je zdravju škodljivim učinkom zaradi vročinskih valov mogoče izogniti.

Avtorji so umestili ranljivost v geografski prostor in opredelili možna področja za ukrepanje in nadaljnje raziskave. Kartirali in analizirali so 10 dejavnikov ranljivosti obolevnosti oziroma umrljivosti, povezanima z vročinskimi valovi v ZDA: šest demografskih značilnosti, dve značilnosti, povezanih s klimatiziranjem prostorov, ki so ju pridobili iz urada ZDA za popisovanje prebivalstva (U.S. Census Bureau), pokritost z vegetacijo, ki so jo ocenili iz satelitskih posnetkov, in prevalenco diabetesa iz nacionalne raziskave o vedenjskih dejavnikih tveganja BRFSS (Behavioral Risk Factor Surveillance System). Teh 10 spremenljivk so analizirali s faktorsko analizo in pripisali vrednosti ranljivosti vsaki od opazovanih geografskih enot (39.794 popisnim okolišem). Dodatno so izoblikovali indeks ranljivosti za toplotne valove.

Rezultati so pokazali, da je z naslednjimi štirimi dejavniki: socialno-okoljsko ranljivostjo (sestavljen kazalnik iz stopnje izobraženosti prebivalstva, stopnje revščine, rasne strukture in deleža zelenih površin), stopnje socialne osamitve oziroma izključenosti, prevalence klimatiziranosti prostorov in deleža starejšiprebivalcev s sladkorno boleznijo, moč pojasniti več kot 75% skupne variabilnosti opazovanega pojava. Našli so velike geografske razlike v ranljivosti ob vročinskih valovih na nacionalni ravni. Ranljivost je bila na splošno večja na severovzhodu ZDA in ob obali Tihega oceana. Najnižja je bila na jugovzhodu ZDA. V urbanih območjih je bila ranljivost največja v mestnih središčih.

Avtorji so na podlagi rezultatov zaključili, da metode, ki so jih uporabili v študiji, lahko predstavljajo primerno predlogo za izdelavo lokalnih in regionalnih kart ranljivosti pri vročinskih valovih. Prav tako lahko rezultati študije predstavljajo dobro izhodišče za oblikovanje ukrepov, namenjenih najbolj ranljivim skupinam prebivalstva.

Proučevanje časovnih zaporedij

Pri študijah časovnih zaporedij (exploratory studies of temporal patterns) gre za opisovanje pogostosti zdravstvenih pojavov v času s sledenjem rojstne kohorte skupine ljudi. Takšno raziskovalno študijo časovnih vzorcev se ponavadi opravi s primerjavo epidemioloških mer (npr. stopenj incidence opazovane bolezni ali stopnje umrljivosti) za geografsko opredeljeno populacijo v daljšem časovnem obdobju (najmanj 20 let).

Običajen analitični pristop za analizo takšnih podatkov, ki so posebna vrsta longitudinalnih podatkov, je tako imenovana **»kohortna analiza«**, ki je ne smemo zamenjati z analizo podatkov iz kohortih študij. Cilj tega pristopa je oceniti ločene učinke treh spremenljivk, ki so vse vezane na čas: starost ljudi, obdobje, v katerem ti ljudje živijo (koledarski čas), in leto rojstva teh ljudi (ki opredeljuje rojstno kohorto, na pojav opazovanega zdravstvenega pojava. Pri tej analizi gre za tabelarni prikaz epidemioloških pojavov (npr. stopenj incidence opazovanega zdravstvenega pojava ali stopnje umrljivosti) v odnosu do starosti določene skupine ljudi (kohorte), ki smo jo kot zanimivo za opazovanje identificirali v nekem časovnem obdobju (koledarskem času), in ki ji sledimo, ko gre skozi različne starosti v delu njihovega življenja ali celo v celotnem življenju. Cilj te analize je odkrivanje učinkov starosti in koledarskega obdobja ter generacijskih učinkov na opazovani zdravstveni pojav.

Primer opisne študije časovnih vzorcev je študija Okamota in sodelavcev o učinkih starosti in koledarskega obdobja ter generacijskih učinkov na prevalenco astme med šolskimi otroci na Japonskem (Primer 3).

PRIMER 3.

Cilj Okamota in sodelavcev v raziskavi »Age-period-cohort analysis of asthma prevalence among school children« je bil s kohortno analizo izluščiti in prikazati posebej učinek staranja, učinek k oledarskega obdobja ter generacijski učinek na prevalenco astme pri šolskih otrocih na Japonskem. Astma je namreč od staranja odvisna bolezen, a nanjo vplivata tudi koledarsko obdobje, v katerem živi skupina ljudi kot tudi značilnosti posamezne generacije. Avtorji so korakoma luščili učinke omenjenih treh dejavnikov tako, da so analizirali zdravstvene podatke japonskih šolskih otrok za leta od 1984 do 2004. Osredotočili so se na prevalenco astme med šolskimi otroci v starosti 6-17 let. Opazovali so 30 rojstnih kohort, ki so jih določili ob vstopu v šolo.

Analiza učinka staranja na prevalenco astme je pokazala, da le-ta sledi kubični enačbi. Krivulje, ki prikazujejo ta učinek, so pokazale, da prevalenca med dečki doseže vrh pri 13, med deklicami pa pri 14 letih, potem pa hitro upada. Analiza učinka kohorte (generacijskega učinka), opredeljenega kot aritmetična sredina prevalence astme za starosti od 6-17 let, je pokazala konzistenten trend naraščanja za vseh 30 rojstnih kohort, rojenih v obdobju 1968-1997, pri obeh spolih. Analiza učinka koledarskega časa je pokazala konzistenten upad prevalence astme od leta 1984 dalje do leta 1999. V letu 1999 se je le-ta nanadoma povečala in nato spet padla.

Avtorji so na podlagi rezultatov študije zaključili, da je bila, ne glede na vzroke, najbolj skrb zbujajoča ugotovitev študije ta, da ni bilo v prevalenci astme še nobenih znakov izravnave naraščajočega trenda kohortnega učinka. Ta trend se je celo prikril s

padcem koledarskega učinka po letu 1999. To pomeni, da bodo mlajši predšolski otroci še naprej imeli vedno višje vrednosti prevalence astme kot njihovi starejši bratje in sestre, število astmatičnih otrok pa se bo zelo verjetno še naprej povečevalo v vseh starostnih skupinah. Rezultati študije kličejo po učinkovitih preventivnih ukrepih, s katerimi bi zaščitili šolske otroke pred potencialno škodljivimi kroničnimi boleznimi.

Študije prostorske variabilnosti

V študijah prostorske variabilnosti oziroma večskupinskih ekoloških študijah (multiple-group studies), kot jih pogosteje imenujemo, ocenjujemo ekološko povezanost med povprečno ravnjo izpostavljenosti (ali prevalenco izpostavljenosti, če gre samo za prisotnost izpostavljenosti) in stopnjo obolelosti med večjim številom geografskih območij (ali administrativnih območij, ali na kak drug način opredeljenih skupin prebivalcev). V tej raziskovalni zasnovi zbiramo na populacijski ravni torej tako podatke o zdravstvenem pojavu (stopnja obolevnosti) kot tudi izpostavljenosti (povprečna raven izpostavljenosti) in to za večje število prostorskih enot. Takšna zasnova ekoloških raziskav je tista, ki jo v okoljski epidemiologiji najpogosteje uporabljamo.

Običajen analitični pristop v tovrstnih raziskavah je analiziranje, ali med zdravstvenim pojavom (spremenljivko Y) in izpostavljenostjo (spremenljivko X) obstaja statistično pomembna in vsebinsko smiselna povezanost, če je le možno ob upoštevanju morebitnih motečih dejavnikov. Ker se pogosto podatke pri tem tipu ekoloških raziskav analizira s statistično metodo, ki ji pravimo korelacijska analiza, je izraz »korelacijske raziskave« postal sinonim kar za vse ekološke raziskave.

Primer študije prostorske variabilnosti je študija o geografski variabilnosti poškodb s smrtnim izidom zaradi prometnih nezgod v Španiji v obdobju 2002-2004, ki jo je izvedel Rivaz-Ruiz s sodelavci (Primer 4).

PRIMER 4.

Cilj Rivez-Ruiza in sodelavcev v raziskavi »Geographic variability of fatal road traffic injuries in Spain during the period 2002–2004: an ecological study« je bil opisati variabilnost v umrljivosti zaradi poškodb v prometnih nezgodah na španskem cestah med provincami, ob upoštevanju prevoženih kilometrov na vozilo, in oceniti morebitno vlogo sociodemografskih, strukturnih (npr. delež avtocestnih kilometrov) in podnebnih značilnosti ter značilnosti upravljanja s tveganji.

Srednja letna stopnja umrljivosti zaradi poškodb v prometnih nezgodah (opazovani pojav), prilagojena na število prevoženih kilometrov na vozilo (enota vozilo-kilometer), je bila izračunana za obdobje 2002-2004, za vsako od 50 provinc Španije. Povezanost opazovanega pojava z neodvisnimi spremenljivkami, opisanimi zgoraj, so raziskovalci analizirali z metodama preproste in multiple linearne regresije.

Rezultati so pokazali, da je v obdobju 2002-2004 bilo v prometnih nezgodah v Španiji 12.756 smrtnih žrtev (povprečno 4.242 na leto, SD = 356,6). Povprečno število smrti zaradi poškodb v cestnem prometu na 100 milijonov prevoženih vozil-kilometrov je bilo 1,76 (SD = 0,51), z najmanjšo vrednostjo 0,66 v provinci Santa Cruz de Tenerife in največjo vrednostjo 3,31 v provinci Lugo. Stopnja umrljivosti je bila nižja v provincah

z večjim deležem avtocestnih kilometrov, v provincah z višje izobraženim prebivalstvom ter v provincah z bolj kulturnim prebivalstvom. Stopnja umrljivosti pa je bila višja v provincah z višjo stopnjo potrošje alkohola in provincah z večjim deležem težkih tovornih vozil v cestnem prometu. S spremenljivkami, vključenimi v model, so lahko raziskovalci pojasnili 55,4% variabilnosti v umrljivosti zaradi poškodb v cestnem prometu med provincami.

Avtorji so zaključili, da je prilagoditev stopnje umrljivosti zaradi poškodb v prometnih nezgodah na število prevoženih kilometrov na vozilo omogočila odkriti veliko variabilnosti tega vzroka smrti med španskimi provincami in oceniti njegovo povezanost z dejavniki tveganja, kot na primer z vrsto ceste in tipom vozila. Pokazalo se je, da bi v zmanjševanju stopnje umrljivosti zaradi poškodb v prometnih nezgodah poleg naložb v kampanje za varnost v cestnem prometu in programe usposabljanja voznikov, lahko bila pomembna tudi naložba v izboljšanje cestnega omrežja in povečanje povpraševanja po javnem prevozu.

Študije časovnih trendov

Ekološke opazovalne študije časovnih trendov ali »časovne vrste« (time-trend studies, time-series studies) so študije, v katerih opazujemo eno samo populacijo, a v času. Natančneje, spremljamo spreminjanje epidemiološke stopnje opazovanega zdravstvenega pojava (npr. incidenco) (spremenljivko Y) ob sočasnem spreminjanju izpostavljenosti (spremenljivka X) v istem časovnem obdobju. Povezanost med pojavoma obstaja, če so spremembe v spremenljivki Y vzporedne s podobnimi spremembami v spremenljivki X.

Študije tega tipa je smiselno uporabiti na primer v primerih, ko izpostavljenost neki okoljski nevarnosti pomembno niha v kratkih časovnih obdobjih in ob tem vpliva na nekatere akutne biološke pojave pri ljudeh.

Spremembe v opazovanih pojavih (ti so lahko spremenljivke različnega tipa – od opisnih dihotomnih pa vse do številskih zveznih, lahko pa gre za preprosto štetje dogodkov kot je na primer štetje števila sprejemov v bolnišnico) lahko opazujemo v različnih časovnih enotah (minutah, urah, dnevih, tednih, mesecih ali letih). Te spremembe postavljamo v odnos s spremembami v ravni izpostavljenosti, pri čemer je vsak posameznik sebi kontrola. Z drugimi besedami, gre za raziskave na eni populaciji. Le-to obravnavamo v času, ko je onesnaženost visoka, kot izpostavljeno, v času, ko je onesnaženost nizka, pa kot neizpostavljeno.

Raziskave tega tipa lahko uporabljamo v opazovalnih in eksperimentalnih zasnovah raziskav. V prvem primeru gre na primer opazovanje gibanja dveh pojavov v času, v katera ne posegamo. V drugem primeru posežemo v časovno dinamiko (negativnega) zdravstvenega pojava z ukrepanjem, vendar pa morajo biti ukrepi v tem primeru pozitivni za zdravje ljudi (npr. cepljenja).

Načeloma se meritve izvaja v času v velikem številu zaporednih točk. Podatke, pridobljene v teh meritvah pa načeloma analiziramo tako, da na primer primerjamo naklon trenda zdravstvenega pojava pred in po izpostavljenosti (ali pa pred in po uvedbi ukrepa pri eksperimentalni zasnovi). Vendar pa je analiza časovnih vrst lahko zelo zapletena, saj podatki za posameznika niso medsebojno neodvisni. Vrednosti

pojavov, ki so merjeni na zvezni merski lestvici, so lahko na dan merjenja v korelaciji z vrednostmi prejšnjega dne. To pomeni, da je lahko na primer učinek onesnaženosti zraka povezan z izpostavljenostjo v prejšnjem kot tudi z izpostavljenostjo v tekočem dnevu. Med pojavoma pa je lahko tudi zamik, kar analizo dodatno otežuje, saj je lahko latenca bolezni za izpostavljenostjo zelo dolga, prav tako pa lahko niha med posamezniki, ki tvorijo opazovano populacijo.

Raziskave tipa časovne vrste so učinkovite samo, če vključujejo velike skupnosti (več milijonov ljudi), to pa zato, ker je prispevek onesnaženega zraka k dnevnim nihanjem v zdravstvenih pojavih (na primer umrljivosti) relativno majhna v primerjavi s prispevkom drugih dejavnikov, ki določajo smrt ali vodijo v hospitalizacijo. Prednost raziskav te vrste je usmerjanje pozornosti na posebej občutljive skupine.

V okoljski epidemiologiji z raziskavami tega tipa običajno poskušamo oceniti tveganja za zdravje, ki so povezana s kratkotrajno izpostavljenostjo visokim temperaturam zunanjega zraka, drobnim delcem v zraku (PM, od particulate matter), NOx, ozonu in nekaterim drugim onesnaževalom.

S študijami časovnih trendov opredeljujemo trende zdravstvenih pojavov (npr. odkrivamo spremembe v incidenci bolezni), ki se vsi, eni bolj, drugi manj očitno, spreminjajo v času. Pri enih gre za redno nihanje v času in s tem za predvidljive spremembe, pri drugih pa so spremembe nepredvidljive.

Spremljanje zdravstvenih pojavov v času je pomembno zaradi tega, ker lahko npr. pri boleznih, ki se pojavljajo sezonsko, zdravstveni uradniki predvidijo njihov ponoven pojav in izvajajo nadzor in preventivne ukrepe, kot so cepljenje proti sezonski gripi ali škropljenja proti komarem. Pri boleznih, ki se pojavljajo občasno, lahko raziskovalci izvedejo študije za identifikacijo vzrokov in načinov širjenja, nato pa razvijejo ustrezno usmerjene ukrepe za nadzor in preprečitev nadaljnjega pojava bolezni.

Opis pojavov v času ponavadi prikazujemo v obliki dvodimenzionalnih diagramov, ki so lahko različni:

- najbolj običajni so diagrami, v katerih na vertikalno os nanašamo število dogodkov ali vrednosti epidemiološkega pojava (npr. incidenčno stopno), na horizontalno os pa časovno enoto. Pojavljanje primerov bolezni v času prikažemo kot histogram ali kot linijski diagram.

Časovno enoto opazovanja izberemo glede na značilnost opazovanega pojava: pri počasi razvijajočih se pojavih lahko razvoj le-tega opazujemo v letih, pri hitro razvijajočih se pojavih pa je časovna enota lahko celo dan.

Tak diagram lahko lepo prikaže časovno porazdelitev dogodkov, ki so povezani s trendom bolezni. Diagram lahko na primer pokaže na obdobje izpostavljenosti, ali pa uvedbo javnozdravstvenega ukrepa. Pri boleznih, ki jih moramo prijavljati, običajno primerjamo število primerov v tekočem tednu s številom v predhodnem. Na ta način lahko zaznamo nenadno povečanje števila primerov, prav tako pa tudi postopno;

- v drugem običajnem prikazu primerjamo število primerov bolezni v opazovanem koledarskem obdobju s številom primerov, ki so jih zabeležili v istem koledarskem časovnem obdobju v zadnjih 2-10 letih;
- lahko pa primerjamo kumulativno število primerov, o katerih so poročali do trenutka opazovanja v tekočem letu (ali v prejšnjih 52 tednih) glede na skupno število primerov, o kateri so poročali na isti dan v preteklih letih.

Primer analitične študije časovnih trendov je raziskava o vplivih rekordnega vročinskega vala, ki je zajel Francijo med 2. in 15. avgustom 2003, na zdravje ljudi (Primer 5).

PRIMER 5

Cilj raziskovalcev francoskega nacionalnega inštituta za javno zdravje, InVS (od Institut de Veille Sanitaire), v raziskavi »Impact sanitaire de la vague de chaleur d'août 2003 en France« je bil oceniti vpliv rekordnega vročinskega vala na zdravje prebivalcev Francije, predvsem umrljivost.

Med vročinskim valom so mestni sveti francoskih mest in zdravstvenih uradi po departmajih bili zaprošeni, da dnevno pošiljajo certifikate o smrti za vse primere smrti na svojih območjih na dve nacionalni inštituciji, INSERM (Institut National de la Santé et de la Recherche médicale) in INSEE (Institut National des Etudes et Statistiques économiques), ter da vsak dan sporočijo število umrlih ljudi na svojih območjih nacionalnemu inštitutu za javno zdravje Francije, InVS. Podatke so zbirali v avgustu in septembru 2003. InVS je primerjal število smrtnih žrtev v času od 1.-15. avgusta 2003 s povprečno stopnjo umrljivosti v letih 2000, 2001 in 2002, prilagojeno na projekcije prebivalstva za leto 2003. Istočasno je Meteo-France, francoska državna meteorološka služba, spremljala minimalne, maksimalne in povprečne 24-urne temperature na podlagi vzorcev s 180 merilnih postaj po francoskih mestih.

Rezultati so pokazali, da je vročinski val, ki je prizadel vse francoske regije, povzročil med 1. in 20. avgustom 2003 presežek 14.800 smrtnih žrtev. Povečevanje števila presežnih smrti je sledilo enakemu vzorcu, kot poviševanje temperature. V zadnji tretjini meseca avgusta, ko so se temperature normalizirale, odstopanj od običajne umrljivosti ni bilo zaznati, prav tako ne v naslednjih treh mesecih. Pokazala se je jasna razlika v vplivu vročinskega vala od mesta do mesta. Žrtve so bile večinoma starejše ženske, stare več kot 75 let.Celotne variabilnosti v incidenci smrti ni bilo moč pripisati samo vročinskemu valu.

Na podlagi teh rezultatov je francoska vlada v letu 2004 razvila sistem opozarjanja pred zdravstvenimi nevarnostmi vročinskih valov in vzpostavila preventivni akcijski načrt za vsako regijo posebej.

Drug primer tovrstne raziskave je raziskava Burnetta in sodelavcev, ki so proučevali povezanost med ozonom in sprejemi otrok, mlajših od 2 let, na bolnišnično zdravljenje zaradi akutnih bolezni dihal (Primer 6). Podobna tej raziskavi je tudi raziskava Mourasove in sodelavcev, ki so raziskovali povezanost med sprejemi otrok, starih od 1 meseca do 12 let, na bolnišnično zdravljenje zaradi akutnih bolezni dihal in onesnaženostjo zraka (Primer 7).

PRIMER 6

Cilj Burnetta in sodelavcev v raziskavi »Association between ozone and hospitalization for acute respiratory diseases in children less than 2 years of age« je bil oceniti povezanost med različnimi stopnjami onesnaženosti zunanjega zraka z ozonom in akutnimi težavami z dihanjem pri otrocih, mlajših od 2 let.

Študija je bila izvedena v obdobju od 1980 do 1994 v Torontu v Kanadi. Iz bolnišnic, ki so se nahajale na območju raziskovanja so iz stalnih evidenc pridobili podatke o akutnih težavah z dihanjem pri ciljni populaciji. Urne povprečne koncentracije ogljikovega monoksida, dušikovega dioksida, žveplovega dioksida in ozona so bile pridobljene iz štirih merilnih postaj na območju raziskovanja. Ravno tako so iz omenjenih merilnih mest pridobili podatke za meteorološke parametre (temperatura, relativna vlažnost, smer in hitrost vetra). V okviru študije so pridobili tudi podatke o motečih dejavniki/spremenljivkah, ki vplivajo na stopnjo onesnaženosti zraka in sicer čas v letu, dnevi v tednu. Za analizo povezanosti med proučevanimi pojavi so uporabili Poissonovo regresijo.

Rezultati analize so pokazali, da se je dnevno število sprejemov zaradi težav z dihanjem gibalo med 0 do 11, s povprečno vrednostjo 2,9. Med otroci, ki so bili v času opazovanja sprejeti v bolnišnico zaradi akutnih težav z dihanjem, jih je umrlo 0,1%. Povprečna ležalna doba ob sprejemu je bila 3,9 dni. Dokazana je bila povezava med meteorološkimi parametri (minimalne in maksimalne dnevne temperature, relativna vlažnost) in sprejemom v bolnišnico, zlasti en ali dva dneva pred sprejemom. Ravno tako so tudi povišane koncentracije ozona v zraku povezane s sprejemom v bolnišnico, zlasti na dan povišane koncentracije ali pred petimi dnevi.

Raziskovalci so na podlagi rezultatov raziskave zaključili, da višje stopnje onesnaženosti zraka z ozonom, zlasti v poletnih mesecih, vplivajo na povečano tveganje za akutne bolezni dihal pri otrocih starih manj kot dve leti.

PRIMER 7

Cilj Mourasove in sodelavcev v raziskavi »Air quality and acute respiratory disorders in children« je bil oceniti vpliv kratkotrajne izpostavljenosti različnim stopnjam onesnaženosti zraka na akutne bolezni dihal pri otrocih v Rio de Janeiru v Braziliji.

Vzorec je vključeval vse otroke v starosti od 1 meseca do 12 let, ki so bili napoteni v eno izmed treh javnih bolnišnic v Riu de Janeiru v obdobju od 1 aprila 2002 do 31 marca 2003 zaradi akutnih respiratornih simptomov. Diagnoza je bila potrjena s strani pediatrov. Podatke o onesnaženosti zraka so raziskovalci pridobili iz mreže merilnih naprav avtomatskega monitoringa kakovosti zraka in sicer za PM_{10}, SO_2, NO_2, CO in O_3. Za statistično analizo je bila uporabljena Poissonova regresija. Končni model je vključeval tudi moteče naslednje dejavnike/spremenljivke: meteorološke parametre (temperatura, relativna vlažnost, smer in hitrost vetra, število deževnih dni) ter sezonska nihanja posameznih onesnaževal.

Rezultati študije so pokazali, da so bolnišnice, vključene v študijo, v času opazovanja sprejele 45.596 otrok zaradi težav z dihanjem. Registrirano je bilo skupaj 17.477 diagnoz, povezanih s spodnjimi dihalnimi potmi in 28.754 diagnoz, povezanih z zgornjimi dihalnimi potmi. Večina otrok je imela lokalne simptome. Povprečna dnevna koncentracija PM_{10}, CO, NO_2 in O_3 ni presegala priporočene dnevne mejne vrednosti brazilske Nacionalne komisije za okolje. Število obiskov v bolnišnici je bilo

povečano na začetku meseca hladnejšega dela leta. Dokazana je bila statistično značilna povezava med učinkom izmerjenih vrednosti O_3 in pogostostjo bolezni dihal pri proučevani populaciji.

Reziskovalci so na podlagi rezultatov študije zaključili, da so v času študije ugotovili povezavo med različnimi stopnjami onesnaževanja zraka in boleznimi dihal pri otrocih. Kljub temu, da so vrednosti izmerjenih onesnaževal v časom študije variirale, le-te niso presegle priporočene mejne vrednosti. Omenjeno dejstvo kaže na to, da bi bilo nujno potrebno spremeniti mejne vrednosti posameznih onesnaževal.

Študije mešanega tipa

Ekološke študije mešanega tipa so študije, ki združujejo osnovne značilnosti večskupinskih študij prostorske variabilnosti in študija časovnih trendov. Z njimi skušamo istočasno identificirati trende spreminjanja epidemiološke stopnje opazovanega zdravstvenega pojava (npr. incidence) (spremenljivko Y) ob sočasnem spreminjanju izpostavljenosti (spremenljivka X) v istem časovnem obdobju v več skupinah prebivalcev (npr. v skupinah prebivalcev, ki živijo na več različnih geografskih območjih). Tako sta narejeni dve vrsti primerjav hkrati: primerjava spreminjanja v času in primerjava razlike med skupinami.

Skupnostni poskusi

Skupnostni poskusi (community trials) so poskusi, v katerih so enote dodelitve intervencije in opazovanja rezultatov le-te celotne skupnosti. Tovrstni poskusi torej vključujejo in opazujejo skupino ljudi kot celoto (npr. celotno prebivalstvo nekega geografskega območja). So posebna oblika terenskih poskusov, ki jih izvajamo na individualni ravni (field trials), in ki jih bomo podrobneje predstavili kasneje.

Splošna zasnova skupnostnih poskusov je podobna splošni zasnovi drugih poskusov. Načeloma imamo skupino enot, v kateri izvajamo intervencijo in drugo skupino enot, v kateri intervencije ne izvajamo. Da bi ocenili uspešnost intervencije, po določenem času primerjamo med obema skupinama kazalnik, ki smo ga izbrali v naprej. Enote v intervencijsko in neintervencijsko skupino lahko dodeljujemo naključno ali ne, a tudi v tej vrsti raziskav je naključno uvrščanje enot opazovanja med poskusne in kontrolne idealen postopek. Razlika je ta, da pri skupnostnih poskusih naključimo (slučajimo) skupine ljudi, skupnosti ali celo cele populacije in ne posameznike v njih. Ta postopek imenujemo naključno izbiranje skupin (cluster randomization). V okoljskih intervencijskih raziskavah, pri katerih je načeloma ukrep sprememba v okolju, je randomizacijo uporabiti zelo težko, vendar pa zelo priporočljivo. V večini okoliščin je narava okoljskih intervencij taka, da je potrebna premišljena odločitev o tem, v kateri populaciji bomo okoljski ukrep uporabili. Predvidevanje, da bo incidenca bolezni v populaciji, v kateri so bo uporabil ukrep, pred in po ukrepanju pokazala, če ukrep deluje, je lahko velika skušnjava, zato je pametno imeti sočasno nezdravljeno populacijo kot kontrolo.

Ne glede na to, da je poskusov v okoljski epidemiologiji malo, še posebej skupnostnih poskusov, pa poznamo vrsto pomembnih tovrstnih raziskav. Eni najbolj znanih

skupnostnih poskusov so poskusi, ki so vrednotili učinkovitost fluoridacijskih intervencij. Prvi takšen poskus je bil skupnostni poskus učinkovanja fluoriranje vode v mestu Grand Rapids v ZDA, ki se je začel januarja 1945. Kot kontrola je služilo bližnje mesto Muskegon. V naslednjem letu so sledili podobni poskusi drugod v ZDA in Kanadi (Brantford, Ontario; Evanston, Illinois; Newburgh, New York). Tem poskusom so sledili številni tudi drugod po svetu. Kot primer ene od prvih raziskav predstavljamo raziskavo Asta in sodelavcev, ki so ocenjevali učinkovitost fluoriranje vode v Newburghu po treh letih intervencije (Primer 8).

PRIMER 8

Cilj študije Asta in sodelavcev z naslovom »The Newburgh-Kingston caries fluorine study. Dental findings after three years of water fluoridation« je bil oceniti, ali bi povečana koncentracija fluorida v pitni vodi lahko že po treh letih zmanjša pogostost karioznih, izruvanih in zalitih stalnih zob.

V letu 1944 je bil dokončan načrt intervencijske študije flouridacije vode, v kateri naj bi sodelovali mesti Newburgh in Kingston iz države New York v ZDA. Mesto Newburgh je bilo naključno izbrano kot intervencijsko, kar je pomenilo, da naj bi v njem potekala fluoridacija vode. Mesto Kingston je bilo naključno izbrano kot kontrolno – prebivalci naj bi pili še naprej vodo brez dodanih fluoridov. V juniju 1944 so se začeli izhodiščni zobozdravstveni pregledi. Obe mesti se nahajata ob reki Hudson in sta približno 30 kilometrov narazen. V vsakem mestu je v tistem času živelo približno 30.000 prebivalcev. Podnebje obeh mest je bilo podobno. Prav tako je bila na začetku te študije podobna oskrba z vodo in je ostala primerljiva še naprej, edena razlika je bilo dodajanje natrijevega fluorida v vodo mesta Newburgh. Fluoridacija je stekla 2. maja 1945. Dosežena vsebnost fluora je bila 1,0-1,2 ppm. Vse zobozdravstvene preglede v Newburghu in prvo serijo pregledov v Kingstonu je opravil isti preiskovalec. Nadaljnje preglede v Kingstonu sta z isto tehniko izvedla dva posebej usposobljena zobna higienika.

Stopnja izraslih stalnih zob z očitnimi dokazi karioznosti (kariozni, izruvani ali zaliti zobje) se je v treh letih v mestu Newburgh zmanjšala od 21% pred uvedbo fluoridacije vode na 14,8%. V Kingstonu je v istem obdobju stopnja ostala približno 21. Razlika med Newburgh in Kingston je po treh letih tako nakazala 30% izboljšanje stanja v Newburghu.

Avtorji so zaključili, da je razlika med Newburghom in Kingstonom, kot je bila predstavljena v tej študiji, pokazala na možno korist fluoridacije vode. Zaključili so še, da je pričakovati, da bodo dokončne rezultate o učinkovitosti in varnosti tega profilaktičnega ukrepa proti zobnemu kariesu pokazale šele študije po predvidoma 10-12 letih.

Primer novejše raziskave tega tipa je raziskava Mariña in sodelavcev, ki so v skupnostnem poskusu proučevali učinke fluoriranje mleka v prahu v Čilu (Primer 9).

PRIMER 9

Cilj študije Mariña in sodelavcev v raziskavi »A community trial of fluoridated powdered milk in Chile« je bil ovrednotenje učinkovitosti programa za preprečevanje zobnega kariesa, katerega namen je bil preprečiti zobni karies pri otrocih, starih od 3 do 6 let.

Opazovana skupina so bili otroci v podeželski skupnosti Čila, ki so uživali flurirano mleko v prahu in fluorirane mlečne izdelke. Starši oziroma skrbniki otrok so podpisali soglasje o uživanju fluoriranega mleka in mlečnih izdelkov ter občasnih zobozdravstvenih pregledih. V študijo je bilo vključenih okoli 1000 predšolskih otrok v dveh podeželskih skupnostih Čila - Codegue (proučevana skupnost, v kateri je potekala intervencija) in La Punte (kontrolna skupnost, v kateri intervencija ni potekala). Skupnosti sta bili izbrani na podlagi geografske bližine, velikosti in podobnosti glede na razširjenost opazovanega pojava v raziskavi. Dnevni odmerek fluorida iz fluoriranega mleka v prahu je bil ocenjen na 0,25 mg za dojenčke (0-2 let), 0,5 mg za otroke v starosti 2-3 let in 0,75 za otroke, stare od 3-6 let. Razmerje med koncentracijama fluorja in kreatinina je bilo določeno v vzorcih urina sodelujočih otrok. Izhodiščna vrednost je bila pridobljena za 30 otrok iz vsake skupnosti pred začetkom fluriranja mleka. Klinični pregledi so potekali na začetku šolskega leta. Dentalni status je bil ocenjen z indeksom KEP (kariozni, ekstrahirani in plombirani zobje na osebo). Presečni vzorci indeksa KEP pri otrocih, starih 3-6 let, so bili odvzeti v skupnosti Codegua od leta 1994 do leta 1999 ter v skupnosti La Punta od leta 1997 do leta 1999.

Rezultati primerjave podatkov iz leta 1994 s podatki iz leta 1999 so pokazali znatno zmanjšanje indeksa KEP pri otrocih, starih od 3 do 6 let (72%). Primerjava s kontrolno skupino v letu 1999 je pokazala, da je bilo v kontrolni skupini zmanjšanje statistično značilno manjše (le 41%). Otroci vseh starostnih skupin, ki so bili vključeni v skupnostni poizkus, so imeli bistveno nižji KEP kot otroci v kontrolni skupnosti. Odstotek znižanja je bil v razponu 25% (4-letniki) in 61% (3-letniki). Delež otrok brez kariesa je v proučevani skupini narasel iz 22,0% na 48,4%.

Raziskovalci so na podlagi rezultatov raziskave zaključili, da bi v čilskih razmerah na podeželskih območjih Čila bili flurirano mleko in mlečni izdelki učinkovita izbira ukrepa za preprečevanje kariesa pri otrocih. Predvsem na območjih, kjer ne bi bilo mogoče izvesti floriranje vode.

Raziskave na ravni posameznika

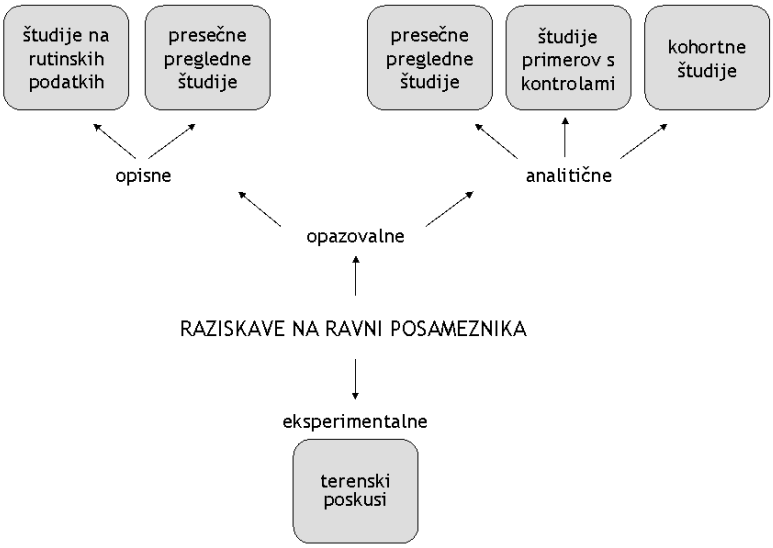
Epidemiološke raziskave na ravni posameznika so veliko bolj znane in veliko bolj čislane kot do sedaj predstavljene raziskave na populacijski ravni.

Tudi epidemiološke raziskave na ravni posameznika razvrščamo na podoben način kot pri raziskavah na populacijski ravni:

- Prva razvrstitev raziskave na ravni posameznika razvršča na opazovalne in eksperimentalne oziroma poskuse. Med opazovalne sodijo presečne pregledne raziskave, študije perimerov s kontrolami in kohortne študije, medtem ko med eksperimentalnimi zasnovami na ravni posameznika v okoljski epidemiologiji zasledimo terenske poskuse.
- Druga razvrstitev raziskave na ravni posameznika razvršča glede na to, ali z njimi samo opisujemo opazovane pojave ali z njimi analiziramo v naprej postavljene hipoteze na opisne in analitične. Pri tem se opazovalne raziskave delijo na opisne in analitične, dočim so eksperimentalne raziskave vedno samo analitične.

Opisne raziskave ponavadi temeljijo na rutinsko zbranih podatkih v okviru zdravstvene statistike, lahko pa podatke črpamo iz občasnih raziskav, najpogosteje iz presečnih preglednih raziskav.

Analitične raziskave na ravni posameznika so tiste raziskave, ki se v epidemiološki znanstveni literaturi najpogosteje omenjajo. Medne sodijo presečne pregledne raziskave, študije perimerov s kontrolami in kohortne študije (Slika 2).



Slika 2-2: Tipi raziskav na ravni posameznika v okoljski epidemiologiji.

Opisane epidemiološke metode so mišljene bolj za pridobivanje okvirnih kot pa neposrednih dokazov. Neposredni dokaz bi dobili z odstranitvijo potencialnega okoljskega dejavnika bolezni. Namreč, če je ta dejavnik resnično vzrok za bolezen, ki jo proučujemo, potem bo odstranitev dejavnika zmanjšala incidenco bolezni. Če se s takim ukrepom pogostost novih primerov bolezni ne zmanjša, potem opazovani dejavnik ni vzročni dejavnik. Seveda pa resnično življenje ni tako preprosto kot ta logični primer in poskusi zmanjšanja bolezni lahko spodletijo, ker je odstranitev povzročitelja težka ali celo nemogoča.

Presečne pregledne raziskave

So opazovalne raziskave na individualni ravni raziskovanja okoljskega zdravja, s katerimi raziščemo pogostost in lastnosti pojavov v izbranem trenutku. Izbrani trenutek je največkrat časovno okno, znotraj katerega zbiramo podatke (na primer koledarski mesec). Njihove značilnosti v okoljski epidemiologiji so naslednje:

- z njimi posnamemo prevalenco pojavov, zato jih imenujemo tudi »prevalenčne raziskave«;

- v tovrstnih raziskavah ponavadi ne vemo, koliko časa opazovanci že imajo bolezen, ki jo opazujemo, saj sprašujemo le o tem, ali opazovanci bolezen v času raziskave imajo ali ne;
- podatke običajno zbiramo z anketami, vprašalnike pri tem lahko vročamo po pošti, ali pa ljudi sprašujemo s pomočjo telefonskih ali osebnih anketarjev;
- za kvaliteto tovrstnih raziskav je odločilnega pomena pravilno izbrati opazovance. Zagotoviti moramo, da so udeleženci v preglednih presečnih raziskavah čim boljši predstavniki populacije o kateri bi želeli na podlagi rezultatov raziskave sklepati, sicer bi lahko prišlo do pristranosti izbire. Najboljši način za zagotavljanje tega je naključno vzorčenje, nato pa spodbujanje ljudi, izbranih v vzorec, da se raziskave v čim večjem številu udeležijo;
- opazovani pojavi so na eni strani različna zdravstvena stanja, na drugi strani pa okoljski dejavniki tveganja za ta stanja;
- dragocene so za pridobivanje podatkov o motečih dejavnikih za ekološke raziskave.

Presečne pregledene študije ali raziskave so primerne za opisovanje stanja, ob večji previdnosti pri interpretaciji pa lahko služijo tudi kot analitične raziskave.

Primer presečne pregledne raziskave v okoljski epidemiologiji je raziskava Langkulsna in sodelavcev o dihalnih simptomih in pljučni funkciji osnovnošolskih otrok v Bangkoku, kjer vdihavanje visokih koncentracij prašnih delcev (PM_{10}) v zunanjem zraku predstavlja enega izmed pomembnih okoljskih problemov (Primer 10).

PRIMER 10

Cilj Langkulsna in sodelavcev v študiji z naslovom »Respiratory symptoms and lung function in Bangkok school children« je bil oceniti povezavo med različnimi stopnjami onesnaženosti zraka in dihalnimi simptomi, pljučno funkcijo s pomočjo ATS-DLD-78-C (Questionnaire for asthma diagnosis in children under 13 years of age) vprašalnika in testi spirometrije med šolskimi otroci.

Vzorec je skupaj vključeval 878 šolskih otrok v starosti od 10-12 let ter 13-15 let. Odzivnost na raziskavo je bila 82%. Podatke o onesnaženosti zraka s prašnimi delci (PM_{10}), so v obdobju opazovanja od maja do avgusta 2004, pridobili v okviru državnega monitoringa. Na podlagi le-teh so območje proučevanja razvrstili na zelo onesnaženo območje ob cesti, zelo onesnaženo območje, zmerno onesnaženo območje ob cesti in manj onesnaženo območje kot kontrolno. Podatke o kroničnih boleznih dihal so pridobili s pomočjo ATS-DLD-78-C vprašalnika in testi spirometrije. Za statistično analizo je bila uporabljena logistična regresija.

Analiza rezultatov je pokazala, da imajo otroci, ki živijo na območju, ki je bilo

opredeljeno kot zelo onesnaženo, večje obete za bolezni dihal v primerjavi s tistimi, ki živijo na manj onesnaženem območju. Obete za imeti kronično bolezen dihal pri otrocih, ki živijo na zelo onesnaženem območju ob cesti in zelo onesnaženem območju je tako za 2,44-krat [95% interval zaupanja: 1,21-4,93] in 2,60-krat [95% interval zaupanja: 1,38-4,91] večje kot pri otrocih, ki živijo na manj onesnaženih območjih. Na razširjenost kroničnih bolezni dihal sta statistično značilno vplivali lokacija stalnega prebivališča in število družinskih članov, starost otrok je bila statistično značilno povezana z okvaro pljučne funkcije, medtem ko dejavniki kot so spol, starost, število let bivanja na stalnem prebivališču, velikost bivališča, uporaba klimatskih naprav, kajenje staršev in domače hišne živali niso bili statistično značilno povezani z razširjenostjo kroničnih bolezni dihal.

Glede na rezultate študije so avtorji zaključili, da je razširjenost kroničnih bolezni dihal bila večja pri otrocih na območjih, kjer je bila stopnja onesnaženja zraka večja v primerjavi s tistimi območji, kjer je stopnja onesnaževanja zraka bila manjša.

Raziskave primerov s kontrolami

So opazovalne analitične epidemiološke raziskave na individualni ravni raziskovanja okoljskega zdravja s katerimi preučujemo povezanost med boleznijo in dejavniki tveganja zanjo na ta način, da primerjamo podatke o izpostavljenosti delovanju dejavnikom tveganja v preteklosti v skupini oseb z boleznijo (skupina primerov) s podatki skupine oseb brez opazovane bolezni (kontrolna ali referenčna skupino). Njihove najpomembnejše značilnosti so naslednje:

- ker se začnejo, ko je bolezen že prisotna in opazujejo dogajanje v preteklosti, jih imenujemo tudi retrospektivne raziskave - ob prisotnem opazovanem pojavu z njimi iščemo morebitne vzroke za njegov nastanek v preteklosti;
- uporabimo jih, kadar je opazovani pojav redek, kadar je predklinična faza bolezni dolga, ali pa kot pripravo na kohortno raziskavo;
- jasna in natančna opredelitev primerov je za tovrstne raziskave bistvenega pomena. Imeti moramo objektivne kriterije za opredelitev – histološki izvid. Z zagotavljanjem, da so primeri res primeri, povečujemo možnost odkritja pomembne vzročne povezanosti med opazovanim pojavom in dejavniki tveganja;
- prav tako je pomemben tudi način vzorčenja kontrol. Kontrole morajo ustrezati istim kriterijem kot primeri, razlika je le v odsotnosti bolezni. Predstavljati morajo populacijo iz katere so vzeti primeri, če ne lahko pride do pristranosti izbire. Izvor kontrol je lahko različen: populacija, sorodniki, prijatelji, sosedje, drugi bolniki v bolnišnici;
- tovrstne raziskave omogočajo zbiranje informacij ne samo o ključni izpostavljenosti, temveč tudi o drugih

dejavnikih, ki bi lahko vplivali na pojav opazovanega zdravstvenega stanja, tako da je mogoče nadzorovati tudi morebitne moteče dejavnike, ki prav tako vplivajo na proučevano bolezen (podatki o življenjskem slogu, poklicu, zdravju in drugih lastnostih obravnavanih oseb);
- nudijo možnost hkratnega proučevanja več predhodnih izpostavitev;
- s temi raziskavami lahko, če so le pravilno izvedene, pridobimo ključne informacije o okoljskih determinantah bolezni.

Primer študije primerov s kontrolami v okoljski epidemiologiji je študija Karakatsanija in sodelavcev o povezanosti med onesnaženostjo zraka in pojavljanjem kroničnih pljučnih bolezni pri prebivalcih Aten (Primer 11).

PRIMER 11

Cilj Karakatsanija in sodelavcev v študiji z naslovom »Air pollution in relation to manifestations of chronic pulmonary disease: A nested case–control study in Athens, Greece« je bil oceniti učinke dolgotrajne izpostavljenosti (dvajsetletne) onesnaženemu zraku na razvoj kroničnega bronhitisa in/ali kronične obstruktivne pljučne bolezni v Atenah.

Študija je bila umeščena v evropsko prospektivno raziskavo za raka in prehrano (EPIC- European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition) v sedmih evropskih državah v letu 1996. Del študije je bila tudi Grčija. V okviru izvedene študije so izpolnili anketni vprašalnik dve leti po zaključku predhodne raziskave. Odzivnost je bila 53%. Od vključenih jih je 168 poročalo o težavah z boleznimi dihal v preteklosti in so jih uvrstili med primere. 148 anketiranih v preteklosti ni imelo omenjenih težav in so jih uvrstili med kontrole. Sodelujoči v raziskavi (primeri in kontrole) so bili napoteni k pulmologu, opravili so test spirometrije in izpolnili anketni vprašalnik. Vprašalnik je bil sestavljen iz vprašanj o respiratornih simptomih, uporaba zdravil, razvade in morebitna poklicna izpostavljenost. Podatke o onesnaženosti zraka so pridobili iz avtomatskih merilnih postaj v Atenah iz obdobja 1987 do 1997. Na podlagi podatkov stalnega prebivališča in lokacije zaposlitve so za vsakega udeleženca v študiji izračunali individualno izpostavljenost onesnaženemu zraku. Logistični regresijski modeli so bili uporabljeni za statistično analizo.

Rezultati so pokazali, da so primeri bolj izpostavljeni onesnaženemu zraku v primerjavi s kontrolno skupino. Primeri so imeli dvakrat večje tveganja za imeti kronično bolezen dihal v primerjavi s kontrolami.

Avtorji so zaključili, da so rezultati študije pokazali, da dolgotrajna izpostavljenost onesnaženemu zraku predstavlja pomemben dejavnik v razvoju kroničnih bolezni dihal, predvsem kronične obstruktivne pljučne bolezni.

Primer še ene študije tega tipa je Študija Liouja in sodelavcev, ki so proučevali okoljske dejavnike Parkinsonove bolezni (Primer 12).

PRIMER 12

Cilj Liouja in sodelavcev v študiji z naslovom »Environmental risk factors and Parkinson's disease: a case-control study in Taiwan« je bil raziskati okoljske dejavnike tveganja za Parkinsonovo bolezen na Tajvanu.

Raziskava je potekala na 120 bolnikih s Parkinsonovo boleznijo (primerih) in 240 kontrolnih osabeh (kontrolah), ki so jih izbrali v bolnišnici, in ki so se ujemali z bolniki v starosti (±2 leti) in spolu. S pomočjo strukturiranega odprtega vprašalnika so izvedli intervju, s katerim so pridobili anamnestične podatke o izpostavljenosti okoljskim dejavnikovm, vključno s krajem stalnega prebivališča, virom pitne vode, ter podatke o okoljski in poklicni izpostavljenosti različnim kemikalijam, ki se uporabljajo v kmetijstvu.

Rezultati univariatne analize so pokazali, da so bivanje v podeželskem okolju, kmetovanje, uporaba herbicidov/pesticidov in uporaba paraquata v anamnezi povezani s povečanim tveganjem za Parkinsonovo bolezen v smislu odnosa doza-odgovor. Po prilagoditvi sočasno na več dejavnikov tveganja z metodo pogojne logistične regresije, sta uporaba herbicidov/pesticidov in uporaba paraquata v anamnezi ostala statistično značilno povezana z opazovanim izidom. Tveganje za Parkinsonovo bolezen je bila večja pri osebah, ki so uporabljale paraquat in druge herbicide/pesticide, kot pri osebah, ki so uporabljale samo druge herbicide/pesticide razen paraquata. Med bolniki s Parkinsonovo boleznijo in kontrolnimi osebami ni bilo bistvenih razlik v poklicni izpostavljenosti kemikalijam, težkim kovinam in mineralom. Trajanje uživanja izvirske vode in uživanje alkohola ni bilo značilno povezano s Parkinsonovo boleznijo. Med kajenjem cigaret in Parkinsonovo boleznijo so rezultati pokazali obratno sorazmerje.

Avtorji so na podlagi teh rezultatov zaključili, da na Tajvanu okoljski dejavniki, zlasti izpostavljenost paraquatu in tudi drugim herbicidom/pesticidom, lahko igra pomembno vlogo pri razvoju Parkinsonove bolezni.

Kohortne raziskave

So opazovalne analitične raziskave na individualni ravni raziskovanja okoljskega zdravja, pri katerih v opredeljeni populaciji, ali delu nje, identificiramo katere osebe so, so bile (historične kohortne raziskave), ali bodo izpostavljene delovanju dejavnika tveganja, za katerega domnevamo, da je povezan z nastankom nekega določenega pojava, povezanega z zdravjem prebivalcev, nato pa pri njih v daljšem časovnem obdobju (ponavadi več let) opazujemo, ali se pojav razvije, ali ne. Z njimi torej raziskujemo incidenco opazovanega zdravstvenega pojava (zato jih imenujemo tudi »incidenčne raziskave«). Njihove značilnosti so naslednje:

- začetna točka tovrstnih raziskav je izbor opazovane skupine ali kohorte. Nato ugotovimo oziroma opredelimo, kateri člani kohorte so izpostavljeni delovanju dejavnika tveganja. Celotni kohorti se nato sledi v času. Na koncu primerjamo frekvenco novih pojavov bolezni (incidenco bolezni) v skupini izpostavljenih s frekvenco v skupini neizpostavljenih;
- ker se kohorti sledi v času, gre za t.im. »longitudinalne raziskave«;

- uporabimo jih kadar je opazovani pojav pogost, kadar je predklinična faza bolezni kratka ali kadar sumimo na močno etiološko (vzročno) vlogo dejavnika tveganja;
- pred začetkom raziskave moramo imeti natančno postavljeno raziskovalno hipotezo z jasno opredeljeno izpostavljenostjo in predvideno posledico izpostavljenosti (pojav bolezni);
- kriteriji za vstop oseb v kohorto morajo biti opredeljeni pred začetkom raziskave na jasen in nedvoumen način. V kohorto lahkop vstopijo le osebe, ki izpolnjujejo vse kriterije. Ker vstop poteka postopoma, moramo za vsakega opazovanca zabeležiti točen čas vstopa. Tudi kriteriji za izstop iz sledenja kohorti morajo biti jasni in znani že na začetku raziskave. Primerjalna skupina (neizpostavljeni) mora biti skupini izpostavljenih kolikor se da podobna v porazdelitvi vseh dejavnikov, ki bi lahko bili povezani s pojavom, katerega incidenco opazujemo, razen preučevane izpostavljenosti.
- glede na to, kdaj merimo izpostavljenost ločimo prospektivne in historične kohortne raziskave. O prospektivnih kohortnih raziskavah govorimo takrat, ko podatke začnemo zbirati, ko opredelimo kohorto. Na začetku opredelimo, katere osebe so izpostavljene in katere ne. Obema skupinama nato med potekom raziskave sledimo in opazujemo, ali se pri njih pojavi bolezen. V historičnih kohortnih raziskavah pridemo do podatka o izpostavljenosti in pojavu bolezni iz različnih vrst zapisov (medicinskih, delodajalčevih…). Historične kohortne raziskave so primerne za opazovanje zdravstvenih pojavov z daljšim predkliničnim obdobjem.
- prospektivne kohortne raziskave so med opazovalnimi raziskavami najbolj podobne eksperimentalnim raziskavam. Podobne so jim v tem, da se opazovancem sledi prospektivno. Poleg tega so lahko tudi etično vprašljive, saj se lahko zgodi, da bi morali v dogajanje poseči in ga ne le opazovati, da opazovancem ne bi škodovali, a jim zaradi narave tega tipa raziskave ne smemo. Od eksperimentalnih raziskav jih loči to, da subjekti izpostavljenosti dejavniku tveganja niso dodeljeni naključno in niso pod nadzorom raziskovalca.
- te raziskave so običajno dosti večje in praviloma veliko dražje od raziskav primerov s kontrolami.

Primer kohortne raziskave je raziskava Zanobettijeve in sodelavcev, ki so proučevali, ali je dolgotrajna izpostavljenosti trdnim delcem v zraku povezana s preživetjem oseb s kronično obstruktivno pljučno boleznijo (Primer 13).

PRIMER 13

Cilj študije Zanobettijeve in sodelavcev z naslovom »Particulate air pollution and survival in a COPD cohort« je bil oceniti vpliv dolgotrajne individualne izpostavljenosti trdnim delcem v zraku na preživetje oseb s kronično obstruktivno pljučno boleznijo (KOPB), saj le-ti lahko povzročajo zoženje dihalnih poti, s tem pa povečajo delo dihanja in poslabšajo prezračevanje pljuč. Poleg tega lahko nekateri delci povzročijo poškodbe epitelijskih celic, pljučni edem in morda tudi fibrozo.

Z uporabo podatkov sistema Medicare o bolnišničnih odpustih med letoma 1985 in 1999 v 34 mestih ZDA so avtorji sestavili osnovno skupino oseb, ki so bile žive odpuščene z diagnozo KOPB. Osebe, ki so umrle v obdobju treh mesecev po uvrstitvi v skupino, so bile izključene iz študije. Medicare je posredoval tudi podatke o starosti, spolu, rasi, številu dni v intenzivni negi ter o dejavnikih, ki bi lahko motili oceno tveganja za umret (sočasne bolezni: atrijska fibrilacija, miokardni infarkt, sladkorna bolezen, srčno popuščanje in esencialna hipertenzija). Osebe, ki so bile žive 1. januarja leta, ki je sledilo uvrstitvi v osnovno skupino, so bile vpisane v kohorto za spremljanje. Obdobja spremljanja so bila koledarska leta. Podatke o trdih delcih PM_{10}. (trdi delci v zraku z aerodinamičnim premerom manj kot 10 mikrometrov) so avtorji pridobili iz sistem US Environmental Protection Agency's Aerometric Information Retrieval System za leta 1985 do 1999. 12-mesečna povprečja PM_{10}. so bila združena v povprečje za posamezno leto v vsakem mestu. Za analizo so uporabili Coxov model sorazmernostnih tveganj s prilagoditvijo na zgoraj naštete dejavnike tveganja. Rezultati so bili izraženi kot razmerje ogroženosti (hazard ratio; HR) za 10 µg/m3 intervale vrednosti PM_{10}.

V proučevanem obdobju je bilo iz bolnišnic odpuščenih 1.039.287 oseb z diagnozo s KOPB, od tega jih je 57% umrlo pred koncem tega obdobja. Povprečno trajanje spremljanja je bilo 4,5 leta z razponom časa preživetja od 1 do 14 let. Rezultati Coxove regresije so pokazali pomembno povezanost umrljivosti s HR 1,11 (95% IZ: 1,06-1,15) s povečanjem PM_{10} v preteklem letu ($p < 0.001$). Podobni so bili rezultati pri opazovanju vsote učinkov izpostavljenosti PM_{10} v 4-letnem obdobju: HR 1,22 (95% IZ: 1,17-1,27) ($p < 0.001$).

Avtorji so na podlagi teh rezultatov zaključili, da imajo osebe, ki so bile žive odpuščene iz bolnišničnega zdravljenja z diagnozo KOPB, večje tveganje za umret, če so izpostavljene višjim koncentracijam trdih delcev v zraku. Tveganje je očitno tako za izpostavljenost v preteklem letu kot tudi za izpostavljenost v 4-letnem obdobju. Ta tveganja so bila znatno večja od tistih, ki so jih opazili v predhodnih študijah časovnih vrst.

Kohortne raziskave so posebej uporabne v epidemiologiji poklicnih bolezni pri spremljanju skupin zaposlenih, izpostavljenih kemičnim ali fizikalnim snovem s sumom na povečanje tveganja za rak ali druge bolezni. Primer takšne raziskave je študija Albersa in sodelavcev, ki so raziskovali povezanost med poklicno izpostavljenostjo klorpirifosu (široko uporabljan organofosfatni insecticid) in motnjami perifernega živčnega sistema (Primer 14).

Primer 14

Cilj študije Albersa in sodelavcev z naslovom »The effects of occupational exposure to chlorpyrifos on the peripheral nervous system: a prospective cohort study« je bil ugotoviti, ali kronična poklicna izpostavljenost klorpirifosu na ravni, ki je povezana z različnimi vidiki proizvodnje, povzroča klinično očitno ali prikrito obliko periferne nevropatije.

Avtorji so v študiji proučevali dve skupini delavcev, zaposlenih v kemičnih industriji Dow Chemical Company, Midland, Michigan, ZDA. Prva skupina so bili delavci, zaposleni v proizvodnji klorpirifosa, z znano in merljivo izpostavljenostjo klorpirifosu, vendar brez poklicne izpostavljenosti drugim organofosfornim insekticidom ali drugim neurotoksinom. Druga skupina so bili delavci brez poklicne izpostavljenosti klorpirifosu ali drugim znanim ali domnevnim neurotoksinom. Delovanje perifernega živčnega sistema obeh skupin je bilo ocenjeno ob začetku študije in po presledku enega leta. Ocena izpostavljenosti klorpirifosu delovnem okolju je bila pridobljena iz industrijskih higienskih meritev tovarne. Da bi ocenili poklicno izpostavljenost klorpirifosu v preteklosti, so proučili vse zaposlitve posameznega delavca do datuma prvega pregleda v študiji. Izpostavljenost klorpirifosu je bila ocenjena tudi biološko (biološki monitoring) v obdobju opazovanja. Podatke o ne-poklicni morebitni izpostavljenosti insekticidom doma, družinski anamnezi nevroloških bolezni, osebni zdravstveni anamnezi vključno z jemanjem zdravil, in socio-ekonomske podatke, vključno z uživanjem alkohola, so pridobili z osebnim intervjujem ob uporabi standardiziranega vprašalnika. Za analizo razlik v pojavu periferne nevropatije pri proučevani skupini v primerjavi s primerjalno po enem letu opazovanja so uporabili metodo logistične regeresije, za analizo ponovljivih meritev (med začenimi in končnimi meritvami), pa mešane regresijske modele.

Izhodiščne ocene so bile opravljene pri 53/66 opazovancev proučevane (klorpirifos) skupine in 60/74 opazovancev primerjalne (kontrolne) skupine. Končna vrednotenja po enem letu so bila opravljena pri skupaj 111 od 113 opazovancev, pri katerih so bile izvedene izhodiščne meritve. Opazovani skupini sta se močno razlikovali v meritvah izločanja 3,5,6 trikloro-2-pyridinola in aktivnosti plazemske butyrylholinesteraze (BuChE), kar je pomenilo bistveno višjo izpostavljenost pri osebah proučevane skupine. Nekaj oseb je imelo klinično pomembne nevrološke simptome ali znake., vendar rezultati nevrološkega pregleda niso pokazali bistvenih razlik med skupinama ne na začetku ne po enem letu. Nobena oseba iz klorpirifosove skupine ni izpolnila konvencionalnih meril za potrjeno periferno nevropatijo niti pri izhodiščnem pregledu niti pri pregledu po enem letu. Obeti za razvoj katerekoli ravni periferne nevropatije, ki jo je moč diagnosticirati, niso bili med osebami klorpirifos skupine višji v primerjavi z obeti v kontrolni skupini, ne na začetku študije ne po enem letu. Rezultati analize z mešanimi regresijskimi modeli, ki so jih uporabili za oceno prikritih obliki interakcije med skupino in časom, je pokazala številne pomembne razlike v rezultatih nevrološkega pregleda, vendar pa je le nekaj od teh bilo povezanih s skupino.

Na podlagi rezultatov študije so avtorji zaključili, da kronična izpostavljenost klorpirifosu med proizvodnim procesom, ki sicer zadošča za biološke učinke v smislu aktivnosti BuChE, ni povezana s klinično očitno ali prikrito obliko periferne nevropatije po enem letu dodatne izpostavljenosti.

Kohortne raziskave na delovnem mestu pa niso relevantne le za proučevanje izpostavljenosti v delovnem okolju, temveč so relevantne tudi za proučevanje učinkov splošnih izpostavljenosti v okolju. Če med delavci, ki rokujejo z neko snovjo ali so drugače močno izpostavljeni znani/neznani učinkovini, ni povečanega tveganja, je zelo malo verjetno, da bi izpostavljenost tej učinkovini na prostem, ki je običajno pomembno manjše, povečalo tveganje za bolezen.

Terenski poskusi na individualni ravni

Terenski poskusi so študije, ki so podobne randomiziranim kontroliranim kliničnim poskusom, vendar so v nasprotju s slednjimi namenjene testiranju preventivnih ukrepov in ne terapevtskih. Dovzetne osebe so randomizirane v dve skupini – intervencijsko, ki prejme intervencijski ukrep, in v kontrolno skupino.

Ta raziskovalna zasnova ponavadi zahteva večje število vključenih oseb in daljše obdobje sledenja kot randomizirani kontrolirani klinični poskusi, saj je njihov namen preprečiti pojav bolezni, ki se navadno pojavi z relativno nizko frekvenco . Poleg tega, ker osebe, vključene v raziskavo, niso v aktivni zdravstveni oskrbi (npr. v okviru obravnave v zdravstvenem domu) ali celo hospitalizirane v bolnišnici, ne prihajajo na osrednje mesto intervencije. Posledično terenski poskusi pogosto zahtevajo obisk zdravstvenih delavcev pri osebah doma ali na njihovem delovnem mestu. Vse te značilnosti pomenijo, da so terenski poskusi na individualni ravni veliki projekti, ki običajno vključujejo veliko človeških in finančnih virov.

Primer terenskega poskusa je študija Gamblove in sodelavcev, ki so proučevali, ali dodajanje folne kisline znižuje vrednosti arzena v krvi (Primer 15). Slednji je najpogostejši vir zastrupitev s kovinami. Sedanje ocene kažejo, da več kot 100 milijonov ljudi v Indiji, Bangladešu, Vietnamu, Kambodži in Nepalu pije vodo, v kateri so koncentracije arzena do 100-krat višje kot smerna vrednost 10 µg/L Svetovne zdravstvene organizacije. Pri tem je kronična izpostavljenost arzenu povezana z večjim tveganjem za raka na koži, mehurju, pljučih, jetrih ter tveganjem za možgansko kap, ishemično bolezen srca in nevrološke motnje pri odraslih in otrocih.

Primer 15

Cilj študije Gamblove in sodelavcev z naslovom »Folic acid supplementation lowers blood arsenic« je bil ugotoviti, ali dodajanje folne kisline pri odraslih prebivalcih Bangladeša, ki so izpostavljeni arzenu, poveča metilacijo arzena in s tem zmanjša skupni arzen v krvi. Metilacija zaužitega anorganskega arzena (InAs) do monometilarzonične (MMAs) in dimetilarzinične (DMAs) kisline se namreč opira na od folata odvisni metabolizem 1-ogljika in pospešuje izločanje arzena z urinom.

V tem randomiziranem, dvojno slepem, s placebom nadzorovanem terenskem poskusu, so terenske ekipe najprej obiskale domove oseb, ki bi jih potencialno lahko vključili v poskus, ocenile upravičenost vključitve in upravičene osebe povabile k sodelovanju v študiji. Upravičene osebe, ki so privolile, da sodelujejo, so bile nato naključno dodeljene skupini za prejemanje folne kisline (400 µg/d) ali skupini za prejemanje placeba. Vključili so 130 udeležencev z nizko vrednostjo plazemskega folata (<9 nmol/L). Pri njih so ocenili koncentracijo skupnega arzena, InAs, MMAs in DMAs v krvi pred in po 12-tedenskem dodajanju folne kisline ali placeba.

Rezultati so pokazali, da se je MMAs v krvi zmanjšala za srednjo vrednost ±SE 22,24±2,86% v skupini, ki je prejemala folno kislino in za 1,24±3,59% v skupini, ki je prejemala placebo (p<0,0001). Sprememb v DMAs v krvi ni bilo; DMAs se hitro izloča z urinom, kar se je pokazalo kot povečanje DMAs v urinu (p=0,0099). Skupni arzen v krvi se je zmanjšal za 13,62% v skupini, ki je prejemala folno kislino in za 2,49% v skupini, ki je prejemala placebo (p=0,0199).

Avtorji so na podlagi rezultatov študije zaključili, da dodajanje folne kisline osebam z nizko vrednostjo plazemskega folata zniža koncentracijo arzena v krvi, predvsem z znižanjem krvne MMAs in povečanjem urinske DMAs. Zaključili so še, da bi terapevtske strategije za pospeševanje metilacije arzena, zlasti v populacijah z deficitom folata ali hiperhomocisteinemijo ali obojim, lahko znižale koncentracijo arzena v krvi in s tem prispevale k preprečevanju bolezni, ki jih povzroča arzen.

Aktualni izzivi okoljske epidemiologije

Vsebinski izzivi in naloge

Z vsebinskega zornega kota se okoljska epidemiologija v sedanjem času sooča z novimi izzivi. Eden največjih izzivov so gotovo globalne spremembe v naravnem okolju. Zaradi teh sprememb so vse bolj potrebne raziskave njihovih potencialnih vplivov na zdravje (na primer vplivov na zdravje zaradi globalnih temperaturnih sprememb, stanjšanja ozonske plasti, ultravijoličnega sevanja, ipd.).

Izzivi na področju raziskav, ki so usmerjene v ukrepanje

Raziskave na področju okoljskega zdravja na nekem območju se pogosto usmerjajo najprej v ocenjevanje (»dokazovanj«) povezanosti med določenim virom onesnaževanja in pogostostjo negativnih zdravstvenih pojavov, povezanih z onesnaževali iz tega vira. Ker so problemi, ki smo jih navedli prej v tem poglavju, ne samo prisotni, ampak so lahko zaradi ponavadi majhnih populacij, ki so prizadete, še okrepljeni, so takše raziskave pogosto obsojene na neuspeh. Še huje, onesnaževalci rezultate takšnih raziskav lahko s pridom obrnejo celo sebi v prid in jih uporabijo kot »dokaze«, da povezanosti med njihovim onesnaževanjem in boleznimi v prebivalstvu, ni.

Izvajanje takšnih raziskav je torej zelo vprašljivo. Vendar ni vprašljivo samo z metodološkega zornega kota, temveč tudi z vsebinskega. Ali je smiselno ponovno odkrivati tisto, kar je že odkrito? Če je povezava med boleznijo in učinkovino iz okolja že dokazana v številnih predhodnih (in močnejših) študijah v tujini, je smiselno v domačem okolju raziskovanje usmeriti drugam, na primer v raziskovanje, ali se neka škodljiva učinkovina nahaja v okolju, ki ga opazujemo, ali ne, in v kakšnih koncentracijah. In to tako z zornega kota ali se v okolje oddaja (emisije) kot tudi z zornega kota, ali obstaja v bivalnem/delovnem okolju (imisija) ljudi. Če je prisotna, je potrebno ukrepati, ne glede na to, ali »dokažemo« povezanost med boleznijo in učinkovino v proučevanem okolju. Ta naloga terja od raziskovalcev na področju okoljskega zdravja, da prevzamejo tudi aktivno vlogo zagovornika zdravja ljudi na

proučevanem območju. Ta naloga še zdaleč ni enostavna, saj se je potrebno zoperstavljati močnim nasprotnim silam.

OCENJEVANJE IN OBVLADOVANJE TVEGANJA

Izpostavljenost škodljivim dejavnikom ima pomembno vlogo pri pojavljanju različnih bolezni. Dobro so poznani primeri določenih vrst rakastih obolenj, nekaterih bolezni dihal, bolezni živčevja, motnje imunskega sistema, bolezni kosti in gibal, kožna obolenja ali izguba sluha, ki so posledica izposltavljenosti škodljivim dejavnikom v delovnem ali bivalnem okolju. Danes je mnogo poznanega o delovanju fizikalnih, kemičnih in bioloških dejavnikov na zdravje. To znanje pripomore k temu, da je mogoče z ustreznim spreminjanjem dejavnikov okolja zmanjšati določene zdravstvene probleme (ne pa vseh). Različne kombinacije dejavnikov, ki vplivajo na zdravje ljudi, so brez številne. Vsakdo ima prav posebno okolje in osebne lastnosti, ki se razlikujejo od tistih, ki jih imajo drugi. Zaradi tega je razumljivo, da ni univerzalnih ukrepov za varovanje zdravja. Razumevanje načinov in poti, kako specifični dejavniki okolja vplivajo na zdravje, je zato bistvenega pomena pri razvoju strategije za zmanjšanje vpliva škodljivih dejavnikov na zdravje.

Število težkih obolenj, ki so povezana z okoljem, v razvitem svetu v zadnjem obdobju sicer upada, vendar pa to ni vodilo do zmanjšanja zanimanja za proučevanje škodljivosti okolja. Nasprotno. Zaradi povečane ozaveščenosti prebivalstva, številnih tehnoloških možnosti in spoznanja, da ima dolgotrajna izpostavljenost nizkim dozam škodljivih dejavnikov pomemben vpliv na zdravje prebivalstva, je interes za varovanje zdravja še povečan. Težava pa je v izvajanju raziskav, ki bi natančneje pojasnile vrsto in stopnjo tveganja, saj so izsledki pogosto manj zanesljivi, kot pa so bili v preteklosti. Ob napredni tehnologiji in povečani skrbi za zdravje, se je namreč nivo izpostavljenosti škodljivim dejavnikom zmanjšal za večino prebivalstva. Značilno za današnji čas je, da so ljudje izpostavljeni številnim različnim škodljivim dejavnikom, vendar so doze običajno nizke. Vse to pa oteži proučevanje vpliva specifičnega dejavnika na zdravje. Poleg tega je potrebno upoštevati še medsebojni vpliv različnih dejavnikov, kar lahko učinek proučevanega dejavnika poveča ali zmanjša (aditivni, sinergistični in supresivni

učinek). Na ta način je tudi mogoče pojasniti razlike med študijami, ki so potekale v različnih okoljih. Nenazadnje pa je vpliv dejavnikov okolja na zdravje zelo odvisen tudi od osebnih značilnosti posameznikov kot so starost, spol, fizična kondicija in stil življenja.

Namen proučevanja odnosov med škodljivimi dejavniki okolja in zdravjem je, da vpliv dejavnikov spremenimo, ga zmanjšamo ali celo odstranimo. Da bi to lahko dosegli pa moramo škodljive dejavnike predvsem dobro poznati. Proces, v okviru katerega ocenjujemo možne učinke na zdravje ljudi, ki so izpostavljeni dejavnikom tveganja imenujemo oceno tveganja. Postopek izdelave ocene tveganja sestavljajo štiri stopnje (slika 1-3):

- idendifikacija škodljivih dejavnikov,
- ocena odziva na dozo,
- ocena izpostavljenosti in
- določitev tveganja.
-

FAZE OCENJEVANJA TVEGANJA

Identifikacija škodljivih dejavnikov – poteka na osnovi toksikoloških in epidemioloških raziskav. To lahko vključuje opis delovanja snovi v telesu na organski, celični ali molekularni ravni, lahko pa gre za določitev toksičnih učinkov pod eksperimentalnimi pogoji, do katerih bi lahko prišlo pri ljudeh.

Ocena odziva na dozo – tu proučujemo odnos med absorbirano dozo škodljive snovi in škodljivim učinkom na zdravje. Pri tem pogosto uporabljamo ekstrapolacijo podatkov (iz podatkov za visoke doze sklepamo na učinke nizkih doz, iz poskusov na živalih sklepamo na učinke pri ljudeh, iz kratkotrajnih sklepamo na dolgotrajne učinke). Pri raziskavah je treba navesti uporabljeno metodo ekstrapolacije, argumentirati njeno uporabo in oceniti statistična ter biološka odstopanja teh metod.

Ocena izpostavljenosti – pri tem določamo izpostavljenost, treba je upoštevati vse načine vnosa škodljive snovi v telo in določiti izpostavljeno populacijo. Za oceno okolja so potrebne terenske meritve in nadzorni sistemi. V primerih, ko meritve niso možne, izpostavljenost izračunamo s pomočjo matematičnih modelov na podlagi podatkov o emisiji škodljive snovi v okolje.

Določitev tveganja - je združitev prvih treh stopenj postopka ocene tveganja. Ocena tveganja je lahko splošna (na podlagi pričakovane izpostavljenosti in hipotetičnih lastnosti populacije) ali specifična (kakšno je tveganje določene populacije v specifičnem okolju/času).

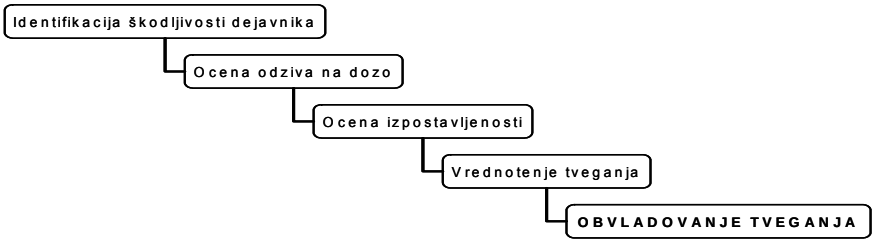
Ocena tveganja je torej proces, s katerim ocenimo verjetnost za nastanek neželenega učinka pri določeni uporabi in znani oziroma predvideni izpostavljenosti. Pristop temelji na ugotovitvi renesančnega učenjaka, zdravnika, alkimista in očeta moderne toksikologije Paracelsusa (1493-1541), ki je ugotovil:

"Vse snovi so strupene. Nobene ni, ki ni strupena. Pravilni odmerek loči zdravilo od strupa". Toksičnost kemikalij se velikokrat poda v obliki LD_{50} vrednosti za podgane. Te vrednosti pomenijo smrtne doze za podgane v miligramih na kilogram telesne teže, pri katerih pogine 50% testnih živali (Preglednica 1-3).

Tveganje je definirano kot verjetnost, da se zaradi izpostavljenosti škodljivemu dejavniku pojavijo negativne posledice. Pomeni torej neželeno posledico določene aktivnosti, v povezavi z verjetnostjo, da se bo ta neželena posledica zgodila. **Nevarnost** je lastnost snovi, da povzroči škodljiv učinek. **Izpostavljenost** je odvisna od koncentracije kemikalije v mediju (voda, zrak, živilo, zemlja) in od časa izpostavljenosti. Za ugotavljanje škodljivosti in izdelavo ocene tveganja za posamezne škodljive dejavnike so potrebni vsaj podatki o kemičnih in fizikalnih lastnostih snovi, načinu vnosa v človeški organizem, količini snovi, ki se v telo absorbira, razporeditev in način metabolizma te snovi v telesu ter narava in obseg zdravstvenih učinkov kemične snovi pri določeni dozi.

Preglednica 1-3: Primerjava različnih letalnih doz (LD 50) za posamezne snovi, to je koncentracij, pri kateri pogine polovica testirane populacije.

SNOV	akutna LD_{50} (mg/kg) za podgane
saharoza	29000
kuhinjska sol	3000
Na-cianid	6,4
nikotin	1
VX(živčni strup)	0,14
toksin butulina	0,00001



Slika 1-3 Potek postopka izdelave ocene tveganja

Pojem ocena tveganja (Risk Assessment) se večkrat zamenjuje s pojmom ocena nevarnosti (Hazard Assessment), ki pa je v resnici definirana kot komponenta oziroma del ocene tveganja in je povezana z oceno učinkov, kar omogoča

opredelitev nevarne lastnosti kemikalije ter se določi razmerje med odmerkom in odzivom (dose-response). Pri oceni tveganja za človeka moramo pripraviti oceno nevarnosti oziroma oceniti toksikološke podatke (akutna strupenost, draženje oči in kože, preobčutljivost kože, dolgodobni učinki, rakotvornost, mutagenost, strupenost za razmnoževanje itd.), ki so jih pridobili s toksikološkimi študijami. Poleg tega moramo predvideti različne izpostavljenosti pri različnih scenarijih. Pri tem si pomagamo z matematičnimi izračuni. Učinek kemikalij je odvisen tudi od lastnosti izpostavljenega organizma. Poleg genetsko določene občutljivosti je izredno pomembna tudi velikost organizma, saj bo imel enak odmerek večinoma večji učinek v manjšem kot v večjem organizmu, saj je koncentracija strupa odvisna od mase zaužitega strupa, ki se porazdeli po volumnu krvi oziroma na enoto teže. Na učinek pomembno vplivajo še starost, spol, prehrambene navade, sočasne bolezni, razvade, zdravila, poklic.

Postopek izdelave ocene tveganja

1. Identifikacija škodljivih dejavnikov

Spoznavanje škodljivih dejavnika okolja, je prva in izredno zahtevna stopnja pri oceni vrste in stopnje tveganj za zdravje. Za vsako snov posebej je potrebno preveriti stopnjo škodljivosti. Problem je v tem, da gre običajno za izsledke, ki temeljijo na eksperimentalnih raziskavah, največkrat na živalih. Pod določenimi pogoji je mogoče predpostaviti, da so učinki proučevanega dejavnika pri ljudeh podobni. Le redko pa obstajajo podatki o tem kako vpliva določena snov, ki nas zanima, na človeka. Različne epidemiološke in toksikološke raziskave nam pomagajo pri pojasnjevanju stopnje škodljivosti proučevanega dejavnika. Podatke o škodljivem dejavniku se ponavadi dobi iz obstoječih epidemioloških študij na ljudeh (v kolikor obstajajo), toksikoloških študijah na modelnih organizmih ter iz ostalih razpoložljivih študij. Najzanesljivejše podatke pridobimo z epidemiološkim proučevanjem poklicno izpostavljenih ljudi oziroma v primeru, ko so bili ljudje izpostavljeni škodljivemu dejavniku zaradi nesreč v okolju. Ker imamo tako dobljenih podatkov malo in še ti so bolj kvalitativne narave, se opravljajo toksikološke študije na živalih in iz tako dobljenih podatkov sklepamo na učinke pri ljudeh. Pri študijah na živalih gre za dobro načrtovane eksperimente, z znanimi koncentracijami izpostavljenosti, mestom vstopa v telo, časom izpostavljenosti, kliničnimi in patološkimi rezultati.

Epidemiološke raziskave imajo veliko prednost pred toksikološkimi, saj je mogoče s pomočjo teh raziskav neposredno določiti vrsto in obseg škodljivosti posameznega dejavnika kot tudi oceno odziva na dozo. Pri izvajanju epidemioloških študij je ključnega pomena jasna definicija bolezni, ki jo proučujemo. Znano mora biti, kateri simptomi, znaki ali druge karakteristike kažejo na to, da je oseba obolela. Zelo jasna mora biti tudi definicija, katera oseba je izpostavljena. Če definicije niso jasno postavljene, je praktično nemogoče interpretirati rezultate študije in delo je bilo zastonj.

Za ugotavljanje, ali je tveganje za pojav določenih posledic za zdravje večje pri izpostavljenih škodljivemu dejavniku kot pri neizpostavljenih, so na voljo različne standardne metode. Pogosto se za kvantitativno prikazovanja tveganja uporabljajo ***stopnja obolevanja, stopnja umrljivosti*** in ***nivo tveganja.***

Stopnja obolevanja nam pove, kolikšen je delež primerov v odnosu na celotno populacijo. Tak podatek je koristen, ko ocenjujemo javno zdravstveni pomen izpostavljenosti določenemu škodljivemu dejavniku. ***Stopnja umrljivosti*** nam pove, koliko oseb umre za posledicami določenih bolezni, ki so povezane s proučevanim škodljivim dejavnikom okolja.

Nekaj več o nevarnosti in škodljivosti dejavnika, ki ga proučujemo pa pove ***relativno tveganje***, kjer primerjamo pojav bolezni v skupini, ki je izpostavljena ter v skupini, ki ni izpostavljena. Nivo tveganja, ki je okrog 1.0, pomeni, da je pojavljanje bolezni v skupini, ki je izpostavljena podobno (enako) kot v skupini, ki ni izpostavljena škodljivemu dejavniku, ki ga proučujemo. Nivo tveganja, ki je večji od 2.0, pa se že smatra za pomembnega. Če je nivo tveganja 5.0, pomeni, da bodo posamezniki v skupini, ki je izpostavljena škodljivemu dejavniku 5 krat bolj pogosto oboleli zaradi določene bolezni, ki je s tem dejavnikom povezana, kot v skupini, ki temu dejavniku ni izpostavljena.

Relativno tveganja se najpogosteje uporablja pri oceni tveganja, uporabljajo pa se tudi nekateri drugi kazalniki. **Razlika tveganja** je absolutna razlika med pojavnostjo bolezni opri izpostavljeni in pri neizpostavljeni populaciji. **Pripisljiv delež izpostavljenih** opisuje delež novih pojavov bolezni v izpostavljeni populaciji zaradi izpostavljenosti, t.j. delež za katerega bi se zmanjšala pojavnost bolezni pri izpostavljenih osebah, če bi izničili škodljivi vpliv izpostavljenosti. **Pripisljiv delež populacije** opisuje delež novih pojavov bolezni v celotni populaciji zaradi izpostavljenosti, to je delež za katerega bi se zmanjšala pojavnost bolezni v celotni populaciji, če bi izničili škodljivi vpliv izpostavljenosti.

$$\textbf{STOPNJA OBOLEVNOSTI} = \frac{\textbf{Število primerov bolezni v izpostavljeni populaciji}}{\textbf{Število oseb v izpostavljeni populaciji}}$$

$$\textbf{RELATIVNO TVEGANJE} = \frac{\textbf{Pojavljanje bolezni v izpostavljeni populaciji}}{\textbf{Pojavljanje bolezni v neizpostavljeni populaciji}}$$

Najpogosteje uporabljena metoda za ocenjevanje smrtnosti v poklicnih epidemioloških raziskavah je izračun **standardiziranega razmerja smrtnosti (SMR)** za skupino. Razmerje SMR je razmerje med opazovanimi primeri smrti v skupini, deljeno s številom smrti, ki bi ga normalno pričakovali v skupini z enaako starostno distribucijo.

$$\text{SMR} = \frac{\text{Opazovani primeri smrti (ali dogodkov) v proučevani populaciji x 100}}{\text{Pričakovano število smrti (ali dogodkov),če bi imela proučevana populacija enako sestavo po starosti in po spolu kot primerjalna (celotna populacija)}}$$

Če ima v določenem primeru SMR vrednost 130, to pomeni, da smo našli za 30 % večjo smrtnost od pričakovane. Ker gre tu za statistične meritve, ne moremo biti nikoli popolnoma prepričani, da do razlik ni prišlo naključno. Statistično pomembnost meritev ponavadi izrazimo s 95 % intervalom zaupanja. Kadar se izračunana vrednost SMR nahaja znotraj tega intervala, je 95 % verjetnost, da gre za statistično pomembno razliko (in 5 % verjetnost, da je razlika zgolj naključna).

Določanje vzročne povezave

Čeprav deskriptivne raziskave ponavadi nakazujejo povezavo med vzrokom in posledico, je za določitev vzroka neke bolezni potrebna uporaba ene izmed analitičnih metod. Izbira metode je odvisna od narave same bolezni, njene pogostnosti v populaciji, pogostnosti domnevnih dejavnikov tveganja, dostopnosti podatkov in izkušenj raziskovalcev.

Pri interpretaciji epidemioloških študij moramo jasno ločiti pojma **povezava** in **vzročna povezava**. O vzročni povezavi govorimo takrat, kadar je jasno razvidno, da se je neka bolezen razvila kot posledica določenega dejavnika okolja (povezava še ne pomeni nujno vzročne povezave!). Ker vrsta znanstvenih poročil navaja povezave med dejavniki okolja in potekom bolezni, so potrebni dodatni kazalniki za ocenjevanje verjetnosti, ali je določena povezava resnično tudi vzročna (vzrok in posledica), ali pa gre le za spremljajoč pojav. Ti kazalniki niso absolutni, vendar so dovolj dobri za objektivno ocenjevanje tovrstne problematike. Za tehten dokaz neke vzročne povezave je potrebno opraviti več različnih raziskav. Pri epidemioloških raziskavah ni mogoče nadzorovati spremenljivk tako kot v toksikoloških raziskavah, zato se v epidemioloških raziskavah pogosto srečujemo s pristranostjo (sistematična napaka) kar seveda terja posebno pozornost raziskovalcev –tako pri načrtovanju in izvedbi študije kot tudi pri interpretaciji rezultatov.

Temeljne zahteve, ki morajo biti izpolnjene pri preizkusu vzročne povezanosti:

- Časovni odnos: ali se vzrok pojavi pred posledico? (nujno)
- Smiselnost: ali se povezava sklada z našim znanjem?
- Mehanizem delovanja: ali se da dokazati na poskusnih živalih?
- Konsistenca: ali so druge raziskave dale podobne rezultate?
- Korelacija: kako močna je povezava med vzrokom in posledico? (relativno tveganje)

- Odziv na dozo: ali je večja izpostavljenost povezana z večjim učinkom?
- Reverzibilnost: ali odstranitev domnevnega vzroka zmanjša tveganje?
- Načrt raziskave: ali dokazi temeljijo na ustreznem načinu raziskave?
- Interpretacija dokazov: koliko različnih dokazov vodi k istemu zaključku?

Identifikacija škodljivih dejavnikov na terenu

Na podlagi toksikoloških in epidemioloških podatkov lahko opredelimo vplive škodljivih snovi na zdravje. V nasprotju z delovnim okoljem je v splošnem nenadzorovanem okolju težje določiti kemično škodljivo snov (na primer na nezakonitih odlagališčih ali opuščenih industrijskih obratih). Če sumimo, da je prišlo do onesnaženja tal, je lahko povzročitelj lahko katerakoli snov. Ključ do identifikacije lahko predstavljajo podatki o pretekli industrijski proizvodnji ali drugih aktivnostih na določenem območju. Na tej podlagi lahko zožimo preiskavo na nekaj snovi. V nasprotnem primeru moramo opraviti kemijsko analizo vzorcev tal, pri čemer seveda ne moremo iskati kar vseh potencialnih škodljivih snovi, temveč iščemo samo najznačilnejše kemijske spojine, ki se pojavljajo v različnih škodljivih kemikalijah, tako imenovane markerje (Preglednica 2).

Pri oceni obnašanja in porazdelitve neke kemikalije v okolju je potrebno upoštevati vse dejavnike okolja, vključno z biotičnimi. Določiti je potrebno možnost da kemikalija v predlaganih pogoji uporabe lahko doseže tla, podtalnico, površinsko vodo ali zrak. Če ta možnost obstaja, sledi ocena stopnje in poti razgradnje ter mobilnosti v tleh, vodi ali zraku. Oceniti je potrebno tudi spremembo celotne koncentracije aktivne snovi, relevantnih metabolitov ter razgradnih in reakcijskih produktov, ki jih glede lastnosti in namena oziroma načina uporabe lahko pričakujemo v tleh, vodi ali zraku.

Pri ocenjevanju se upošteva specifične podatke o obnašanju v okolju ter druge pomembne podatke o aktivni snovi kot so:

- molekulska teža,
- topnost v vodi,
- koeficient porazdelitve oktanol/voda (faktor Kow),
- parni tlak,
- hlapnost,
- konstanta disociacije,
- fotokemična razgradnja in določitev razgradnih produktov,
- stopnja hidrolize glede na pH in določitev razgradnih produktov;

Posebnega pomena so faktorji, ki vplivajo **na obstojnost** (biodegradacija, kemijska degradacija, fotokemična transformacija) in **na transport** v okolju (adsorpcijska izoterma, porazdelitveni koeficient -voda/oktanol, topnost v vodi, parni tlak, gostota, disociacijska konstanta, vnetljivost/eksplozivnost, velikost delcev, pH, UV in Vis absorbcijski spekter).

Preglednica 2-3: Tehnike za identifikacijo polutantov in njihovi principi določanja

Skupina polutantov	**Tehnika določanja**
KOVINE	ICP-AES - induktivno sklopljena plazma z atomsko emisijsko spektroskopijo ICP-MS - induktivno sklopljena plazma z masno spektrometrijo AAS - atomska absorpcijska spektrometrija (s plamensko, grafitno tehniko)
Izjema : Cr (VI)	UV/VIS spektrometrija
LAHKOHLAPNI HALOGENIRANI OGLJIKOVODIKI: Tetraklorometan,Triklorometan, 1,2-dikloroetan , Trikloroeten , Tetrakloroeten , Heksakloro-1,3-butadien , Diklorometan , ...	GC/ECD - plinska kromatografija, detektor na zajetje elektronov z uporabo HS - "head space" tehnike (zajetje hlapov)
LAHKOHLAPNI AROMATSKI OGLJIKOVODIKI – BTX- Benzen, Toluen, Ksilen, Etilbenzen	GC/FID - plinska kromatografija, plamensko ionizacijski detektor z uporabo HS - "head space" tehnike (zajetje hlapov)
Celotni ogljikovodiki-mineralna olja	GC/FID - plinska kromatografija, plamensko ionizacijski detektor
Polarna organska topila -- metanol, aceton, etanol, etilacetat,…	GC/FID - plinska kromatografija, plamensko ionizacijski detektor z uporabo HS - "head space" tehnike (zajetje hlapov)
POLICIKLIČNI AROMATSKI OGLJIKOVODIKI – PAH: Antracen, Naftalen,Fluoranten, Benzo(g,h,i)perilen,Benzo(a)piren, Benzo(k)fluoranten, Benzo(b)fluoranten, Indeno(1,2,3-cd)piren in druge polarne in nehlapne organske spojine	HPLC - tekočinska kromatografija
ANIONI IN KATIONI: (F, Cl, Br, NO2, NO3, PO4, SO4 in Li, Na, K, NH4, Mn, Ca, Mg, Sr, Ba)	ionska kromatografija
Dioksini in furani - PCDD/PCDF	GC/MS - plinska kromatografija z masno selektivnim detektorjem
ORGANSKE KOSITROVE SPOJINE: Organokositrove spojine , Tributilkositrove spojine , Trifenilkositrove spojine	GC/MS - plinska kromatografija z masno selektivnim detektorjem
PESTICIDI, HERBICIDI	GC/MS - plinska kromatografija z masno selektivnim detektorjem
Ostali: sulfid, cianidi, hidrazin,…	UV/VIS spektrometrija

Testi za ugotavljanje učinka kemikalij

Testiranja kemikalij na živih organizmih so se pričela že leta 1933. V okviru toksikoloških preiskav se izvaja 13 osnovnih tipov testiranj: testiranje snovi, ki dražijo oči; snovi, ki dražijo kožo; testi za ugotavljanje količine snovi, ki prodre v kožo; testi za ugotavljanje količine snovi, ki draži kožo: fototoksičnost in fotosenzibilnost; sposobnst povzročanja mutacij; akutna in kronična toksičnost; kancerogenost; vpliv na reprodukcijo; vpliv na prirojene hibe itd. Poskusi se izvajajo tako za ugotavljanje akutnih (enkratna izpostavljenost) kot kroničnih (ponavljajoča se izpostavljenost) učinkov. Upošteva se tudi vpliv poti vnosa na toksičnost. Za testni organizem naj bi bila izbrana najbolj občutljiva živalska vrsta, vendar so to, iz praktičnih razlogov, največkrat majhni glodalci. Z izjemo testov akutne toksičnosti morajo biti poskusi izvedeni na dveh različnih živalskih vrstah obeh spolov. Poskusne živali so najpogosteje podgane, miši, pa tudi zajci, morski prašički, psi in mačke. Zaradi ogromnega števila toksikološko slabo raziskanih kemikalij je vprašljiva upravičenost testiranja na stotinah poskusnih živalih. Zato se v zadnjih desetletjih uveljavljajo poskusi vpeljevanja alternativnih testnih metod tako na celičnih kulturah in izoliranih organih (in vitro) kot tudi simulacije s pomočjo računalnikih modelov. Toda zaenkrat ostajajo poskusi na živalih ključnega pomena in služijo alternativne metode testiranja kemikalij le kot dopolnilo, ne morejo pa v celoti nadomestiti klasičnih metod na poskusnih živalih (Preglednica 3-3).

Po navedbah Britanske zveze za odpravo poskusov na živalih je bilo leta 2005 kar 115 milijonov živali uporabljenih za različne raziskave in poskuse (preizkušanje kozmetičnih sredstev, zdravil, čistil, praškov, itd). Danes gre razvoj v smer izdelave alternativnih metod, ki pa trenutno na morejo nadomestiti v celoti poskusov na živalih.

Postopki ugotavljanja toksičnosti na osnovi poskusov z različnimi testnimi živalmi so dolgotrajni, dragi in etično vprašljivi. Zato so matematični modeli za napovedovanje toksičnosti alternativa, kako zmanjšati, v nekaterih primerih pa tudi ukiniti potrebne poskuse na živalih. Matematični modeli za napovedovanje lastnosti snovi sodijo v tako imenovane QSAR raziskave (Quantitative Structure-Activity Relationship), katerih glavna naloga je poisketi, ovrednotiti in razložiti povezave med kemijsko strukturo in lastnostjo snovi. Osnovna naloga QSAR je izraziti odnos med molekulsko strukturo in lastnostjo v matematični obliki. Pri tem se mora odgovoriti na štiri osnovna vprašanja. Prvič, poiskati niz spojin, na katerem se bo postavil model. Drugič, molekulske strukture se morajo predstaviti v obliki števil - izračunati se morajo molekulski deskriptorji. Tretjič, izbrati se mora matematična metoda, s katero se bo postavil model. Največkrat se za to uporablja multivariantna linearna regresija. Četrto vprašanje se nanaša na testiranje modelov. Primerjava in preverjanje podatkov o lastnostih in molekulskih strukturah, ki se jih najdev bazah podatkov ali se jih izračuna, predstavlja bistveno nalogo raziskovalca, ki se ukvarja z modeliranjem QSAR. Logično pa je, da modeli na morejo dati boljših rezultatov, kot so podatki, s katerimi se natrenira model.

Na podlagi vseh opravljenih poskusov je mogoče opredeliti najnižji odmerek, ki ne povzroča neželenega učinka, t.i. NOAEL – **N**o **O**bserved **A**dverse **E**ffect **L**evel. Najrelevantnejše NOAEL se uporabi za izračun varnih odmerkov, ki naj ne bi povzročali neželenih učinkov. Varne odmerke se izračuna tako, da se izbrane NOAEL deli z varnostnimi faktorji.

Namen **ekotoksikoloških testov** je ugotoviti obnašanje kemikalij v okolju s preučevanjem vpliva testirane kemikalije na vse trofične nivoje in na prehranjevalno verigo (testi na proizvajalcih, potrošnikih prvega in drugega reda ter na dekompozitorjih).

Preglednica 3-3 Vrste toksikoloških in ekotoksikoloških testov, ki se uporabljajo pri določanju stopnje škodljivostidoločene snovi

Vrste toksikoloških testov	**Ekotoksikoloski testi**
Akutni toksični test z enim odmerkom	Akutna toksičnost na ribah,
Proučevanje draženja kože	akutna toksičnost na Daphnii magni (vodna bolha),
Proučevanje absorbcije preko kože	Test za določanje inhibicije rasti alg,
Test za ugotavljanje draženja oči	Test za ugotavljanje toksičnosti na črvih (Eisenia foetida),
Test za ugotavljanje fotosenzibilnosti	akutni kontaktni test toksičnosti na čebelah
Test za ugotavljanje fototoksičnosti	akutni oralni test toksičnosti na čebelah
Proučevanje preobčutljivostnih reakcij	Test rasti ribjega zarodka
Proučevanje dolgotrajnih učinkov	Reprodukcijski test na vodni bolhi (Daphnia magna)
Proučevanje kancerogenosti	Vpliv na mikroorganizme
Proučevanje genotoksičnosti	Test inhibicije respiracije aktivnega blata
Proučevanje razvojnih nepravilnosti	Biodegradacijski presejalni test
	Biološka potreba po kisiku (BOD)
	Kemijska potreba po kisiku (COD)
	Hidroliza/PH
	Biodegradacija po Zahn Wellenesu
	Simulacija z aktivnim blatom
	Inhibicija respiracije aktivnega blata
	Biokoncentracija- pretok skozi ribe
	Adsorbcijsko/desorbcijsko ravnotežje (prst)
	Koc v zemlji in blatu
	Pretvorba dušika (mikroorganizmi v prsti)
	Pretvorba ogljika (mikroorganizmi v prsti)
	Anaerobna in aerobna pretvorba (prst)
	Aerobna in anaerobna pretvorba v vodnih sedimentih

Preden določimo tisto koncentracijo kemikalije pri kateri naj ne bi bilo škodljivih vpliviv na zdravje in okolje je pomembno upoštevati sledeča dejstva, ki vplivajo na negotovost (Preglednica 4-3):

- občutljivost ekosistema je sorazmerna z občutljivostjo najbolj dovzetne vrste v ekosistemu,
- medvrstne razlike in razlike osebkov znotraj posamezne vrste,
- sklepanje z rezultatov akutne toksičnosti na učinke kronične izpostavljenosti,
- intra in inter vrstna raznolikost,
- pogoji v laboratoriju, kjer se ekotoksikološki testi opravlajo so konstantni in dobro definirani, medtem ko so pogoji v okolju variabilni in nepredvidljivi,
- sklepanje z učinkov dobljenih na eni vrsti na učinke na vseh vrstah v ekosistemu,
- sinergistično delovanje različnih kemikalij v okolju ter
- prisotnost ostalih stresnih elementov.

Cilj ekotoksikoloških testiranj je napovedati pri kateri koncentraciji neke kemikalije ni škodljivih učinkov na okolje. To se doseže z izračunom PNEC (predicte no effect concentration) oziroma z modeli ocenjevanja (QSAR-Quantitative Structure Activity Relationships).

$$\textbf{PNEC(najnižja koncentracija s toksičnim delovanjem)} = \frac{\textbf{NOAEL ali LD50}}{\textbf{Varnostni faktor}}$$

Preglednica 4-3: Varnostni faktorji pri določanju PNEC za vodne ekosisteme

OBSTOJEČI PODATKI	varnostni faktorji
Vsaj en obstoječ LC50 za vsako vrsto v posameznem tropskem nivoju (riba, vodna bolha, alga)	1000
Ena obstoječa študija na kronični toksičnosti z ugotovljenim NOEC (na ribah ali vodnih bolhah)	100
Opravljeni vsaj dve študiji s kroničnim delovanjem kemikalije na dveh tropskih nivojih (ribe, vodne bolhe, alge)	50
Opravljeni testi kronične toksičnosti na treh tropskih nivojih	10

*Več podatkov in več opravljenih testov na različnih organizmih (taksonomskih skupinah, trofičnih nivojih) zniža vrednost varnostnih faktorjev.

Toksikovigilanca

Ne glede na to kako obširne so študije je nemogoče natančno predvideti vse možne neželene učinke in njihovo pogostnost še preden se kemična snov pojavi v široki uporabi. Zato je potrebno budno spremljanje in ukrepanje tudi potem, ko se

določena kemična snov pojavi v široki uporabi, s čimer se ukvarja toksikovigilanca. Toksikovigilanca je kompleksen proces, ki vključuje:

- zbiranje informacij o morebitnih učinkih in spremljanje učinkov kemičnih snovi na ljudi, bodisi da so jim izpostavljeni ob delu, preko okolja ali kot potrošniki hrane, vode oziroma predmetov splošne rabe oziroma so jim izpostavljnv primeru kemičnih nesreč,
- presojo varnosti kemičnih snovi,
- posredovanje informacij strokovni in ostačim javnostim,
- pripravo predlogov za aktivnosti, ki izboljšajo kemijsko varnost in spremljanje učinkovitosti tovrstnih aktivnosti.

Toksikovigilanca predstavlja pomemben element pri zagotavljanju kemijske varnosti. V proces toksikovigilance so poleg inštitucij javnega zdravja vpletene še številne druge službe kot so centri za zastrupitve, inštitucije za proučevanje in zagotavljanje varstva pri delu, vladni uradi, zveze potrošnikov in nenazadnje nevladne organizacije.

2. Ocena odziva (učinka) na dozo (odmerek):

Analiza povezave med dozo in zdravstvenimi učinki je druga stopnja pri ocenjevanju tveganja za zdravje. Podatki, potrebni za opis odnosa med zdravstvenimi učinki ter dozo dejavnikov tveganja, ki ji je človek izpostavljen, temeljijo na kompleksnih epidemioloških in toksikoloških raziskavah. Večinoma so podatki, ki so osnova za opis odnosa med dozo in odgovorom zelo skromni in pomanjkljivi, zato temeljio zaključki na predpostavkah, ki niso nujno zanesljive. To pa pomeni, daj epotrebno neprestano iskati nove informacije, ki lahko povečajo zanesljivost ugotovitev gled epovezanosti med dozo in učinki te doze na biološke organizme.

Učinek odmerka in odziv na odmerek

Pojem **odziv na odmerek** opisuje odnos med deležem posameznikov v izpostavljeni skupini, pri katerih se je pojavil določen učinek in odmerek. Ta podatek kaže na velike razlike v občutljivosti posameznikov v popilaciji. **Učinek odmerka** opisuje odnos med stopnjo določenega učinka in odmerkom. Ta odnos pa kaže na to, kako se s spreminjanjem odmerka spreminjajo tudi posledice od najblažjih do najtežjih. Škodljivi dejavniki okolja imajo lahko vrsto negativnih učinkov na človekovo zdravje, povzročajo lahko blage psihološke spremembe, kratkotrajne čustvene učinke, spremembe vedenja, neugodje, kratkotrajne blage bolezni, resne akutne bolezni, kronične bolezni, manjšo invalidnost, precejšnjo invalidnost in prezgodnjo smrt. Razmerje med odmerkom in odzivom lahko prikažemo grafično s krivuljo odmerka in odziva. Poznavanje oblike krivulje nam omogoča napoved učinka kemikalije pri poljubnem odmerku.

Odziv na odmerek se precej razlikuje pri nekrcinogenih (ki imajo pražno vrednost) in karcinogenih snoveh (ki nimajo pražne vrednosti).

Ocena tveganja za učinke s pražno vrednostjo

Odmerek je definiran kot prejeta količina spojine v miligramih, preračunana na kilogram telesne teže. Pri oceni odziva na odmerek se ugotavlja povezavo med prejeto dozo neke kemikalije in incidenco zdravstvenih težav, ki jih kemikalija povzroča. Določene snovi imajo specifičen učinek na posameznike le, če koncentracija snovi preseže določeno raven, to je **pražno** vrednost te snovi. Kadar koncentracija ali doza izpostavljenosti ni znana, se lahko oceni na podlagi podatkov o letih izpostavljenosti. Odziv na dozo se lahko izračuna tudi za druge škodljive dejavnike (na primer hrup) ali za poškodbe (odvisnost resnosti poškodb od hitrosti vozila).

Na podlagi krivulje odziva na dozo se odločamo, kakšna je lahko največja koncentracija določene snovi v okolju, ki je še sprejemljiva za človeka. Kadar se pražna vrednost nahaja v realno dosegljivih mejah, težimo k temu, da bi bila čim bližje pražni vrednosti. V večini primerov pa odločitve niso tako enostavne, saj se velikokrat pražna vrednost nahaja pod mejo, ki bi bila še realno dosegljiva (na primer hrup), ali pa se tudi s teoretično maksimalnimi omejitvami, negativnim učinkom ne da izogniti (sevanje iz okolja). V tem primeru spet čimbolj znižamo mejo (tako, da se bolezen pri večini populacije ne pojavi), obenem pa se zavedamo, da ima na najbolj občutljivi del populacije (določen odstotek) vendarle škodljive posledice. Odločitev v takšnih primerih je torej predvsem odvisna od etičnih, ekonomskih in političnih dejavnikov.

NOAEL (No observed adverse effect level) je doza, pri kateri stranskih učinkov snovi ne zaznamo, bodisi zato, ker jih ni, ali pa so tako majhne, da jih ne moremo izmeriti.

LOAEL (Lowest obeserved adverse effect level) je najmanjša doza, pri kateri zaznamo stranske učinke snovi.

Ker sklepanje iz učinkov visoke doze snovi na učinke pri majhni dozi vključuje mnogo predpostavk, ki niso vedno pravilne in ker je ekstrapolacija podatkov pridobljenih na živalih problematična zaradi razlike med človekom in poskusno živaljo v smislu presnove in reakcije na določeno snov, definiramo, tako kot v primeru ekotoksikoloških testov, **varnostni faktor**, ki upošteva nezanesljivosti pri ekstrapolaciji.

NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) je doza, pri kateri stranskih učinkov snovi ne zaznamo, bodisi zato, ker jih ni, ali pa so tako majhni, da jih ne moremo izmeriti.

LOAEL *(Lowest obeserved adverse effect level) je najmanjša doza, pri kateri zaznamo stranske učinke snovi.*

ADI *(acceptable daily intake ali* ***TDI*** *(tolerable daily intake) je največja dnevna doza pražne snovi, ki še ne prizadene zdravja posameznika. Običajno jo izračunamo iz NOAEL ali LOAEL, če ju delimo z varnostnimi faktorji (Safety factors ali unsafety factors - UF).*

Varnostni faktor je majhen, kadar imamo veliko število zanesljivih podatkov in velik v primeru pomanjkljivih podatkov. Faktor 10 x uporabljamo pri ekstrapolaciji raziskav, ki trajajo dlje časa in so potekale tudi na človeku, 100 x faktor je potreben, če nimamo zanesljivih podatkov o delovanju snovi na človeka, nerejene so raziskave na več živalskih vrstah. 100 je najpogosteje uporabljen varnostni faktor, ki ga dobimo z zmnožkom dveh faktorjev. Faktor 10 zaradi razlike med vrstami (med glodalcem in človekom) in 10 za razliko znotraj vrste. Varnostni faktor 1000 se uporablja takrat, ko nimamo podatkov o učinkih na človeka in le malo podatkov o delovanju na eksperimentalne živali. Redko se uporabljajo varnostni faktorji manjši od 100. Varnostni faktorji so vračunani v faktorju vpliva, podanem v Preglednici

Ocena tveganja za učinke s pražno vrednostjo- nekancerogene snovi

Določene snovi (na primer nevrotoksicne kemikalije) imajo specifičen učinek na posameznike le, če koncentracija snovi preseže določeno raven, t.j. pražno vrednost tega učinka. Kadar koncentracija ali doza izpostavljenosti ni znana, se lahko oceni na podlagi podatkov o letih izpostavljenosti.

Pri izpostavljenosti nekancerogenim kemikalijam se predpostavlja, da pri določeni nizki izpostavljenosti neki kemikaliji ne pride do kvarnih vplivov na organizem, govorimo o NOAEL. Ko NOAEL delimo s primernimi varnostnimi faktorji dobimo dnevno varen odmerek (Acceptable Daily Intake – ADI).

$$\textbf{ADI (human dose)} = \frac{\textbf{NOAEL (eksperimentalna doza)}}{\textbf{Varnostni faktor}}$$

EPA (Enironment Protection Agency) je nekoliko modificirala ADI pristop z vpeljavo refrencnega odmerka (reference dose - RfD). V procesu karakterizacije nevarnosti je smotrno določiti še referenčne odmerke, ki se izražajo v mg kemične snovi/kg telesne teže/dan. Tako definiramo:

ARfD (Acute Reference Dose) – akutni refernečni odmerek. To je odmerek, ki naj bi pri enkratni oziroma kratkoročni izpostavljenosti (ingestija, inhalacija ali dermalno) ne povzročal neželenih učinkov v razponu 24 ur od izpostavljenosti.
AOEL (Acceptable Operator Exposure Level) – sprejemljiv odmerek za delavca, ki naj ne bi povzročal neželenih učinkov, če mu je delavec izpostavljen dnevno skozi celotno delovno dobo. Ponavadi se pri izpostavljenosti na delovnem mestu upošteva izpostavljenost 8 ur dnevno, 40 ur tedensko preko cele delovne dobe.

$$\textbf{RfD} = \frac{\textbf{NOEL or LOEL}}{\textbf{UF1 x UF2 x....}}$$

Poznamo še določitev sprejemljivega dnevnega vnosa (ADI – acceptable daily intake) za živilske dodatke, dopustnega dnevnega vnosa (TDI – tolerable daily intake) za onesnaževala v hrani ter določitev pražne mejne vrednosti (TLV –treshold limit value) v ZDA ali najvišje mejne izpostavljenosti (MEL – maximumm exposure limit) v VB za industrijske kemikalije. Pražna mejna vrednost predstavlja koncentracijo snovi v mediju, ki mu je posameznik lahko izpostavljen dnevno skozi celo življenje, ne da bi utrpel neželene učinke.

V primeru, da so na voljo zanesljivi podatki o učinkih na ljudeh bodisi iz primerov namernih ali naključnih zastrupitev bodisi epidemioloških študij oziroma študij na prostovoljcih, se pri oceni nevarnosti upošteva tudi te podatke. Na podlagi opazovanj in meritev določimo kronični dnevni vnos kemikalije (glej oceno izpostavljenosti). Najprej je potrebno potrditi izpostavljenost kemikaliji (koncentracija in čas izpostavljenosti), nato njen vstop in absorbcijo v telesu.

Iz krivulje doza-učinek pridobimo sledeče podatke: ED (efektivna doza), TD (toksična doza), LD (letalna doza), TI (terapevtski indeks), razpon varnosti oz. MOS (margin of safety).

Terapevtski indeks (TI) nam pove primerjavo med toksičnim in farmakološkim učinkom. Nižji kot je indeks TI, bolj je zdravilo toksično. Terapevtski indeks je razmerje med odmerkom, ki je strupen za 50 odstotkov živali (TD_{50}) in odmerkom, ki je terapevtsko učinkovit pri 50 odstotkih živali (ED_{50}), ki so prejele zdravilo.

$$\mathbf{TI} = \frac{\mathbf{TD_{50}}}{\mathbf{ED_{50}}} \text{ ali } \frac{\mathbf{LD_{50}}}{\mathbf{ED_{50}}}$$

$$\mathbf{MOS\ (margin\ of\ safety)} = \frac{\mathbf{TD_{1}}}{\mathbf{ED_{99}}} \text{ ali } \frac{\mathbf{LD_{1}}}{\mathbf{ED_{99}}}$$

Razpon varnosti ali Margin of safety (MOS) je razmerje med strupenim odmerkom za 1 odstotek živali in terapevtsko učinkovitim odmerkom za 99 odstotkov živali, ki so prejele zdravilo. Večja je vrednost, varnejše je zdravilo.

Ocena tveganja za učinke brez praga – rakotvorne snovi

Pri nepražnih učinkih večja doza ne pomeni avtomatično hujšega efekta (hujše rakasto obolenje), pač pa večjo verjetnost za obolenje (več rakastih obolenj med izpostavljenimi). Krivulja doza – dogovor nam v tem primeru služi za oceno verjetnosti razvoja rakavega obolenja pri nekomu, ki je izpostavljen določenemu karcinogenu.

Določitev varne doze pri nepražnih snoveh ni tako preprosta kot ADI pri pražnih snoveh, kajti še tako majhna doza pomeni določeno (čeprav majhno) verjetnost bolezni. Še najbolje bi bilo dozo zmanjšati na nič, vendar se to mnogokrat praktično ne da. Zato določimo sprejemljivo tveganje (**ALR** acceptable level of risk), ki odraža ravnovesje med koristjo in škodo, ki jo povzroča prisotnost oziroma

uporaba snovi. **RsD** (risk specific doze) je največja količina snovi, ki ji je lahko posameznik dnevno izpostavljen, da predstavlja še sprejemljivo tveganje za zdravje.

Zahteve glede proučevanja rakotvornosti

Znotraj EU velja za kemikalije sistem REACH. Študije rakotvornosti so tako zahtevane le za kemikalije pri tonaži 1000 ton ali več. Lahko pa jih kompetentni organi predlagajo ali zahtevajo v naslednjih primerih:

- pri spojini, ki je široko uporabna,
- pri spojini, ki ji je človek dokazano pogosto ali dlje časa izpostavljen,
- pri spojini, ki spada v tretjo skupino mutagensti,
- pri spojini, ki je v študiji ponavljajočih odmerkov pokazala sposobnost povzročanja hiperplastičnih in/ali preneoplastičnih sprememb (http://ecb.jrc.it/legislation/2006R1907EC.pdf).

Ugotavljanje rakotvornega delovanja temelji na izsledkih poskusov na živalih ter na epidemioloških študijah. zgolj z epidemiološkimi študijami praktično ni mogoče določiti rakotvornosti neke snovi. Vzrok za to je majhen vzorec ter težave pri kvantitativni opredelitvi izpostavljenosti, kar je posledica razlik v dovzetnosti posameznika za rakotvorni učinek snovi, pa tudi latentnega obdobja pred pojavom tumorja v človeškem organizmu ter seveda drugih faktorjev, ki so sočasno prisotni. Tako so pri oceni tveganja za človeka bistvenega pomena študije na poskusnih živalih. Ustreznost izsledkov študij na glodavcih za oceno rakotvornega delovanja pri človeku je predmet številnih razprav in predstavlja velik izziv. Za oceno ustreznosti so vedno pomembnejši izsledki proučevanja mehanizmov delovanja. Odkrili so, da so mehanizmi delovanja v nekaterih primerih specifični za določeno živalsko vrsto.

Obstaja več razvrstitev rakotvornih snovi. Znana je predvsem IARC-ova razvrstitev, ki rakotvorne snovi razporeja v pet skupin. Te kategorije se nanašajo na stopnjo moči dokazov in ne na stopnjo rakotvorne aktivnosti snovi (učinkovitost) niti ne na vpleten mehanizem. Z odkritjem novih podatkov se razporeditev lahko spremeni.

3. Ocena izpostavljenosti

Izpostavljenost je definirana kot možnost absorpcije v organizem ali delovanja nanj pri stiku z biološkim, kemičnim ali fizikalnim dejavnikom. Izražamo jo v koncentraciji normalno na čas (mg/ml/h). **Celotna izpostavljenost** upošteva vse načine prenosa in stika z dejavnikom.

Za samo poškodbo pa je pomembna **doza** snovi, ki pride v telo. **Notranja doza** je količina snovi, ki pride v organizem z vdihavanjem, absorpcijo ali zaužitjem. **Absorbirna doza** je količina snovi, ki jo organizem sprejme**, biološko efektivna doza** pa pomeni količino snovi, ki deluje v tarčnem organu ali tkivu. **Celokupna**

doza pa predstavlja vsoto doz, ki jo prejme človek v določenem času iz vseh virov. Izpostavljenost človeka opazovani kemikaliji lahko opredelimo iz večih aspektov :

- količina snovi v mediju (hrani, zraku, vodi),
- trajanje izpostavljenosti,
- matriks v katerem je snov prisotna,
- biorazpoložljivost snovi,
- fiziološke značilnosti človeka.

Ocena izpostavljenosti je proces v katerem se izmeri ali oceni intenziteta, frekvenca, koncentracija, bioabsorbcija in trajanje izpostavljenosti določenemu agensu v okolju oziroma se oceni potencialna izpostavljenost, ki je posledica razlitja ali uhajanja nekega agensa v okolje ob izredni situaciji. Če škodljivemu dejavniku nismo izpostavljeni ni tveganja. Tveganje pa lahko zmanjšamo tudi, če zmanjšamo izpostavljenost.

Ocena izpostavljenosti je kvantitativna ali kvalitativna ocena stika s kemikalijo in vnosa kemikalije v telo. Bistvena naloga pri oceni izpostavljenosti je opisati značilnosti in velikost izpostavljene populacije (starost, spol, demografske posebnosti, število kadilcev, oboleli itd...), ki je nekemu škodljivemu agensu izpostavljena, ter čas in koncentracijo snovi v posameznih elementi okolja, ki so ji ljudje izpostavljeni. Ugotovi se vrsta stika posamezne osebe iz populacije s škodljivim dejavnikom, oceni se vnos, pot vnosa in absorbirana doza. Pri oceni vnosa so pomembni sledeči podatki: čas izpostavljenosti, način vnosa, biorazpoložljivost iz kontaminiranega medija (na primer zemlja, zrak, voda). Pomemno je upostevati tudi faktorje, ki vplivajo na obstojnost in transport kemikalije v okolju. Rezultati dobljeni iz toksikoloških študij so sicer pomembni, vendar niso zadostni brez kvantitativnega podatka o izpostavljenosti ljudi. Zaradi tega je potrebno izdelati oceno izpostavljenosti, ki kvantitativno ovrednoti vnos kemikalije preko različnih medijev iz okolja (zrak, voda, zemlja, živila) v telo. Z oceno izpostavljenosti lahko predvidimo preteklo, sedanjo in bodočo izpostavljenost kemikaliji. Seveda je pri ugotavljanju pretekle in bodoče izpostavljenosti nujno upoštevati faktorje negotovosti. Pri izdelavi ocene izpostavljenosti moramo upoštevati in razumeti različne znanstvene discipline, kot so: toksikologija, analitična kemija, transport onesnaženja zraka, vode in prsti, modeliranje onesnaženosti, fiziologijo telesa, prehranske navade, statistiko, itd.

Za ugotovitev koncentracije kemikalije v okolju se odvzame različne vzorce iz okolja (voda, zrak, zemlja). Koncentracija se nato določi z analitskimi kemijskimi metodami. Ocene koncentracij se lahko tudi izračunajo preko različnih modelov transporta onesnaženja. Z emisijskih vrednosti na viru (v nekem dimniku) se tako lahko oceni imisija na neki oddaljeni lokaciji ob upoštevanju koncentracije kemikalije v dimniku, smer in moč vetra, stabilnost ozračja, višina mešanja, konfiguracija terena, obstojnost kemikalije v okolju, dodatne vire v okolju itd.

Prevladujoča izpostavljenost v bivalnih okoljih poteka preko inhalacije prahu in hlapov, dermalni kontakt preko kontaminirane prsti in prahu, zaužitje kontaminirane hrane, vode in prsti. V delovnem okolju prevladuje vnos preko

inhalcije, sledi dermalni vnos, manj pa zaužitje prahu. Za snovi v pitni vodi ali hrani lahko izpostavljenost izračunamo na podlagi informacij o dnevnem vnosu, prehranjevalnih navadah in znani količini snovi v vodi ali živilih.

Dokler se posamezen pripravek nahaja na polici v trgovini in je označen s simbolom nevarnosti ne moremo govoriti o tveganju, saj ni izpostavljenosti. Strupena kemikalija, ki je nevarna za človekovo zdravje ne predstavlja tveganja za človeka vse dokler ne pride do izpostavljenosti.

Do izpostavljenosti človeka škodljivim snovem pride na različne načine: vdihavanje, ingestija (uživanje s hrano ali vodo), ali preko kože. Človekovo izpostavljenost lahko preučujemo direktno ali na indirekten način.

Ob **neposrednem načinu** izpostavljenosti merimo dejansko količino škodljive snovi, ki jo oseba vnese v telo. Zato potrebujemo osebne merilnike, vprašalnike, obrazce za dnevne vpise. V idealnih razmerah so nam na voljo biomarkerji izpostavljenosti. S pomočjo humanega biomonitoringa je možno določiti dejansko izpostavljenost posameznika oziroma vzorca populacije. Vendar so primeri, ko oceno izpostavljenosti lahko izvedemo na podlagi dejanskih rezultatov biomonitoringa izredno redki. V glavnem so takšni podatki dostopni v primeru načrtovanih študij. Biomonitoring je zelo drag in ga izvaja le osebje, ki ima izkušnje z odvzemom bioloških vzorcev. Analiza bioloških vzorcev je tudi zelo zahtevna.

Pri **posrednem načinu** si pomagamo z matematičnimi modeli in z njihovo pomočjo ocenimo stopnjo izpostavljenosti. Nujne so informacije o tem, koliko časa na primer prebije človek v mikrookolju - dom, delovno mesto, avto in seveda informacije o koncentraciji škodljivih snovi v okolju. Ocene dnevnega vnosa prsti, vode in zraka so podane v Preglednici 5-3.

Preglednica 5-3: Priporočene vrednosti za oceno vnosa

Parameter	Standardna vrednost
Telesna teža – odrasla oseba	70 kg
1.5 do 5 let	14 kg
5-12 let	26 kg
Dnevni vnos vode z ingestijo - odrasel	2 L
Dnevni vnos vode z ingestijo - otrok	1 L
Količina dnevno zaužitega zraka – odrasel	20 m^3
Količina dnevno zaužitega zraka - otrok	5 m3
Količina dnevno zaužite ribe - odrasel	6.5 g/dan
Kontaktni delež, plavanje	50 ml/uro
Razpoložljiva površina kože – odrasel moški	1.94 m^2
Razpoložljiva površina kože – odrasla ženska	1.69 m^2
Zaužitje prsti, otrok do 6 let	200 mg/dan
Zaužitje prsti, oseba > 6 let	100 mg/dan
Adhezijski faktor za kožo pri kontaktu s prstjo	1.45 mg/cm $^{-2}$
Trajanje izpostavljenosti:	

Doživlenjsko	70 let
Vezano na kraj bivanja (90 th percentile)	30 let
Povprečen čas	(ED) (365 dni/leto)
Frekvenca izpostavljenosti (EF)	
Plavanje	7 dni/leto
Uživanje rib in školjk	48 dni/leto
Čas izpostavljenosti (ET)	
Tuširanje	12 min

Vir: US EPA, 1989

Pogosteje se uporabljajo rezultati monitoringa segmentov okolja (voda, zrak), živil in predmetov splošne rabe. S pomočjo poznavanja načinov uporabe, vedenja in kinetike snovi je mogoče izpostavljenost približno predvideti. V primeru pitne vode se izpostavljenost izračuna ob predpostavki, da odrasel človek popije 2 litra vode dnevno, otrok pa 1L. V primeru živil se skuša izpostavljenost določenemu ostanku kemikalije v živilu izračunati z uporabo podatkov s prehrambenih košaric, bodisi Svetovne zdravstvene organizacije, evropske oziroma nacionalnih košaric. Na podlagi dnevne porabe posameznega živila se izračuna izpostavljenost 97.5 percentilne populacije, da bi se tako upoštevalo tudi tiste posameznike, ki pojedo več kot povprečno količino nekega živila. V primeru izpostavljenosti kemikaliji, ki se nahaja tako v pitni vodi, zraku, živilih, kot v predmetih splošne rabe, je potrebno predvideti izpostavljenost iz vseh možnih virov. Pri posameznih skupinah prebivalstva (na primer majhni otroci) je potrebno upoštevati še posebnosti njihovega vedenja (na primer večja količina zaužitega prahu in zemlje zaradi plazenja po tleh in vnosa iz rok v usta). Zaradi hitrejšega metabolizma majhni otroci podihajo več zraka, pojedo več hrane in popijejo več vode na enoto telesne teže. Zaradi majhne telesne mase se ista količina zaužitega toksina bolj koncentrira v majhnem telesnem volumnu. Zaradi nezrelosti določenih organov in organskih sistemov so posebej dojenčki lahko izpostavljeni večjim odmerkom na tarčnem organu kot odrasli (na primer methemoglobinemija). Pri oceni izpostavljenosti je potrebno podobno upoštevati specifične karakteristike različnih skupin prebivalstva.

Biomonitoring kemikalij

Biomonitoring pomeni merjenje in spremljanje sprememb v organizmih, tkivih, tekočinah, celicah ali biokemičnih procesih, nastalih zaradi izpostavljenosti organizma kemikalijam. Kadar govorimo o merjenju koncentracij snovi v krvi, urinu, semenski tekočini, izdihanem zraku, materinem mleku, laseh, nohtih ali v tkivih, na primer podkožnem maščevju pri ljudeh, je to **humani biomonitoring**. V primeru, da ugotavljamo prisotnost snovi v drugih živih bitjih, predvsem pa v rastlinah pa govorimo **o ekološkem biomonitoringu**.

Ljudje smo izpostavljeni velikemu številu kemikalij v okolju, vendar je izpostavljenost relativno slabo opredeljena, posebno ko gre za dolgotrajno izpostavljenost nizkim koncentracijam. V Sloveniji se je v letu 2010 zaključil pilotni biomonitoring, v okviru katerega so spremljali koncentracije ***strupenih kovin*** (kadmija, svinca, živega srebra) in ***obstojnih organskih onesnaževal*** (dioksinov, furanov, organoklornih pesticidov, polikloriranih bifenilov, polibromiranih zaviralcev gorenja) ***v telesnih tekočinah (kri, materino mleko in/ali urin) in laseh***. Tako pridobljenih rezultati analiz so osnova za opredelitev ***referenčne vrednosti*** in ***obremenjenost ljudi z določenimi onesnaževali***, ki se nahajajo v okolju. Pred tem so bile že opravljene določene delne raziskave v posameznih okoljih, kjer je zaradi onesnaženja okolja prisotnost določenih snovi v okolju večja.

Namen biomonitoringa je pridobiti podatke kot osnovo za pripravo in spremljanje ukrepov za omejevanje tveganja kemikalij za človeka in okolje:

1. ***opredelitev in ugotavljanje trendov izpostavljenosti prebivalstva izbranim kemikalijam, ki predstavljajo tveganje za zdravje,***
2. ***ovrednotenje odnosa med odmerkom in učinkom kemikalije na zdravje,***
3. ***ugotavljanje obnašanja kemične snovi v organizmih (kinetike),***
4. ***izdelava ocene tveganja za zdravje ljudi,***
5. ***izdelava predlogov ukrepov in spremljanje učinkovitosti teh ukrepov za zmanjševanje tveganja,***
6. ***ugotavljanje in proučevanje virov izpostavljenosti ljudi kemikalijam,***
7. ***prepovedi in omejitve prometa ali uporabe nevarnih kemikalij,***
8. ***začasne omejitve ali prepovedi proizvodnje, prometa ali uporabe nevarnih kemikalij, uvedba ukrepov za usmerjanje proizvodnje, prometa ali uporabe ter uvedba drugih ukrepov,***
9. ***proučitev uspešnosti uvedenih ukrepov.***

4. Določitev (opredelitev) tveganja

Določitev tveganja predstavlja povezavo prejšnjih korakov in poda velikost zdravstvenega tveganja izpostavljenih osebkov glede na dozo in faktor tveganja. Faktor tveganja združuje podatek o mejni vrednosti (varna koncentracija, dobljena s toksikološkimi testi) ter faktor negotovosti, katerega velikost je odvisna od zanesljivosti študij, ki so bile osnova za postavitev mejnih vrednosti.

Primeri

Za ovrednotenje tveganja, ki ga predstavlja biocidni pripravek za okolje uporabljamo količnik PEC/NEC; v primeru, da je le ta manjši od 1 je tveganje spejemljivo in ni potrebnih nadaljnih podatkov

Za ovrednotenje tveganja za človeka je pomembna MOS (margin of safety). Ustrezna MOS je navadno 100, vendar je ustrezna tudi večja ali manjša MOS, kar je med drugim odvisno tudi od vrste nevarnega toksičnega učinka.

Če pri začetni oceni ugotovimo, da obstaja tveganje, potem sledi naslednji korak ocene tveganja in sicer izboljšati prejšnjo oceno oz. je potrebno sprejeti ukrepe za

zmanjšanje tveganja. Spremeniti želimo vrednost količnika. Glede na to, da na vrednost količnika vplivata tako predvidena izpostavljenost kot tudi učinek, lahko vrednost količnika spremenimo že s čim bolj realnimi podatki o izpostavljenosti oz le to po možnosti zmanjšamo.

V preglednicah 6-3 in 7-3 je prikazano tveganje, da oseba umre zaradi specifičnega vzroka. Dejstvo je, da bomo enkrat vsi umrli, torej je doživljenjsko tveganje zaradi vseh vzrokov 100% ali 1.0. Ker prihaja do nesreč običajno pri mlajših osebah, nesreče lahko skrajšajo življenje posameznika v povprečju za 30 let. Kronične bolezni, kot je rak, se običajno pojavijo kasneje v življenju in običajno skrajšajo življenje posameznika za 15 let. Tveganje 10^{-6} v primeru nesreče skrajša življenje za 30-krat 10^{-6} let oziroma za 15 minut, medtem ko isto tveganje v primeru kronične bolezni skrajša življenje za približno 8 minut. Ocenjeno je bilo, da za kajenje ene cigaret porabimo 10 minut in da ena cigareta skrajša življenje za 5 minut.

Preglednica 6-3: Različni dejavniki, ki predstavljajo enako velikost tveganja (ena proti milijon)

AKTIVNOST	VRSTA TVEGANJA
Kajenje 1,4 cigarete dnevno	Rak, bolezni srca in ožilja
Pitje 0,5 litra vina dnevno	Ciroza jeter
1 urno bivanje v rudniku premoga	Bolezen pljuč
2 dnevno bivanje v New Yorku	Onesnaženost zraka
Potovanje z avtom na razdalji 800 km	Nesreča
Potovanje 1600 km z letalom	Nesreča
Potovanje 9600 km z letalom	Rak zaradi kozmičnega sevanja
Bivanje v Denverju 2 meseca	Rak zaradi kozmičnega sevanja
Zaužitje 40 žličk kikirikijevega masla	Jetrni rak povzročen z aflatoksini
Zaužitje 400 zapečenih zrezkov	Rak povzročen z benz(a)pirenom
50 letno bivanje v bližini jedrske elektrarne	Jedrska nesreča

Vir: Wilson, 1979

Preglednica 7-3: Letno tveganje, da umremo zaradi:

Vzrok smrti	Individualno letno tveganje
Srčni infarkt	1/125 ali 8×10^{-3}
Rak	1/370 ali 2.7×10^{-3}
Nesreča v rudniku	1/770 ali 1.3×10^{-3}
Požar	1/3333 ali 3×10^{-4}
Vožnja z motorjem	1/4545 ali 2.2×10^{-4}
Vožnja s kamionom	1/10000 ali 10^{-4}

Padec	1/13000 ali 7.7 x 10^{-7}
Nesreča v stanovanju	1/83333 ali 1.2 x 10^{-5}
Vožnja s kolesom	1/1000000 ali 10^{-5}
Potovanje z letalom (en medcelinski polet na leto)	1/500000 ali 2 x 10^{-6}

Vir: Wilson, 1979

Karakterizacija tveganja je kvantifikacija tveganja v smislu ugotavljanja resnosti in pogostosti neželenega učinka. Pri karakterizaciji tveganja se ugotavlja razmerje med referenčnim odmerkom in dejansko oziroma predvideno izpostavljenostjo. Razmerje mora biti večje od 1, kar pomeni, da izpostavljenost ne presega varnega referenčnega odmerka.

V zadnjem času se uveljavlja koncept varne meje (margin of safety). V tem primeru se na podlagi znanstvenih dognanj ob upoštevanju kvalitete podatkov in negotovosti dogovori najnižja sprejemljiva varna meja, ki v večini primerov znaša 100. V tem primeru se ustrezni NOAEL deli z izpostavljenostjo.

NOAEL/izmerjeni (izračunani odmerek oziroma N-odmerkov) > 100 = MOS

Na podlagi karakterizacije tveganja so možni naslednji zaključki:

- Potrebne so dodatne informmacije, ker so podatki o nevarnosti oziroma izpostavljenosti pomanjkljivi in ocene tveganja zaradi tega ni mogoče izvesti,
- Ni potrebe po dodatnih informacijah ali testih/potrebe oziroma po ukrepih za zmanjševanje tveganja, ker so razpoložljivi podatki zadostni za karakterizacijo tveganja in kažejo, da je razmerje med referenčnimi odmerki in izpostavljenostjo večje od 1 oziroma večje od MOS,
- Potrebno je zmanjševanje tveganja, ker je razmerje med referenčnim odmerkom in izpostavljenostjo manjše od 1 oziroma manjše od MOS.

Pri karakterizaciji tveganja je potrebno upoštevati vse informacije v zvezi s toksikološkimi značilnostmi pa tudi kako se tveganja spreminja glede na pot vnosa, kakšen je vpliva na zdravje, zanesljivost modela doza-učinek ter problematiko v zvezi z intra in inter vrstno ekstrapolacijo podatkov. Na podlagi tega je potrebno podati tudi raven zaupanja pri izdelavi ocene tveganja. Pri karakterizaciji tveganja nastanejo mnoge negotovosti:

- negotovost parametrov (napake pri vzorčenju, napake pri analitiki, sistematske napake)
- negotovost modeliranja (poenostavljanje kompleksnih pojavov v okolju in telesu)
- interpretacije učinkana pri nizkih koncentracijah (mejne vrednosti, ni mejnih vrednosti)

- upoštevanje blagodejna vpliva na zdravje (pesticidi ter antioksidanti v zaužitem sadju ali pa POP-si v ribah ter omega maščobne kisline v ribah),
- individualno tveganje ter tveganje za celotno populacijo,
- izključevanje, aditivno delovanje, stopnjevanje učinkov ob prisotnosti dveh ali več kemikalij,
- bioakumulacija, magnifikacija snovi v bioloških sistemih,
- računanje tveganja za primer "najhujšega možnega scenarija".

Opis tveganja in njegovih značilnosti združuje vse prejšnje tri komponente procesa ocenjevanja tveganj: **spoznavanje škodljivega dejavnika, analiza povezave med dozo in zdravstvenimi učinki ter oceno stopnje izpostavljenosti**. Opis značilnosti tveganja je mogoče razdeliti v štiri stopnje, ki jih prikazuje Preglednica 8.

Prvi podatek, **podatek o izpostavljenosti**, združuje koncentracijo škodljivega dejavnika v okolju ter trajanje izpostavljenosti. V primeru, da je izpostavljenost škodljivemu dejavniku dolgotrajna, se običajno izračuna povprečno dnevno ali tedensko izpostavljenost, zlasti v primerih, ko je mogoče predvidevati, da je relativno konstantna. V primeru, ko gre za karcinogene dejavnike, pa je pogosto potrebno trajanje izpostavljenosti opredeliti bolj natančno, največkrat v urah.

Podatek **o dozi** dobimo tako, da izpostavljenost pomnožimo z dozimetričnimi faktorji. Na ta način izračunamo povprečno dozo škodljivega dejavnika, ki jo dobi posameznik v enem dnevu (tednu, uri) tekom celega življenja. Dozimetrični faktorji so faktorji, ki spreminjajo dejansko dozo. Med dozimetrične faktorje štejemo stopnjo absorpcije, telesno težo, trajanje življenja, način vnosa škodljivega dejavnika in podobno. Običajno izražamo dozo kot količino škodljivega dejavnika na kilogram telesne teže na dan (teden, uro). Pomembno je, da upoštevamo pri izračunu doze vse vrste izpostavljenosti (zrak, voda, zemlja, hrana, neposreden stik s kožo). Na ta način določimo celokupno dozo.

Preglednica 8-3 Zaporedne stopnje pri opisovanju značilnosti tveganja

Izpostavljenost	**=**	**koncentracija škodljivega dejavnika X trajanje izpostavljenosti**
Doza	**=**	**Izpostavljenost X dozimetrični faktor (stopnja absorpcije, količina zaužite hrane, vode, hitrost in intenzivnost dihanja)**
Ocena tveganja za posameznika =		**Doza X faktor, ki je značilen za posamezno vrsto tveganja (ADI, mejne rednosti)**
Ocena tveganja za skupino =		**Ocena tveganja za posameznika X število izpostavljenih**

Tretja stopnja v opisu tveganja, **ocena tveganja za zdravje posameznika**, vključuje dozo in faktor tveganja. Faktor tveganja združuje podatek o mejni vrednosti, pri kateri ni pričakovati nobenih zdravstvenih posledic, četudi je posameznik izpostavljen celo svoje življenje, ter faktor negotovosti, katerega velikost je odvisna od zanesljivosti študij, ki so bile osnova za postavitev mejne vrednosti.

Četrta stopnja pa predstavlja oceno **tveganja za skupino**, ki je izpostavljena in se izračuna tako, da se tveganje za posameznika pomnoži s številom izpostavljenih v skupini. Na ta način se lahko določi tudi, koliko je za to skupino tveganje za nastanek zdravstvenih posledic, ki so povezane z izpostavljenostjo določenemu škodljivemu dejavniku okolja, povečano.

Obvladovanje tveganja (upravljanje tveganja)

Obvladovanje tveganja, ki je posledica izpostavljenosti škodljivim dejavnikom na delovnem mestu je izredno kompleksen proces, ki terja interdisciplinarni pristop. Slika 1 prikazuje ključne stopnje pri obvladovanju tveganja. Ob tem je potrebno poudariti, da je proces dinamičen in poteka neprekinjeno. Začnemo pri vrednotenju tveganja in izdelavi ukrepov za zmanjšanje tveganja. Zelo pomembno je, da stopnjo tveganja in možnosti za njegovo zmanjšanje pojasnimo vsem izpostavljenim, saj so le informirani prebivalci pripravljeni dosledno in kvalitetno izvajati ukrepe za zmanjšanje izpostavljenosti. Na drugi strani pa je potrebno neprestano spremljati učinkovitost sprejetih ukrepov ter v primeru, da so se pokazali za manj uspešne, kot smo predvideli, sprejeti nove.

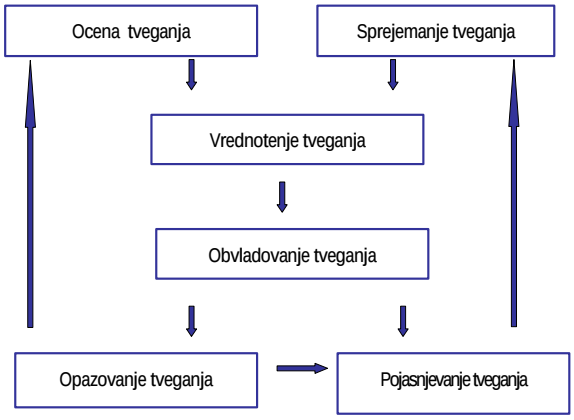
Prvo stopnjo pri obvladovanju tveganja predstavlja **vrednotenje tveganja.** Kvantitativna opredelitev velikosti tveganja je pomembna, saj predstavlja osnovo za določitev intenzitete ukrepov za zmanjševanje tveganja.

V procesu vrednotenja tveganja primerjamo ocenjeno stopnjo tveganja s standardi, smernicami ali podobnimi tveganji. Razlika med smernicami in standardi je ta, da so standardi zakonsko določeni in obvezni, smernice pa so postavljene na osnovi znanstvenih spoznanj. Vrednosti v standardih in smernicah so lahko enake, ali pa tudi ne. Osnova pri oceni tveganja je primerjanje izmerjenega nivoja tveganja z ustreznimi smernicami. Tveganje lažje vrednotimo, če imamo na razpolago tudi podatke iz preteklosti. Vendar pa je taka ocena mogoča le, če se v tem času tehnologija ni spreminjala in, če je faktor tveganja dovolj velik, da ga lahko direktno izmerimo. V primeru, ko podatkov o povezavi doza-odgovor ni, pa je vrednotenje tveganja mnogo bolj zapleteno in nezanesljivo. Tako je na primer pri vrednotenju tveganja, ki ga predstavlja uvajanje nove tehnologije.

Predpisane emisijske mejne vrednosti so dosežene na podlagi tako zdravstvenih, kot tudi političnih in gospodarskih kompromisov in nikakor niso zagotovilo, da doseganje mejne emisijske vrednosti ne ogroža zdravja. Zakonodajalec vedno tehta med učinkom na gospodarstvo in učinkom na zdravje. Tveganje za zdravje je sicer majhno, vendar še vedno obstaja. Poglejmo si hipotetično situacijo. Zakonodaja predpisuje mejne emisijske vrednosti za izpuste posamezne tovarne. Kaj se zgodi, če imamo 10 tovarn na isti lokaciji? Predpostavimo da nobena tovarna ne presega mejne emisijske vrednosti. Skupno pa je koncentracija v bivalnem okolju lahko močno presežena. Ali nas v tem primeru zakonodaja res ščiti? Ne glede na to kako obširne so študije, preden se kemična snov pojavi v široki uporabi, je nemogoče natančno predvideti vse možne neželene učinke in njihovo pogostnost. Preprečevanje nesreč navadno zahteva ukrepanje, preden obstajajo čvrsti dokazi o škodi, zlasti če bi bila škoda zapoznela in nepopravljiva; takšen pristop do znanstvenih dokazov in oblikovanja politike je del tega, čemur danes pravimo previdnostno načelo. Glavna ideja previdnostnega načela je ukrepanje pri potencialno resnih ali nepopravljivih nevarnostih za zdravje ali okolje še preden obstajajo trdni dokazi o škodi, upoštevajoč verjetne stroške in koristi ukrepanja in opustitve ukrepanja.

Podrobni analizi velikosti tveganja sledi ocena, ali terja tveganje, ki je posledica izpostavljenosti ljudi škodljivemu dejavniku okolja, ukrepanje za zmanjševanje izpostavljenosti ali celo eliminacijo dejavnika (Preglednica 9). Naslednja stopnja v procesu obvladovanja tveganja je preprečevanje in nadzor nad izpostavljenostjo. Najbolj učinkovit način zmanjševanja oziroma preprečevanja izpostavljenosti je, kadar je mogoče zamenjati ali ustaviti proces, ob katerem se sproščajo škodljivi dejavniki okolja. V primeru, da to ni mogoče, je potrebno iskati možnosti, da bi škodljivi dejavnik odstranili na poti od vira do človeka. To lahko dosežemo na primer z odsesavanjem zraka ali z postavljanjem zaščitnih pregrad.

Slika 2-3 Obvladovanje oziroma zmanjševanje tveganja



V primeru, da ta dva načina zmanjševanja izpostavljenosti škodljivemu dejavniku nista mogoča ali nista dovolj učinkovita, pa je potrebno določiti ukrepe za osebno zaščito izpostavljenih. Pri tem je izredno pomembno izobraževanje izpostavljenih, zlasti v smeri seznanjanja s tveganjem za zdravje, v primeru, da opustijo uporabo osebnih zaščitnih sredstev. Ob tem je potrebno poudariti še, da se ukrepi lahko zelo razlikujejo v obsegu in vrsti in so prilagojeni posamezni skupini izpostavljenosti. V primeru, da gre za izpostavljenost na delovnem mestu je uvajanje ukrepov veliko lažje kot v primerih, ko je izpostavljeno prebivalstvo v bivalnem okolju. V primerih, ko gre za izpostavljenost na delovnem mestu je namreč mogoče v primerih, da osebna zaščitna sredstva niso dovolj učinkovita, uvajati še druge ukrepe, kot na primer skrajšani delovni čas, imunizacijo, posebno prehrano in podobno. Poleg ukrepov primarne preventive, torej zmanjševanja izpostavljenosti škodljivemu dejavniku ali pa eliminacija tega dejavnika, je mogoče izvajati tudi ukrepe sekundarne preventive, kar pa v primeru splošnega prebivalstva običajno ni mogoče.

Preglednica 9-3 Zaporedje ukrepov za zmanjševanje izpostavljenosti škodljivemu dejavniku

NADZOR VIRA	Zamenjava Tehnološke spremembe Splošna ventilacija
NADZOR PO POTI	Odsesavanje Zaščitne pregrade
NADZOR PRI IZPOSTAVLJENIH	Osebna zaščitna sredstva Izobraževanje Administrativni ukrepi Imunizacija
SEKUNDARNA PREVENTIVA	Zdravstveni pregledi

Pri odločanju kako obvladati tveganje, je potrebno upoštevati kemične in fizikalne lastnosti škodljivega dejavnika, transport in možne stopnje izpostavljenosti dejavniku. Vedno pa je potrebno upoštevati princip, da je začnemo z ukrepi pri viru onesnaženja in le v primeru, da na tej stopnji ukrepi zaradi tehničnih rešitev niso dovolj učinkoviti, pričnemo z uvajanjem ukrepov na poti in na to še pri posamezniku. Največkrat pa je potrebno ukrepati na vseh nivojih hkrati. Pri izbiri se upoštevajo tako ekonomski, socialni, politični in zdravstveni interesi.

DEJAVNIKI TVEGANJA V NARAVNEM OKOLJU

ŠKODLJIVI DEJAVNIKI OKOLJA

Škodljivi dejavnik je definiran kot dejavnik, ki lahko škodljivo vpliva na zdravje. V osnovi gre za vir nevarnosti. To je kvalitativna opredelitev potencialne nevarnosti dejavnika okolja za zdravje določenega posameznika, če je ta izpostavljen zadosti velikem odmerku tega dejavnika ali če so prisotne pri posamezniku druga stanja, ki lahko povečajo vpliv tega dejavnika. Tveganje je definirano kot verjetnost, da se bo dogodek pojavil, kar pomeni verjetnost, da bo posameznik zbolel ali umrl. To je kvantitativno opredeljena verjetnost, da se bo pojavil učinek na zdravje v primeru, da je posameznik izpostavljen določeni "količini" škodljivega dejavnika.

Vrste škodljivih dejavnikov okolja

Vir škodljivih dejavnikov okolja je lahko naravno okolje samo, ali pa so posledica človekove aktivnosti. Med škodljive dejavnike okolja štejemo biološke (bakterije, virusi in drugi patogeni organizmi) kemične (neorganske snovi, kot so toksične kovine, onesnaževalci zraka ter organske snovi, kot so topila in nekateri pesticidi) in fizikalne dejavnike (sevanje, pritisk, hrup). Med škodljive dejavnike okolja pa moramo vključiti tudi biomehanične dejavnike (nezgode, ki nastajajo v prometu, pri športu, doma ter na delovnem mestu) in psihosocialne dejavnike (stres, način življenja, počutje na delovnem mestu, učinki socialnih sprememb, nezaposlenost, marginalizacija), saj lahko bistveno vplivajo na nivo zdravja.

Globalno gledano imajo dejavniki okolja, kot so prenaseljenost, slaba sanitacija in široka uporaba pesticidov velik vpliv na pojavljanje bolezni. V okoljih, kjer so uspeli zmanjšati pojavljanje nalezljivih bolezni je postala zelo pomembna vloga drugih dejavnikov okolja, kot so kemični dejavniki, ionizirno sevanje ali pa neionizirno sevanje.

Proučevanje škodljivih dejavnikov okolja lahko poteka iz različnih zornih kotov, tako je tudi njihova razvrstitev različna. Kadar je glavni namen spoznati naravo dejavnika, jih običajno razvrščajo na kemične, fizikalne, biološke, biomehanične in psiho socialne dejavnike. V okviru takega pristopa so zelo običajne kategorije, kot na primer pri bioloških dejavnikih okolja, ki jih razdelimo na: viruse, bakterije, parazite ipd. Ne redko pa je proučevanje škodljivih dejavnikov okolja organizirano glede na vir izpostavljenosti (zrak, voda, tla). Tudi tu imamo kategorije na primer pri zraku: zunanji in notranji zrak, pri vodi: talno, površinsko vodo ali pitno vodo. Alternativni pristop proučevanja škodljivih dejavnikov okolja je tudi takrat, kadar

nas zanima okolje kjer se ti dejavniki pojavljajo (domače okolje, delovno mesto, šola, bolnišnica, lokalna skupnost).

Razdelitev škodljivih dejavnikov glede na njihovo naravo je klasičen pristop, ki ga ohranjajo tudi sodobni učni pristopi. Tako se na primer mikrobiologi ukvarjajo s karakteristikami bioloških dejavnikov tveganja, toksikologi proučujejo zdravstvene učinke kemičnih snovi, ergonomisti se ukvarjajo z biomehaničnimi dejavniki tveganja, psihologi pa z vplivom psihosocialnih dejavnikov na človeka. Z vidika javnega zdravja pa je dostikrat bolj pomembno proučevanje škodljivih dejavnikov glede na vir izpostavljenosti, saj je ukrepanje za izboljšanje stanja onesnaženosti zraka drugačno, kot pa v primeru zmanjševanja tveganja za okolje in zdravje zaradi nevarnih odpadkov.

Biološki, kemični in fizikalni dejavniki okolja lahko vplivajo na zdravje preko onesnaženja zraka, vode in tal.

KEMIČNI DEJVANIKI OKOLJA

Kemikalije je skupno ime za kemijske snovi, elemente, spojine zmesi, ki pomenijo enega najbolj nasprotujočih si segmentov človekovega življenja in okolja. V preteklem stoletju sta hiter razvoj kemijske industrije in široka dostopnost kemikalij človeštvu prinesla številne ugodnosti in v mnogih pogledih pravzaprav omogočila napredek drugih področij in panog gospodarstva, posredno pa tudi celotne sodobne civilizacije. Danes je v kemiji poznanih preko 13 milijonov različnih kemijskih spojin, od katerih ima komercialno in industrijsko vrednost okoli 100.000, bolj ali manj stalno pa se jih uporablja med 20.000 in 70.000. Dejansko število kemijskih proizvodov je v resnici mnogo večje, saj te spojine v končno uporabo pridejo v skoraj neskončnem številu kombinacij v zmeseh in pripravkih. Umetne kemikalije se uporabljajo povsod: v gradbeništvu, strojništvu, kmetijstvu, prevozništvu, računalništvu; najdemo jih v zdravilih, živilih, igračah, oblačilih, obutvi, kozmetiki, pohištvu, gospodinjski opremi, čistilih, športnih rekvizitih, pisarniškemu materialu, embalaži, itd. Praktično ni področja človekovega življenja ali aktivnosti, kjer ne bi bile prisotne kemične snovi. V resnici so številne med njimi človekovo življenje izboljšale in olajšale in si življenja brez njih ne moremo več predstavljati.

Velika večina kemikalij se po uporabi izloči v okolje, kjer same ali kot razpadni produkti še naprej delujejo na ljudi in okolje. Škodljivi učinki (z izjemo akutnih) kemikalij so zaradi svoje zapoznelosti ter dolgotrajnega in počasnega delovanja težko opazni, zaradi razpršenosti v okolju pa zelo težko obvladljivi in predlvidljivi. Z naraščajočo uporabo kemikalij je začelo naraščati znanje in zavedanje o nezaželenih učinkih kemikalij. Vse kemične snovi so v določeni meri toksične. V večini držav je potrebno kemikalije razvrstiti in opredeliti glede na nevarnosti za človeka in na okolje. Zakonodaja ureja nadzor uporabe kemikalij in specifično opredeljuje in ocenjuje zdravila, pesticiede, prehranske dodatke in industrijske

kemikalije. Vpliv na človeka je odvisen od narave snovi ter od obsega izpostavljenosti. Za večino kemičnih snovi danes ne vemo, kakšne učinke povzročajo pri človeku, saj niso bile preizkušene (Preglednica 1-4). Snovi, za katere je mogoče izdelati celotno oceno škodljivosti je komaj 2%. Komercialna uporaba ni edini izvor kemikalij v okolju. Velike količine okolju tujih in nevarnih snovi izvirajo iz drugih virov (na primer industrijski izpusti, odlaganje in sežiganje odpadkov, itd.).

Preglednica 1-4. Delež znanih podatkov o toksičnem delovanju kemikalij

Učinek	**Znani podatki (ocena IPCS za leto 1992)**	**Znani podatki (ocena ECB za leto 1996)**
Akutna toksičnost	90%	90%
Sub-akutna toksičnost	30%	53%
Kancerogeno delovanje	10%	/
Mutageno delovanje	50%	62%
Vpliv na plodnost	10%	20%
Teratogeno delovanje	30%	30%
Akutno ekotoksično delovanje (test z daphnio ali z ribami)	50%	55%
Kratkotrajen ektotoksični test z algami	5%	20-30%
Strupenost na kopenske organizme	<5%	5%

- ECB: European Chemicals Bureau
- IPCS: The International Programme on Chemical Safety

Vsak proizvod, ki pride na tržišče in vsebuje potencialno zdravju škodljivo snov, mora ustrezati predpisom glede varnosti za človekovo zdravje. Pomembno je ločevati med pojmi škodljivost, tveganje in toksičnost. Toksičnost snovi pomeni njena sposobnost da povzroči poškodbo pri živem organizmu (človek, žival ali rastlina). Snov, ki je zelo toksična poškoduje organizem tudi v primeru, da je prisotna v zelo majhni količini. Snov, ki je malo toksična pa bo povzročila poškodbo na živem organizmu samo v primeru, da bo prisotna v zelo visoki koncentraciji. Kemična snov predstavlja tveganje za zdravje, če obstaja realna ali potencialna nevarnost izpostavljenosti. Če bi jo uporabljali v popolnoma zaprtem procesu, bi kljub visoki toksičnosti ne predstavljala nobene nevarnosti za človeka, ker ji ni izpostavljen. Dejavniki, ki jih moramo upoštevati pri ocenjevanju tveganja, ki ga predstavlja določena kemična snov so:

- količina snovi, ki se v telesu absorbira (doza oziroma odmerek),
- način metabolizma te snovi v telesu ter
- narava in obseg zdravstvenih učinkov kemične snovi pri določeni dozi.

Sprejeta doza kemične snovi je odvisna od načina vnosa ter od trajanja in pogostnosti izpostavljenosti. Upoštevati pa je potrebno tudi dejstvo, da so

posamezniki zaradi genskih značilnosti ali zaradi stanja organizma bolj občutljivi na toksično delovanje kemične snovi, ki jo ocenjujemo.

Za oceno toksičnosti je pomembno tudi, ali je okvara, ki nastane kot posledica delovanja kemične snovi, ki jo proučujemo, trajna ali pa se po določenem času popravi s pomočjo popravljalnih mehanizmov celice in organizma,

Za ugotavljanje stopnje škodljivosti posamezne kemične snovi so potrebni najmanj naslednji podatki:

- kemične in fizikalne lastnosti snovi,
- način vnosa v človeški organizem,
- razporeditev v organizmu ter način presnavljanja,
- vrsta učinkov na organizem,
- način ugotavljanja prisotnosti proučevane snovi.
- kemična klasifikacija.
-

Razvrščanje kemičnih snovi

Obstaja veliko število različnih klasifikacij kemičnih snovi. Najbolj groba razdelitev kemičnih snovi razlikuje dve veliki skupini:

- Anorganske snovi- snovi, ki ne vsebujejo ogljikovih atomov, ali pa je teh res zelo malo in
- Organske snovi, katerih struktura temelji na ogljikovih atomih.

ANORGANSKE SNOVI

Halogeni. To so elementi, ki tvorijo skupaj s kovinami soli. Sem spadajo fluor, klor, brom in jod. Ob stiku z vodo tvorijo kisline. Halogeni so toksični tudi v elementarnem stanju. V primeru vdihavanja pride do draženja dihalnih poti. Prizadetost je odvisna od koncentracije. V stiku z organskimi snovmi nastajajo klorirani in fluorirani ogljikovodiki, ki so prav tako toksični, znan pa je tudi njihov vpliv na tanjšanje ozonske plasti v stratosferi.

Korozivne snovi. Sem spadajo med drugimi alkalne spojine, kot so amoniak, kalcijev hidroksid, kalcijev oksid, kalijev hidroksid, natrijev karbonat in natrijev hidroksid ter kisline, kot so žveplena in kromova kislina. Korozivno delujejo tudi nekateri plini kot na primer ozon, žveplov dioksid in dušikovi oksidi. Korozivne snovi povzročajo pri človeku lokalno draženje na mestu stika – očesna veznica, koža, dihalne poti in prebavni trakt. Pogosto lahko sprožijo tudi akutni napad astme.

Kovine. To so na primer kadmij, svinec, živo srebro, baker, nikelj, krom, mangan. Kovine so v naravi stalno prisotne, saj so sestavni del okolja. Njihova količina je odvisna od sestave tal ter od meteoroloških in ekoloških dejavnikov. Nekatere med njimi predstavljajo za človeka esencialne elemente. V telesu se kovine transformirajo in spremenijo lastnosti. Njihova toksičnost je v veliki meri odvisna

tudi fizikalnih in kemičnih značilnosti posameznega elementa, ki vstopa v organizem. Bakterije so na primer sposobne pretvoriti anorgansko obliko živega srebra v organsko, metilirano obliko, ki je bistveno bolj toksična za človeka, kot anorganska oblika.

ORGANSKE SNOVI

To so predvsem verige molekul ogljika, na katerih so molekule vodika.

Alifatski ogljikovodiki. Alifatski ogljikovodiki so v krajše ali daljše verige med seboj povezani nasičeni ogljikovodiki. Da so nasičeni pomeni, da ne morejo sprejeti novih atomov ogljika ali katerih drugih elementov. Spojine, ki spadajo med alifatske ogljikovodike so metan, etan, propan, butan, pentan in drugi. Ogljikovodiki, ki imajo daljšo verigo, imenujemo parafine, ki so pogosto v trdni obliki ali v obliki voska. Ogljikovodiki, ki imajo kratko verigo so praviloma biološko relativno inertni (ne povzročajo škodljivih posledic na zdravju), tisti z daljšo verigo pa lahko delujejo kot depresivna sredstva ali delujejo dražeče, kadar pridejo v stik s sluznico.

Olefini. To so nenasičene ogljikovodikove spojine, ki imajo eno ali več dvojnih vezi v svoji molekuli. Zaradi tega težijo k sprejemanju drugih atomov, da bi na ta način postale bolj stabilne molekule. Pogosto nastanejo kot stranski produkt pri predelavi nafte (etilen, propilen, butadien, izopren itd.)

Ciklični ogljikovodiki. Nasičeni ali nenasičeni ogljikovodiki se lahko pojavljajo tudi v ciklični obliki terpentin, cikloheksan..). Z daljšanjem verige narašča običajno topnost teh spojin v maščobah. Nenasičeni ciklični ogljikovodiki so praviloma bolj toksični, kot nasičeni.

Aromatski ogljikovodiki. Aromatski ogljikovodiki vsebujejo enega ali več benzenovih obročev. Benzenov obroč je obroč, sestavljen iz 6 ogljikov, ki so med seboj povezani z enojnimi in dvojnimi vezmi. Taka oblika obroča je zelo stabilna. Med aromatske ogljikovodike štejemo benzen, toluen, stiren, naftalen in druge. Delujejo dražeče na sluznice in povzročajo depresijo centralnega živčevja. Nekateri med njimi imajo izrazite karcinogene lastnosti. Benzen je že dolgo poznan zaradi toksičnega vpliva na hematopoetski sistem in zaradi dejstva, da povečuje nevarnost razvoja levkemije. Praviloma je tako, da so spojine, ki vsebujejo več benzenovih obročev slabše topne in bolj obstojne v okolju ter da delujejo bolj karcinogeno, kot pa spojine z manjšim številom benzenovih obročev.

Razporeditev, metabolizem in izločanje kemičnih snovi

Običajno poteka absorpcija najhitreje preko dihal, sledi absorpcija preko prebavnega trakta in nato preko kože.

Pri vdihavanju prašnih delcev je pomembna velikost. Od te je namreč odvisno, do kod bodo prašni delci prodrli in kje bodo povzročili toksični efekt (silikoza, azbestoza, pljučni rak zaradi vdihavanja azbesta, nikljevih oksidov in sulfidov, kromovih spojin ter arzenovega trioksida.). Za razvoj teh kroničnih bolezni je potrebna dolgotrajna in visoka izpostavljenost (večinoma 10-20 let). Kadar so

kemične snovi v obliki plina pa zelo hitro dosežejo alveole in lahko tako povzročijo toksični učinek, katerega intenzivnost je odvisna od vrste in količine vdihane toksične snovi.

Po tem, ko se snov absorbira iz pljuč, prebavnega trakta ali kože, preide v krvni obtok in se hitro razširi po vsem telesu. Kemične snovi, ki se absorbirajo v prebavnem traktu hitro pridejo v jetra (po portalnem venskem obtoku), kjer poteka metaboleizem teh snovi in govorimo o biotransformaciji. Kadar je posledica biotransformacije manjša toksičnost snovi, govorimo o ***detoksifikaciji***, kadar pa se poveča, govorimo o ***bioaktivaciji***.

Sistemska in organsko specifična toksičnost

Toksičnost definiramo kot učinek kemične snovi na ciljni organ. Sistemsko toksičnost lahko opišemo kot učinek specifične snovi na različne organe, kar vodi do splošne prizadetosti organizma in ne samo do lokalne okvare. Nekatere kemične snovi delujejo na posamezne organe, kot so jetra, ledvica, živčevje in podobno. Lahko povzročajo alergične reakcije ali pa vplivajo na DNA in povzročajo rakasta obolenja in v primeru da prizadenejo DNA zarodnih celic, lahko tudi kongenitalne malformacije pri potomcih.

Vpliv na reprodukcijo in razvoj človeka

Različne kemične snovi imajo učinek na reproduktivni sistem moškega in ženske. Delovanje teh snovi je lahko pred ali po oploditvi. Prizadenejo lahko fertilnost, seksualne funkcije in libido, ali pa učinkujejo na plod. Učinki na plod so različni. Lahko pride do genetskih sprememb, ki ovirajo normalni razvoj, ali pa do zastrupitve ploda. Posledice so odvisne od vrste kemične snovi in njenega učinka. Pojavijo se lahko kongenitalne malformacije (prirojene okvare), manjša sposobnost za razvoj, nizka porodna teža, spontani abortus in podobno. Obseg vpliva kemičnih snovi na reprodukcijo ni poznan. Dejstvo pa je, da število prirojenih okvar ne narašča.

Genotoksičnost in karcinogenost kemičnih snovi

Kemični, fizikalni in biološki agensi lahko prizadenejo strukturo in delovanje DNA, kar vodi do sprememb strukture in/ali funkcije, to pa povzroči spremembo v genetskem zapisu. Odvisno od vrste in kompleksnosti sprememb, lahko te procese razdelimo na: gensko mutacijo, kromosomsko aberacijo in gensko preureditev.

Mutacija gena je posledica ene ali večih sprememb v DNA, kar vodi do spremenjene informacije, ki jo ta del DNA vsebuje. Običajno je organizem te spremembe sposoben popraviti, kadar pa to ne uspe in je sprememba v zarodnih celicah, se nova informacija prenese na potomce.

Kromosomske aberacije so posledica delovanja genotoksične snovi. Pride do spremembe strukture kromosoma (del se odlomi ali prenese na drug kromosom ali celo propade), ali pa celo do izgube celega kromosoma. Zaradi tega lahko pride do spremenjenega število kromosomov, kar pogosto povzroči smrt celice.

Genska preureditev. Do okvare te vrste pride zaradi spremenjene aktivnosti gena, kar je lahko posledica translokacije ali inverzije dela kromosoma.

Rak je posledica številnih genetskih in ne genetskih sprememb, ki lahko vodijo v nekontrolirano razmnoževanje celice. Čeprav je posamezne stopnje težko ločevati pa imamo dva velika razreda karcinogenih snovi:

- snovi, ki primarno reagirajo z DNA in
- snovi, ki imajo primarno negenetski učinek in delujejo preko ne genetskega mehanizma.

V resnici je karcinogeneza izredno kompleksen proces, ki vključuje številne stopnje. Te stopnje lahko razdelimo na tri glavne dele:

Iniciacija. Mutagene kemične snovi, ionizirno sevanje in virusi lahko povzročijo dedne spremembe v DNA in tvorijo inicialne celice. Inicialni genotip smatramo kot potencialno maligno stanje. Iniciacija je odvisna od doze. V primeru, da je doza višja, pride do večjega števila iniciranih celic. Pojavijo se kot manjši del celic ciljnega organa. V primeru, da se celice tkiva hitro razmnožujejo, je pogostnost inicialnih celic večja. Ne kažejo nobenih vidnih biokemičnih sprememb ali sprememb v obnašanju. Sprememba, ki je nastala se lahko spremeni v trajno spremembo, če ne pride do učinkovitega popravljanja.

Promocija. Promotor je tista snov, za katero ni nujno, da sama povzroča razvoj rakastega obolenja, pač pa s svojim delovanjem omogoča, da se potencialno karcinogena mutacija izrazi. Na ta način snov, ki deluje kot promotor, spremeni inicialno celico v nenormalno, aktivno celico, ki je lahko tudi prva celica rakaste tvorbe. Kot vedno v toksilogiji, ima tudi v tem primeru doza in trajanje izpostavljenosti velik pomen. Tako lahko promotor v določenih pogojih postane tudi sam karcinogen.

Progresija. V tej fazi postanejo celice tumorja maligne in pričnejo z nekontroliranim razvojem in razmnoževanjem. Tumor vrašča v tkiva okrog njega, tvorijo pa se tudi zasevki na drugih mestih telesa. Ti zasevki rastejo včasih celo hitreje, kot pa primarni tumor.

Karcinogeni potencial posamezne kemične snovi se ocenjuje na podlagi epidemioloških raziskav in raziskav na živalih. Mednarodna agencija za raziskavo raka (IARC) je leta 1974 začela sistematično ocenjevati karcinogeni učinek posameznih snovi, ki so jim ljudje izpostavljeni. Do sedaj je bilo opravljenih že preko 500 ocen posameznih snovi, ki so jih uvrstili v naslednje kategorije:

1. Obstaja dovolj dokazov o karcinogenost za človeka;

2a. Snov je verjetno karcinogena za človeka;

2b. Snov je morda karcinogena za človeka;

3. Ni dovolj ustreznih dokazov o karcinogenosti za človeka in

4. Snov ni karcinogena.

Individualne razlike so vzrok za različno občutljivost posameznika na delovanje karcinogenih snovi. Različna je tako stopnja absorpcije, kot tudi sposobnost organizma, da popravi nastale okvare, ki bi lahko vodile v nekontrolirano rast celic.

KLASIFIKACIJA SNOVI GLEDE RAKOTVORNOSTI (IARC)
Skupina 1 - *snov* ***je rakotvorna*** *pri človeku* *Sem spada snov, ki ima* ***zadosten*** *dokaz rakotvornosti pri človeku. Izjemoma je snov v tej kategoriji, ko so dokazi pri človeku* ***nezadostni****, so pa* ***zadostni*** *pri poskusnih živalih in je močan dokaz, da spojine delujejo po enakem mehanizmu tudi pri človeku.*
Skupina 2 *Sem spada tista snov, pri kateri je skoraj zadosten dokaz rakotvornosti pri človeku ali sploh ni prisotnih podatkov za človeka, so pa dokazi o rakotvornosti pri živalih. Na osnovi epidemioloških in eksperimentalnih dokazov o rakotvornosti ter na osnovi ostalih primernih podatkov ločimo:*
Skupina 2A *- snov je* ***verjetno rakotvorna*** *pri človeku* *Snov je uvrščena v to skupino, ko obstaja* ***omejen*** *dokaz za rakotvornost pri človeku, vendar* ***zadosten*** *pri živalih. V nekaterih primerih lahko snov prištejemo v to skupino, ko je pri človeku* ***nezadosten*** *dokaz, pri živalih pa* ***zadosten*** *in je močan dokaz, da je za rakotvornost odgovoren enak mehanizem kot pri človeku. Samo na osnovi omejenih dokazov rakotvornosti pri človeku je snov lahko le izjemoma prišteta v to skupino.*
Skupina 2B - *snov je* ***mogoče rakotvorna*** *pri človeku* *Sem uvrščamo snov, za katero obstaja* ***omejen*** *dokaz za rakotvornost pri človeku in* ***nezadosten dokaz*** *pri živalih. Lahko tudi v primeru, ko je pri ljudeh* ***nezadosten*** *dokaz, pri živalih pa* ***zadosten****. Včasih pa tudi, ko je* ***nezadosten*** *dokaz pri ljudeh,* ***omejen*** *dokaz pri živalih, vendar obstajajo* ***ostali*** *podporni podatki.*
Skupina 3 *- snov* ***ne more biti uvrščena*** *To je takrat, ko ni* ***zadostnih*** *dokazov za rakotvornost pri ljudeh in je* ***omejen ali nezadosten*** *dokaz pri živalih. Izjemoma je uvrščena sem, ko je* ***nezadosten*** *dokaz pri ljudeh, vendar* ***zadosten*** *pri živalih in ko obstaja močan dokaz, da kancerogeneza* ***ne poteka*** *po enakem mehanizmu kot pri ljudeh. Sem prištevamo tudi vse tiste snovi, zmesi, okoliščine izpostavljenosti, ki jih ne moremo uvrstiti v nobeno drugo skupino.*
Skupina 4 - *snov* ***verjetno ni rakotvorna*** *pri človeku* *To velja za snov z domnevno odsotnostjo rakotvornosti pri ljudeh in pri živalih.*

GHS - sistem pakiranja in označevanja nevarnih kemikalij

Na področju razvrščanja, pakiranja in označevanja nevarnih kemikalij so članice EU po 40 letih dopolnjevanja in spreminjanja zakonodaje na tem področju, leta 2009 med prvimi na svetu pričele uporabljati globalno poenoten sistem razvrščanja in označevanja nevarnih kemikalij to je GHS (Globally Harmonised System). V EU se je dokument GHS, ki sicer od leta 2001 nastaja in se dopolnjuje pod okriljem Združenih narodov v Ženevi, sprejel v obliki uredbe Evropskega parlamenta in Sveta. Za njeno vsebino in pravočasen sprejem ima veliko zaslug Slovenija, ki je v času svojega predsedovanja izpeljala najpomembnejše aktivnosti za sprejetje pomembnega dokumenta. Uveljavitev določb uredbe GHS pomeni implementacijo idej trajnostnega razvoja. Princip razvrščanja in označevanja nevarnih kemikalij, ki ga uvaja GHS, je podoben trenutnemu sistemu EU. Podobni pa ostajajo tudi glavni cilji, to je ugotoviti kakšne nevarne lastnosti ima določena kemikalija ter te informacije preko etikete in varnostnega lista posredovati uporabniku in tako omogočiti zavestnejšo, racionalnejšo in odgovornejšo uporabo tako na lokalnem kot tudi globalnem nivoju.

BIOLOŠKI DEJAVNIKI OKOLJA

Med biološke dejavnike tveganja uvrščamo vse žive organizme, pa tudi njihove dele, ki lahko pri človeku povzročijo škodljive posledice na zdravju. To so: rastline, insekti, glodalci in druge živali, glive, bakterije, virusi in različni toksini ter alergeni. V zadnjem času je posebna pozornost namenjena prionom. To so deli beljakovin, ki sprožijo različne bolezni, med njimi tudi Creutzfeldd-Jacobovo bolezen ali spongiloformni encefalitis.

Večina bioloških dejavnikov tveganja spada v naslednje skupine:

- mikroorganizmi in njihovi toksini (virusi, bakterije, glive in njihovi deli):: infekcija, intoksikacija ali alergična reakcija,
- členonožci (insekti, klopi): vnetje kože, sistemska intoksikacija, prenos infektivnih agensov in alergične reakcije,
- alergeni in toksini višjih rastlin (cvetni prah): vnetje kože, rinitis ali astma,
- beljakovinski alergeni vretenčarjev (urin, feces, slina, dlake): alergična reakcija.

Poleg naštetih agensov, so pomembni tudi višji organizmi kot so kače, divje živali in domače živali, ki lahko napadejo človeka in povzročijo zastrupitve ali poškodbe.

Mikroorganizme običajno razvrščamo v naslednje skupine: bakterije, virusi in enocelični paraziti. Bakterije in enocelični paraziti lahko živijo in se razmnožujejo izven žive celice in zato lahko preživijo in se razmnožujejo tudi v hrani ali v vodi. Virusi pa ne preživijo izven žive celice. Njihov razvoj je mogoč le, če so v celicah človeka, živali ali insektov. Številne bolezni, ki jih povzročajo mikroorganizmi so posledica neposrednega stika z okuženo osebo. Preglednica 2-4 prikazuje pomen mikroorganizmov za zdravje prebivalstva. Bolezni, ki povzročajo največ smrti na svetu so: akutne infekcije dihalnih poti, infekcije prebavnega trakta, tuberkuloza, malarija in ošpice.

Pojavljanje nalezljivih bolezni v Sloveniji je veliko bolj redko, kot v številnih drugih predelih sveta. K temu prispevajo preskrba prebivalstva z zadostnimi količinami zdravstveno neoporečne pitne vode, izgradnja kanalizacije, primerna prehrana, informiranje prebivalstva o škodljivostih v okolju ter uvajanje specifičnih ukrepov, kot je na primer cepljenje proti različnim boleznim. Vedno bolj pa so pomembne bolezni, ki jih prenašajo klopi in seveda tudi druge nalezljive bolezni sodobnega časa, zlasti spolno prenosljive in črevesne bolezni ter nekatere nove bolezni.

Nekatere bakterije in paraziti proizvajajo toksine, ki povzročijo intoksikacijo in ne infekcijo. Razlika je pomembna. Bolezen, ki je posledica zaužitja toksina se ne more

širiti na druge osebe, zato so tudi zaščitni ukrepi drugačni, kot tisti, ki so namenjeni preprečevanju širjenja nalezljivih bolezni.

Alergična obolenja, ki so posledica izpostavljenosti človeka alergenom v okolju, vedno bolj pridobivajo na pomenu. V Sloveniji je več kot 15% prebivalcev preobčutljivih na cvetni prah in druge biološke agense v okolju. Problem je še toliko večji, ker so možnosti ukrepanja za zmanjševanje težav le omejene.

Preglednica 2-4: Globalna ocena števila smrti zaradi nalezljivih bolezni v letu 2003

Obolenje/Stanje	Število smrti (v 1000)
Akutne infekcije spodnjih dihalnih poti – starost pod 5 let	4110
Infekcije prebavnega trakta pri starih pod 5 let	3010
Tuberkuloza	2709
Malarija	2000
Ošpice	1160
Hepatitis B	933
AIDS	700
Oslovski kašelj	360
Bakterijski meningitis	210
Shistozomiaza	200
Lešmeniaza	197
Kongenitalni sifilis	190
Tetanus	149
Amebiaza	70
Askariaza	60
Spalna bolezen	55
Meningitis	35
Steklina	35
Rumena mrzlica	30
Japonski encefalitis	11
Kolera	6.8
Poliomielitis	5.5
Davica	3.9
Lepra	2.4
Kuga	0.5
Vse	**16 445**

Vir: WHO, 2006

Širjenje bioloških dejavnikov tveganja

Voda, ki je onesnažena s človeškimi izločki predstavlja glavno pot širjenja povzročiteljev kolere, tifusa, griže, hepatitisa, kot tudi driske, kjer povzročitelj ni dokazan. Neustrezna sanitacija in izpuščanje neprečiščenih komunalnih odplak v

površinske vode ter neustrezne higienske navade so glavni vzroki za širjenje teh bolezni, zato je največja pozornost namenjena prav izboljšanju stanja na tem področju. Prenaseljenost in slaba prezračenost bivalnih prostorov prispevajo k širjenju tuberkuloze, ošpic, influence, pljučnice in meningitisa. Nehigiensko ravnanje z domačimi živalmi pospešuje pojav bolezni, ki jih prenašajo živali. Kontaminacija tal in vode pa prispeva k pojavu bolezni, ki jih prenašajo insekti in glodalci.

Nujno potrebni pogoji za okužbo

Sama prisotnost infektivnega agensa še ne pomeni tudi okužbe. Izpolnjeni morajo biti določeni predpogoji za okužbo. Med predpogoje štejemo aktivni rezervoar biološkega agensa, pot prenosa in vstop mikroorganizmov v občutljivega posameznika, infektivno dozo in virulenco živega povzročitelja ter občutljivost posameznika. Do okužbe lahko pride le kadar je patogeni agens živ, prisoten v zadostnem številu, in je uspešno prišel do občutljivega posameznika ter vanj prodrl skozi prava vrata.

Dejavniki ki vplivajo na okužbo in izpostavljenosti

Načini prenosa. Biološki agensi pridejo do občutljivega posameznika po različnih poteh. V grobem načine prenosa razdelimo na: prenos od okuženega človeka na občutljivega človeka, prenos preko živali ter prenos preko posrednikov, kot so voda, hrana ali tla. Prenos od človeka na človeka je možen na različne načine – preko placente, preko stika s telesnimi tekočinami okuženega, po zraku, med spolnimi odnosi ali pa preko predmetov, ki jih je posameznik okužil. Temu načinu prenosa je skupno to, da sta čas in pot prenosa kratka. To je pomembno predvsem pri tistih bioloških agensih, ki v zunanjem okolju ne preživijo dalj časa. Direktni prenos povzročitelja od okužene osebe na drugo osebo je najpogostejši ob spolnih odnosih. To je tudi eden najpomembnejših načinov širjenja okužbe nasploh.

Živali so lahko rezervoar povzročiteljev nalezljivih bolezni. Same dostikrat sploh ne zbolijo, temveč povzročitelje smo prenašajo in jih izločajo v okolico. Nekateri insekti pa so pomembni tudi zaradi mehaničnega prenašanja infektivnih agensov, saj jih lahko prenesejo od okuženih predmetov na hrano, tu pa se naprej razmnožujejo in povzročijo obolevanje.

Do okužbe preko živali pride zaradi vbodov, ugrizov in drugih podobnih poškodb, do katerih pride ob kontaktu z živalmi. Onesnaženje ran, ekcematoznih sprememb ali sluznic z živalskimi izločki, prav tako pogosto pripelje do okužbe. V primeru, da so onesnažene delovne površine ali orodje pa pride do posrednega prenosa povzročitelja. Kadar biološki agens v insektu živi, se razvija in razmnožuje, govorimo o prenosu bolezni preko vektorjev (prenašalcev). Do okužbe človeka pride takrat, ko ta insekt človeka ugrizne.

Zelo pogost je posreden način prenosa, preko vode, hrane ali tal. V primeru, da je pitna voda v določeni skupnosti onesnažena z izločki bolnika, pride do masovnega obolevanja in nadaljnjega širjenja povzročitelja. Potencialna nevarnost, da bi zaradi

uživanja okužene vode prišlo do masovnega obolevanja je pri nas manjša saj je možnost, da bi prišlo do okužbe vode, zaradi predhodne priprave vode (filtracija, kloriranje), manjša. Poleg tega je število bolezni, katerih povzročitelji se lahko prenašaj o preko vode, sorazmerno nizko in je torej tudi potencialnih onesnaževalcev virov pitne vode manj. Verjetnost takega načina širjenja povzročitelja zmanjšuje tudi zbiranje komunalnih odpadnih voda v greznicah ali kanalizaciji.

Pri nas je veliko bolj pomembna pot širjenja okužbe preko hrane, v kateri se bakterije lahko razmnožujejo. Nizko število bakterij v vodi, lahko v hrani doseže tako množico, da pride do znakov bolezni. Rast bakterij v hrani je odvisna od vrste hrane, od sposobnosti bakterij da rastejo v tej hrani ter od temperature. Shranjevanje hrane pri sobni temperaturi omogoča hitrejši razvoj bakterij, medtem ko je njihova rast pri temperaturi pod 4^0C ali nad 60^0C običajno zelo počasna.

Največji problem, ki je posledica prisotnosti bioloških agensov v tleh, predstavljajo gliste, katerih jajčeca izločajo oboleli. Črevesni paraziti so najpogostejši med skupinami, ki živijo v težkih življenjskih pogojih, zlasti pa med otroki. Ti se igrajo na tleh in niso navajeni uporabljati različnih preventivnih ukrepov. Vir okužbe pa so lahko tudi okužene domače živali. Ponovna uporaba odplak za namakanje ali gnojenje močno poveča nevarnost okužbe med kmetovalci.

Načini prenosa bioloških agensov

Človek - Človek: *preko placente ali telesnih tekočin, po zraku, fekalno – oralna pot, prenos med spolnimi odnosi*
Zoonoze: *preko vektorjev (prenašalcev), preko vretenčarjev*
Posredni prenos: *hrana, voda, tla*

Vstopna vrata. Mikroorganizmi vstopajo v organizem skozi kožo, zlasti če je poškodovana, ter skozi sluznice dihalnih poti, prebavnega in genitourinarnega trakta ter preko očesne sluznice. Pot vstopa bioloških agensov je največkrat preko vdihavanja, uživanja hrane in vode, lahko pa pride do okužbe tudi preko kože, zlasti če je poškodovana. Obstaja tudi nevarnost, da pride do okužbe očesne veznice, nosne in ustne sluznice. Do uživanja bioloških infektivnih agensov pride zlasti zaradi stika okuženih rok in ust med hranjenjem, pitjem, kajenjem ali uporabo kozmetičnih sredstev med delom. Umivanje rok zmanjša nevarnost takega načina okužbe. Infekcija je lahko tudi posledica vbodov, vreznin ali opraskanin. Ta tip okužbe se pojavi tudi takrat, kadar je koža ranjena, ali so sicer spremenjene njene zaščitne lastnosti.

Sluznica oči, nosa, ust so pogosto izpostavljene okužbi, kadar jo drgnemo z onesnaženimi prsti ali rokavicami ter takrat, kadar se okuženi material stresa ali razlije.

Infektivna doza. Infektivna doza mikroorganizmov je tisto število mikroorganizmov, ki so potrebni, da povzročijo klinično manifestacijo bolezni. Za

večino bioloških agensov imamo podatke o številu povzročiteljev, ki povzročijo bolezen pri živalih, medtem ko je podatkov o infektivni dozi za ljudi zelo malo.

Sposobnost za življenje in virulenca povzročiteljev. V primeru, da mikroorganizem ni živ oziroma se ne more razmnoževati, se bolezen ne more razviti. Zunanje okolje ima pomemben vpliv na mikroorganizme in vpliva na njihovo preživetje. Dejavniki, kot so vlaga, temperatura, in hrana lahko pospešijo ali zavrejo propad mikroorganizmov. Njihova sposobnost preživetja v zunanjem okolju je različna. Na primer bacil antraksa lahko preživi v neugodnih pogojih tudi več let, celo desetletij. Bacil tuberkuloze ali stafilokok ostaneta živa tudi v zelo suhih pogojih, medtem ko je herpes virus izredno občutljiv na pomanjkanje vlage in hitro propade.

Virulenca biološkega agensa je njegova sposobnost povzročiti bolezenske spremembe. Razlike v virulenci so med posameznimi mikroorganizmi izredno velike. Nekatere vrste mikroorganizmov so izredno patogene in povzročijo bolezen tudi pri povsem zdravem odraslem človeku. Druge vrste mikrobov, ki jih imenujemo tudi oportunistični mikroorganizmi, pa povzročijo bolezenske spremembe samo pri osebah, katerih obrambna sposobnost je zaradi drugih bolezni ali posebnega stanja, v katerem se nahajajo, zmanjšana.

Razporeditev, rast in obrambni sistem

Potem, ko infektivni agens vstopi v človeško telo, potuje po krvi, limfni tekočini ali po drugih tkivnih tekočinah do organa, kjer se lahko naprej razvija. Nekatere vrste mikroorganizmov so zelo specifične in se lahko razvijajo le na določenih tkivih. Tako na primer poliovirus lahko živil v sluznici prebavnega trakta, kjer se razmnožuje in povzroča drisko ter v določenih živčnih celicah v hrbtenjači, kar povzroča ohromelost določenih mišic. Streptokok živi v žrelni sluznici in povzroča vnetje mandljev, lahko pa povzroča tudi obolenje ledvic in srca.

K sreči ima človeški organizem izredno dobro razvit obrambni sistem, ki ga sestavljata dve komponenti: naravna ali nespecifična imunost ter pridobljena oziroma specifična. Naravna ali nespecifična imunost je starejša in je prisotna tudi pri nižjih živalskih vrstah. Značilno je, da so pri posameznih vrstah živali mehanizmi naravne imunosti enaki. Naravna imunost se ne razvije v teku življenja, temveč je prirojena. Bistveni elementi nespecifične naravne imunosti so:

- bele krvničke (levkociti), ki požirajo tuje delce – fagocitoza
- naravne celice ubijalke, ki napadajo in uničujejo tuje celice in
- tkivni izločki in komplement, ki uničijo tuje celice

Pridobljena ali specifična imunost pa temelji na zmožnosti posameznika, da se prilagodi novim dražljajem iz okolja in razvije specifični sistem, ki na enake dražljaje deluje zelo hitro in to tudi vrsto let po prvem stiku z določenim agensom.

Specifična imunost se razvije po rojstvu, je različna pri osebkih iste vrste in jo imenujemo tudi pridobljena imunost.

Pridobljeno imunosti lahko, glede na to, kako se je razvila, razdelimo na aktivno in pasivno. Pasivna imunost je lahko posledica materinih protiteles, ki pridejo skozi placento ali pa jih otrok dobi med dojenjem. Pasivno zaščito dajejo tudi protitelesa, ki jih vbrizgamo posamezniku. Obstojnost pasivne imunosti je sorazmerno kratka, največ nekaj mesecev. Aktivna imunost je lahko naravna, v primeru da je prišlo do okužbe ali pa umetno spodbujena, ki jo dosežemo s cepljenjem.

Za imunski sistem je značilno, da je sposoben razločevati med telesu lastnimi in tujimi molekulami. Če je molekula tuja, jo odstrani. Imunski sistem je tudi zelo selektiven. V primeru, da se razvije specifična imunost na določen mikroorganizem, ta imunost ne ščiti proti sorodnemu mikroorganizmu. Pomembna je tudi razširjenost imunosti po vsem telesu. Na primer, kadar se specifična imunost razvije zaradi prisotnosti mikroorganizmov na določenem delu telesa ali v določenem organu, potem je imunost na ta antigen enaka po vsem telesu.

Nespecifična imunost

Nespecifična imunost je najpomembnejša obramba telesa proti infekciji. Aktivira se takoj ob stiku z mikroorganizmom in je učinkovita proti širokemu spektru potencialno infektivnih mikrobov. Določeni dejavniki, kot so starost osebe, hormonski status, obolevanje zaradi drugih bolezni in stanje prehranjenosti lahko pomembno vplivajo na učinkovitost nespecifične imunosti. Glavni dejavniki, ki slabijo nespecifični obrambni sistem so:

- obolevanje zaradi druge bolezni,
- starost,
- stres,
- hormonski status.

Prva obrambna črta, na katero naleti mikroorganizem so fizikalne prepreke. To so predvsem nepoškodovana koža in sluznice. Koža je bolj odporna zaradi zunanje roževinaste plasti. Telo okrepi obrambo proti vdoru bioloških agensov s številnimi fiziološkimi dejavniki kot na primer:

- Normalna mikrobiološka flora je pomemben obrambni mehanizem. Na koži in sluznicah živi običajno veliko število relativno neškodljivih mikroorganizmov. Ti mikroorganizmi ovirajo naselitev in razvoj potencialno bolj škodljivih bakterij.
- Posamezna tkiva in organi imajo še dodatne fizikalne in kemične mehanizme, ki otežijo naselitev potencialno nevarnih mikroorganizmov. Znana je kislost želodčnega soka pri zdravih osebah, ki hitro uniči mikroorganizme. Povrhnje celice sluznic imajo pogosto migetalke, ki skušajo, s stalnim gibanjem proti zunanjosti, odstraniti tuje snovi.

- Za številne mikroorganizme predstavlja intaktna koža veliko, čeprav ne nepremostljivo, oviro. Nenasičene maščobne kisline, ki so prisotne na koži, bakterije uničijo. Zavirajoče na rast bakterij deluje tudi slan milje, ki je posledica izločanja znoja.
- V različnih telesnih tekočinah, kot so solze, slina, črevesni sok in izločki nosne sluznice, so velike količine encima lizocima, ki uničuje bakterije.
-
- Spiranje z urinom preprečuje usedanje bakterij v genitourinarnem traktu in s tem je nevarnost okužbe zmanjšana.

Nespecifični obrambni sistem predstavljao:

- Običajna mikrobiološka flora,
- Značilnosti tkiva in genetski dejavniki (migetalke, kislost želodca)
- Naravne bariere (koža, respiratorni trakt, prebavni trakt, genitourinarni trakt, oči)
-

Specifični obrambni sistem

Specifični obrambni sistem se aktivira vedno, kadar specializirane celice zaznajo, da je v telo prodrla tuja molekula. Celice, ki prepoznajo specifične antigene imenujemo limfociti. Vsak limfocit lahko prepozna samo eno vrsto antigena. Stik limfocita z antigenom povzroči razmnoževanje limfocitov, to pa je tudi začetek specifičnega imunskega odgovora. Pri specifičnem imunskem odgovoru sta pomembni zlasti dve vrsti limfocitov: limfociti B in limfociti T. Limfociti B so bistveni pri humoralnem imunskem odgovoru. Po stiku z antigenom pričnejo sintetizirati in v okolje izločati protitelesa proti temu antigenu. Protitelesa so kompleksne proteinske molekule, ki se vežejo na antigen (beljakovinske ali polisaharidne molekule tujka). Ko do te povezave pride, sprožijo protitelesa usmerjeno reakcijo za uničevanje kompleksov antigen-protitelo.

Limfociti T so sicer tudi pomembni pri razvoju humoralne imunosti, vendar pa je njihova vloga posebej pomembna pri celični imunosti. Tu imajo različne funkcije, s katerimi uravnavajo moč imunskega odziva. Poleg tega se nekateri limfociti preobrazijo v celice ubijalke, ki so sposobne uničiti celice patogenega mikroorganizma, kot tudi druge spremenjene celice (rakaste celice, celice v katerih se razmnožujejo virusi).

Vnetna reakcija. Če mikroorganizmi predrejo prvo obrambno črto, in vdrejo v tkiva, se sproži vnetna reakcija. Pri vnetju pride do lokalnega širjenja kapilar, upočasnitve pretoka krvi in izstopanja fagocitnih celic (nevtrofilci) ter različnih serumskih baktericidnih snovi. Fagociti potujejo proti žarišču infekcije, kar

imenujemo kemotaksa. S prebavnimi encimi skušajo uničiti mikroorganizme. Če ne uspejo, se širijo mikroorganizmi po limfnih vodih do regionalnih bezgavk. Tu so druge fagocitne celice (makrofagi), ki jih skušajo uničiti. Če tudi makrofagi ne uspejo uničiti vseh mikroorganizmov, prodrejo v krvni obtok, kjer so krožeči fagociti (nevtrofilci in monociti), v tkivih pa so tkivni makrofagi. Kljub učinkovitem obrambnem sistemu na različnih nivojih, pa s včasih zgodi, da ga mikroorganizmi premagajo, kar se pri človeku pokaže kot septikemija – razširjenost mikroorganizmov v krvi in različnih organskih sistemih. Septikemija je za človeka lahko tudi usodna.

Preiskovalne metode in zdravljenje

Danes so poznane številne laboratorijske metode, ki omogočajo identifikacijo večine bioloških agensov. Metode postajajo vedno bolj natančne in hitre. V zadnjem času se uveljavljajo predvsem metode, ki temeljijo na proučevanju genetske strukture bioloških agensov. To omogoča hitro identifikacijo povzročiteljev, s tem pa je mogoče hitro in usmerjeno zdravljenje. Vendar pa te metode še niso splošno uveljavljene in dosegljive, zato poteka postopek identifikacije po klasični poti, ki je praviloma dolgotrajna. Tako je na primer za identifikacijo virusov potrebno vzorec nanesti na kulturo tkivnih celic in počakati, da pride do razmnoževanja virusov v celici. Pri bakterijah pa je potrebno pred identifikacijo del vzorca nanesti na specifična hranilna gojišča, ki jih za določen čas inkubiramo pri ugodni temperaturi. Ko se bakterije dovolj namnožijo pa jih z posebnimi metodami skušajo identificirati.

Bolezni, ki jih povzročajo biološki agensi se pogosto same pozdravijo – s pomočjo splošne in specifične odpornosti, ki jo organizem razvije ob stiku z biološkim agensom. Če bolezni zdravimo, pa je njihov potek dostikrat blažji, predvsem pa pride hitreje do ozdravitve. V večini primerov lahko bolezni, ki jih povzročajo bakterije, zdravimo z antibiotiki. Za nekatere bolezni, kot je na primer bakterijski meningitis, pa lahko upravičeno trdimo, da pravočasno zdravljenje z antibiotiki rešuje življenje prizadetega. Antibiotiki delujejo specifično na posamezne vrste bakterij in jih uničijo. Bakterije so zelo prilagodljivi organizmi, zato so nekatere vrste bakterij že razvile odpornost na večino antibiotikov, ki so jih prej učinkovito uničevali. Tudi za bolezni, ki jih povzročajo paraziti, je na voljo kar nekaj specifičnih in učinkovitih zdravil.

Za bolezni, ki jih povzročajo virusi, še ni specifičnih zdravil. Tu je mogoče le lajšanje znakov bolezni, podobno kot tudi pri boleznih, ki jih povzročajo alergeni.

FIZIKALNI DEJAVNIKI V OKOLJU

Fizikalni dejavniki okolja predstavljajo potencialno energijo v okolju, ki lahko pri izpostavljenih osebah povzroči zdravstvene posledice. Do posledic pride v primeru, da je količina energije zadostna. Posledice so lahko takojšne, ali pa se pojavijo šele po določenem času. Fizikalni dejavniki so lahko naravnega izvora (grom, UV žarki, toplotni udar) ali pa posledica človekovega delovanja. Najbolj znani primeri fizikalnih dejavnikov okolja, ki lahko negativno vplivajo na zdravje izpostavljenih so: hrup, ionizirno in neionizirno sevanje, ter električna energija.

Do sproščanja fizikalne energije lahko pride na hitro in nepričakovano, kot na primer pri eksploziji, velikem hrupu, ali pa postopno in bolj zmerno, kot na primer na delovnem mestu.

Hrup, sevanje in temperatura so najbolj pogoste vrste fizikalnih dejavnikov, ki smo jim ljudje izpostavljeni in lahko ogrožajo zdravje. Pri delu na področju varstva okolja se največkrat srečujemo s tistimi fizikalnimi dejavniki okolja, ki so posledica človekove aktivnosti in na katere je mogoče z ustreznimi ukrepi vplivati tako, da se njihov vpliv oziroma moč delovanja zmanjša. Tako je na primer veliko prizadevanj usmerjenih v zmanjševanje obremenitve s hrupom na delovnem mestu.

PRITISK

Zračni pritisk, ki je nad ali pod eno atmosfero je običajen pri delu v posebnih okoliščinah, kot na primer v vodi ali na visokih višinah. Absolutni pritisk je običajno manj kritičen, kot pa so spremembe pritiska. Pri osebi, ki je izpostavljena spremembi zunanjega pritiska pride lahko do zdravstvenih posledic, ki jih imenujemo barotrauma. Zdravstveni problemi, ki se pojavijo ob naraščanju pritiska (kompresiji) se pojavijo le, če ni možnosti za izenačevanje pritiska. Problemi, ki se pojavijo ob zniževanju zunanjega pritiska (dekompresija) so bolj običajni. Pojavijo se, če se posameznik, na primer potapljač, prehitro dvigne na površino ali če se keson z osebami, ki so delale na globini, prehitro dvigne na površino. Lahko se pojavijo znaki dekompresijske bolezni, zračna embolija in aseptična nekroza.

Težave, ki se pojavijo zaradi nizkega zračnega pritiska, so večinoma posledica znižanega parcialnega pritiska kisika, kar vodi do hipoksije, plitkega dihanja, povečane frekvence vdihavanja zraka. Pri osebah, ki niso vajene se lahko že na višin 4000 m pojavi slabost in nezavest.

SEVANJE

Sevanje je oblika energije, ki se kot elektromagnetno valovanje ali v obliki delcev širi skozi prostor in snov. Sevanje, ki ga določa frekvenca ter pripadajoča energija, je prisotno povsod v našem okolju ter človeka spremlja že ves čas njegovega razvoja. Dnevno se srečujemo s svetlobo, toploto, sevanjem radioaktivnih snovi, kozmičnim sevanjem, sevanjem oddajnikov in mobilnih telefonov, daljnovodov, transformatorskih postaj, gospodinjskih naprav in drugih električnih in elektronskih naprav. Sevanje prihaja tudi iz vesolja in zemeljske skorje, saj minerali, ki jo sestavljajo, vsebujejo radioaktivne elemente. Tudi živa bitja so vir sevanja, saj oddajajo toploto, sevajo pa tudi zaradi radioaktivnih snovi, ki so prisotne v človekovem telesu (v kosteh polonij in radij, v mišicah radioaktivni ogljik in kalij).

Informacij, ki jih nosi elektromagnetno sevanje (EMS) izven vidnega dela spektra, človeška čutila ne zaznavajo neposredno. Ker pa v naravi obstajajo elektromagnetna sevanja v vseh območjih spektra, si lahko pri njihovi obdelavi pomagamo s tehnološkimi pripomočki. Tako lahko optično vlakno prenaša svetlobo, ki, četudi je ne vidimo, prenaša podatke. Te podatke lahko pretvorimo v zvok ali sliko. Kodiranje podatkov uporabljamo tudi pri radiu in brezžičnih komunikacijah. Visokofrekvenčna EMS prenašajo podatke tako, da spreminjajo (modulirajo) bodisi frekvenco bodisi amplitudo nosilnega signala.

V kvantni mehaniki elektromagnetno sevanje opisujemo kot paketke energije, ki jih imenujemo fotoni. Njihova hitrost razširjanja je enaka hitrosti svetlobe. Elektromagnetno sevanje se obenem obnaša kot valovanje in kot curek fotonov, čemur pravimo valovno-delčni dualizem. Kadar opisujemo elektromagnetno sevanje kot valovanje, ga opišemo s hitrostjo razširjanja (ki je enaka hitrosti svetlobe) ter valovno dolžino ali frekvenco. Kadar opisujemo elektromagnetno sevanje kot curek fotonov, lahko njihovo energijo E določimo s pomočjo Planckove zveze

$$\mathbf{E = h.\nu}$$

Pri tem je

h - Planckova konstanta 6.626×10^{-34} Js.

ν - frekvenca sevanja v Hz ali s^{-1}

E – energija sevanja v J. Kot enota se uporablja tudi elektronvolt (eV). 1 eV = $1{,}602.10^{-19}$ J

Energija fotona je tako direktno proporcionalna frekvenci sevanja. Skladno s Planckovo zvezo nosijo največ energije kvanti sevanja z najvišjo frekvenco (in najkrajšo valovno dolžino); sem sodijo žarki gama in rentgenski žarki. Pri frekvenci 3.10^{15} Hz znaša energija fotona 2.10^{-18} J ali 12,4 eV (glej sliko 1). Ta energija je

primerljiva z energijo, ki veže elektrone na atome. Tako sevanja velikih energij fotonov (na primer X žarki, gama žarki) lahko izbijejo elektrone iz atomov ter s tem povzročijo ionizacijo - tvorjenje ionov. Zato elektromagnetna sevanja glede na energijo ter s tem glede na učinek delimo na ionizirna in neionizirna.

Ionizirna sevanja imajo precej višje frekvence in s tem več energije kot neionizirna in zato lahko ionizirajo snov – iz atomov izbijejo elektrone. Ker ionizirna sevanja izbijajo elektrone tudi iz atomov v človekovem telesu, lahko poškodujejo celice ter s tem ogrozijo zdravje. Med ionizirna sodijo X žarki in gama žarki ter sevanja delcev alfa, delcev beta in nevtronov.

Neionizirna sevanja imajo nižje frekvence kot ionizirna ter tako premajhno energijo za ionizacijo snovi. Delimo jih na enosmerna električna in magnetna polja, sevanja nizkih in visokih frekvenc ter infrardečo, vidno in ultravijolično svetlobo. Glavni viri neionizirnih sevanj, s katerimi se vsak dan srečujemo, so daljnovodi, gospodinjske naprave, radijski in televizijski oddajniki, mobilni telefoni in bazne postaje, radarji, sončna svetloba, solariji, najrazličnejše sijalke ter izvori svetlobe. Nekatera neionizirna sevanja zaznavamo s čutili (vidna svetloba, toplota), ionizirnih sevanj pa ne.

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 (na primer v optičnem vlaknu).

Ionizirna sevanja

Ionizirna sevanja imajo dovolj visoko energijo za ionizacijo atomov ali molekul. V grobem jih lahko delimo na:

- sevanja, pri katerih vir oddaja elektromagnetno valovanje (sevanje gama in X-žarki),
- sevanja, pri katerih vir oddaja delce (sevanje delcev alfa, beta, nevtroni).

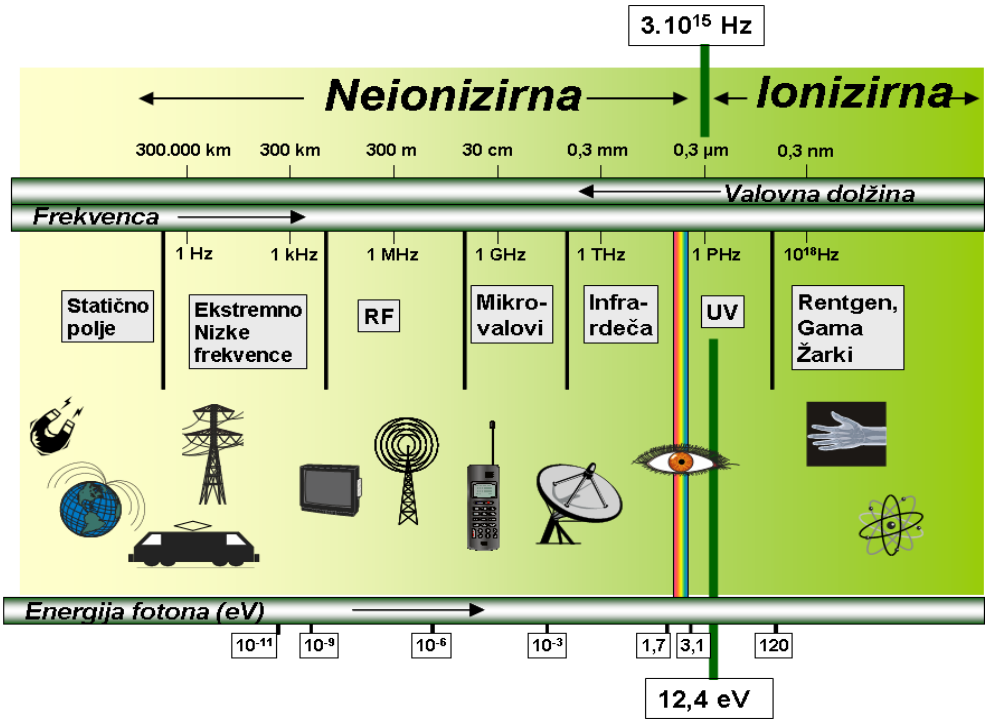
Sevanje gama: Pogosto nastaja ob jedrskih razpadih skupaj z delci α ali β. To sevanje ima enako fizikalno naravo kot optična sevanja, vendar ima bistveno več energije in veliko sposobnost prodiranja skozi snov. Za zaslanjanje gama sevanja je zato treba uporabljati težke materiale, na primer svinec in beton.

Rentgensko sevanje (X žarki): Po svoji fizikalni naravi se ne razlikuje od sevanja gama. Nastaja pri zaviranju visokoenergijskih elektronov v anodi rentgenske cevi. To sevanje visokih energij je sposobno prodreti v snovi, kolikor večja je napetost cevi, v kateri poteka pospeševanje elektronov. Rentgensko sevanje se uporablja predvsem v medicini za radiodiagnostiko, ter v fiziki za kristalografijo.

Sevanje alfa (α): Težja jedra (na primer urana in plutonija) sevajo večje delce, ki so sestavljeni iz dveh protonov in nevtronov, ter jih imenujemo sevanje alfa. So enaki jedrom helija-4, dvakrat ioniziranega atoma najpogostejšega izotopa helija. Alfa

delci se absorbirajo že v nekaj centimetrih zraka in ne morejo prodreti niti skozi list papirja niti skozi človeško kožo.

Slika 1-4: Delitev elektromagnetnega spektra glede na frekvenco, valovno dolžino in energijo fotonov.



Sevanje beta (β): Pri radioaktivnem beta razpadu izgubi jedro energijo tako, da nevtron spremeni v proton in odda elektron. Tako sevanje delcev v obliki elektronov imenujemo beta sevanje. Sposobnost prodiranja beta delcev znaša v zraku od nekaj centimetrov do enega metra, v mehkem tkivu ali umetni masi pa nekaj milimetrov do enega centimetra. To sevanje zaustavi že debela plast aluminija.

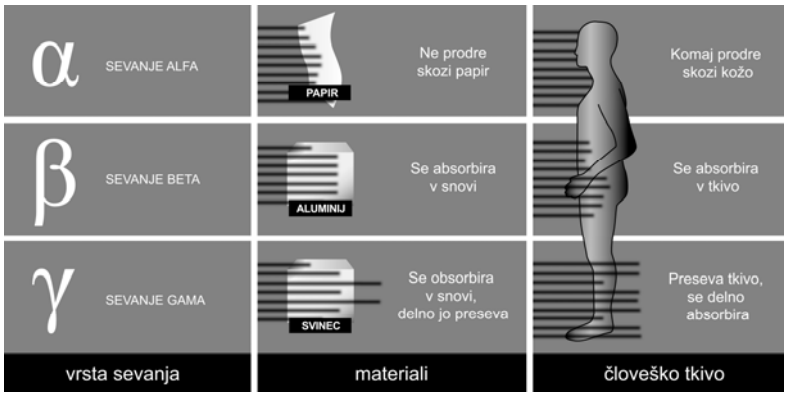
Delci beta in alfa imajo električni naboj, ki povzroča ionizacijo snovi okrog sebe tako, da v njej tudi hitro izgubijo svojo kinetično energijo in se ustavijo (absorbirajo).

Sevanje nevtronov: Nevtroni so električno nevtralni elementarni delci. Sproščajo se predvsem pri delitvi jeder, ki je posebna oblika spremembe jeder. Delitev jeder je značilna le za težka atomska jedra – na primer pri elementu uranu – in poteka na primer v jedrskih reaktorjih. Za zaščito pred sevanji nevtronov so najprimernejši materiali, ki vsebujejo vodik (polietilen, parafin, voda).

Preglednica 3-4: Osnovna merila učinkov sevanj - doze, ki jih uporabljamo za področje ionizirnih sevanj.

Količina	Simbol	Enote	Oznaka	Opombe
Absorbirna doza	D	J/kg	Gray (Gy)	merilo za absorbirano energijo v enoti mase tkiva
Ekvivalentna doza	H	J/kg	Sievert (Sv)	merilo za sevalno škod, prizadeto tkivu zaradi vrste sevanja
Efektivna doza	E	J/kg	Sievert (Sv)	vsota uteženih ekvivalentnih doz od notranjega in zunanjega obsevanja po vseh tkivih in organih telesa
Aktivnost	A	1 razpad jedra na sekundo	Becquerel (Bq)	merilo aktivnosti določenega materiala je število razpadov jeder, do katerih pride v tem materialu v določeni časovni enoti.

Slika 2-4. Sevanje alfa (α), beta (β) (elektroni) in gama (γ) ter njihova prodornost



Izraz »radioaktivno« sevanje, ki ga v javnosti večkrat slišimo, z znanstvenega vidika ni pravilen. »Radioaktivni« so atomi, ki jih označujemo tudi radionuklidi.

Viri ionizirnih sevanj

Sevanje je že od nekdaj neločljivi del našega okolja. K skupni sevalni obremenitvi prispevajo tako **naravni viri** ionizirnih sevanj, v prsti, vodi in zraku, kakor tudi **umetni viri**, ki izhajajo iz kopanja rude in uporabe naravno radioaktivnih snovi pri proizvodnji energije, medicine, proizvodov za široko potrošnjo, vojske in industrijskih aplikacij. .

Naravni viri

Ljudje smo primarno izpostavljeni naravnim virom sevanj sonca, kozmičnim sevanjem in naravno prisotnih radioaktivnih elementov v zemeljski skorji.

Radon je radioaktivni žlahtni plin, ki nastaja z radioaktivnim razpadom urana in torija v zemlji. Izhaja iz tal in se kopiči v slabo prezračenih prostorih. Je eden najtežjih plinov in dokazano negativno vpliva na zdravje, saj njegovi potomci ostanejo v pljučih kot lebdeči radioaktivni delci, ki ob vdihavanju povečajo tveganje za nastanek raka na dihalih. Sevanje radona in njegovih potomcev že od nekdaj predstavlja največji delež naravnega sevanja okolja (skoraj 50%).

Koncentracija radona v bivalnih prostorih v Sloveniji je okrog 60 Bq/m3. Če koncentracija radona preseže določeno mejo v posameznem prostoru, je potrebno izvesti sanacijo (na primer odsesavanje zraka izpod talne plošče). Koncentracija radona je odvisna od geološke podlage in se zelo zmanjša, če imamo okna in vrata odprta.

Kozmično sevanje izhaja iz vesolja, poimenujemo kozmično sevanje in k skupni izpostavljenosti ozadja na Zemlji prispeva 15%. Kozmični žarki, ki prihajajo iz globin vesolja, so mešanica atomskih jeder (90 % protonov – vodikovih jeder, 9,5 % helijevih jeder in 0,5 % drugih težjih jeder) z zelo veliko energijo. Ob vstopu v našo atmosfero zadevajo ob jedra atomov, ki ozračje sestavljajo, in sprožajo različne jedrske pretvorbe. Pri tem nastajajo novi delci, ki kot nekakšni plazovi padajo v spodnje plasti zemeljskega ozračja, do zemeljskega površja, nekateri pa prodrejo celo v zemeljsko notranjost.

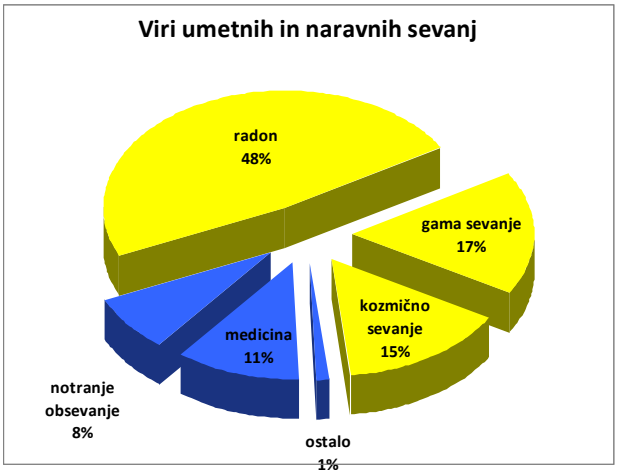
Velikost absorbirane doze zaradi kozmičnega sevanja je odvisna predvsem od aktivnosti Sonca (sončne pege), nadmorske višine in geomagnetne lege kraja. Prebivalci visokogorskih naselij sprejmejo večjo dozo kot prebivalci obmorskih krajev. Prejeta doza kozmičnega sevanja na letalih je tako visoka, da po podatkih poročila Združenih narodov UNSCEAR 2000 posadka na letalu prejme povprečno celo več sevanja kot je naravno ozadje.

Sevanje gama iz zemeljske skorje pogosto nastaja ob jedrskih razpadih skupaj z delci α ali β. Novo jedro se lahko po razpadu nahaja v enem od vzbujenih stanj in ob prehodu v osnovno stanje izseva še žarek gama. Snovi, za katere je značilen radioaktivni razpad, imenujemo radioaktivne snovi. Mnoge so prisotne v zemeljski skorji (uran, torij), lahko pa jih naredijo tudi umetno z obsevanjem v reaktorju ali obstreljevanjem v pospeševalnikih. Radioaktivne snovi poleg uporabe v jedrskih elektrarnah (za proizvodnjo energije) omogočajo mnoge diagnostične in terapevtske postopke v medicini in industrijske procese (slikanje zvarov in iskanje napak v kovinah, merjenje debelin in nivojev, Skupno zemeljsko sevanje (gama) prispeva 17% k celotnemu sevanju.

Notranje obsevanje je izpostavljenost, do katere pride, če s hrano, z zrakom ali skozi kožo vnesemo v telo radioaktivne snovi (inhalacija in ingestija). Zlasti nevarno je sevanje alfa in beta, saj ima majhno prodornost, vendar lokalno povzroči veliko škodo na živih celicah. Notranje obsevanje prispeva 8% k celotnemu sevanju.

Celoletna doza, ki jo sprejmemo prebivalci iz naravnega ozadja in kateri se ne moremo izogniti, znaša okoli 2,4 mSv. Za primerjavo navedimo, da je povprečna

efektivna doza, ki jo prebivalci Slovenije prejmemo zaradi naravnega ozadja okrog 2,5 – 2,8 mSv letno.



Slika 3-4: Viri in razporeditev povprečne izpostavljenosti sevanju na ravni svetovnega prebivalstva

Na podlagi priporočil Mednarodne komisije za varstvo pred sevanji (ICRP) znaša mejna letna efektivna doza za poklicno izpostavljenost 20 mSv, medtem ko za prebivalstvo znaša 1 mSv. Pri tem so izvzeti naravno ozadje in morebitne medicinske preiskave ali zdravljenja posameznika z viri sevanj.

Umetni viri sevanj

Če za uporabo umetnih virov sevanj v medicini lahko trdimo, da jo pozna večina ljudi, pa je uporaba virov v industriji in raziskovalni dejavnosti manj poznana.

Naprave za medicinsko diagnostiko in terapijo, kot so rentgen in računalniška tomografija (CT), so daleč največji vir umetnih virov sevanj, ki jim je izpostavljeno prebivalstvo. To prispeva 11% k celotnemu sevanju. V medicini se uporabljajo tudi nekateri radionuklidi (I-131, Tc-99).

Tudi viri v jedrski energetiki, ki vključujejo celoten jedrski ciklus od pridobivanja urana do odlaganja jedrskih odpadkov, prispevajo letno 0,02 % k skupnemu sevanju.

Prebivalstvo je lahko izpostavljeno sevanju še nekaterih drugih snovi in naprav, kot so gradbeni materiali, vnetljiva goriva (plin), katodne cevi televizorjev, luminiscentne ure, rudarski kompas (tritij), rentgenski sistemi na letališčih, javljalniki požara, materiali za izgradnjo cest in tobak (polonij 210). Tako povzročeno sevanje je minimalno in prispeva 1% celotnega sevanja. Primeri: Letalsko potovanje (0,1%), TV (0,1%), sledi testov atomskih bomb (0,2%).

Preglednica 4-4: Povprečna letna doza na ravni svetovnega prebivalstva glede na vire sevanje

Vir sevanja	Povprečna letna doza (mSv)
Naravi viri	
Radon	1,3
Kozmično sevanje	0,4
Gama (Zemeljsko) sevanje	0,5
Notranje obsevanje	0,2
Umetni viri	
Medicina	0,3
Jedrski poizkusi	0,005
Černobil	0,002
Jedrska energija	0,0002
Skupno	2,7

Na drugi strani so sevalne obremenitve zaradi umetnih virov sevanj na delovnem mestu zelo skrbno spremljane (žepna izvedba osebnih dozimetrov) in regulirane z zakonodajo. Poklicna izpostavljenost ionizirnim sevanjem k celotni sevalni obremenitvi prispeva le do 0,25%. Najbolj izpostavljene delavce najdemo:

- promet: posadka v avionu (najbolj izpostavljena skupina)
- industrija: industrijska radiografija, raziskovalni laboratoriji
- medicina: radiologija in nuklearna medicina
- energetika: pridobivanje uranove rude in bogatenje urana, jedrska elektrarna in izdelava jedrskega goriva
-

Preglednica 5-4: Razvrstitev virov sevanj (medicina, industrija, raziskovalna dejavnost, drugo) glede na ugotovljeno zdravstveno tveganje (IAEA, 2003)

Kategorija	Vir sevanja	Zdravstveno tveganje
1	Termo-električni generatorji Obsevalne naprave Teleterapija Nož gama	Izjemno nevarni viri Zelo visoko tveganje
2	Industrijska gama radiografija Brahiterapija z visokimi hitrostmi doz	Zelo nevarni viri Visoko tveganje
3	Brahiterapija z srednjimi hitrosti doz Viri v procesni tehniki in avtomatiki (merilniki nivojev, debeline, gostote, …) Karotaža vrtin z viri sevanj	Nevarni viri sevanj Zmerno tveganje
4	Merilniki debeline in nivoja Prenosi merilniki gostote in vlage Merilniki kostne gostote Statični eliminatorji Brahiterapija	Manj nevarni viri sevanj Majhno tveganje
5	Brahiterapija z nizkimi hitrostmi doz, Rentgenska flourescenca Detektor za zajetje elektronov	Zelo majhno tveganje

Pomembno je, da se zavedamo, da tveganje pri delu z različnimi umetnimi viri ni enako, zato je Mednarodna agencija za atomsko energijo (IAEA, 2003) radioaktivne vire razdelila v pet kategorij. V prve tri kategorije so uvrščeni viri sevanja, ki lahko ob neustreznem ravnanju povzročijo trajne zdravstvene posledice ali celo smrt. Razvrstitev virov (Preglednica 3) je bila opravljena glede na verjetnost potencialne obsevanosti, vrsto vira in njegovo aktivnost.

Vplivi ionizirnih sevanj na zdravje

Ko ionizirno sevanje zadene človeško telo, se v različni meri absorbira v tkivu in tam na molekularnem nivoju stopi v interakcijo s telesnim tkivom. Ionizirnih sevanj ne zaznamo s čutili. Odkrivamo jih lahko le z ustreznimi inštrumenti, kot je Geiger-Millerjev števec, in merimo s posebnimi dozimetri. »Količino« sevanja, ki se absorbira v telesu, označujemo kot absorbirno dozo (glej tabelo 1). Ionizirno sevanje ima, ne glede na svoj naravni ali umetni izvor, neposredno škodljiv vpliv na celico kot najmanjšo biološko enoto. Sevanje vpliva na ljudi tako, da se energija odlaga v telesnem tkivu, kar lahko poškoduje celice ali povzroči celično smrt. V nekaterih primerih učinka morda niti ne opazimo. V drugih primerih pa celica sicer preživi, vendar postane začasno ali trajno poškodovana. Taka celica, ki jo lahko poškodujejo tako majhne kot velike doze, pozneje lahko postane maligna.

Sevanje lahko zaradi okvare genetskega materiala (DNK), ki ga vsebujejo telesne celice, povzroči raka. Poškodba genetskega materiala v reproduktivnih celicah lahko povzroči genetske mutacije, ki se lahko prenašajo na prihodnje rodove.

Izguba ali sprememba celic pa sami po sebi še ne pomenita negativnega vpliva na zdravje. Človeški organizem ima sposobnost, da izravnava izgubo celic, poškodovane celice prepozna ter prek mehanizmov za popravilo, prek odmrtja celic ter prek imunskega sistema ponovno vzpostavi normalno stanje.

Obrambni mehanizmi in sistem za popravilo pa v primeru velikega števila poškodb lahko dosežejo svoje meje in odpovedo. Če je enaka doza razporejena prek daljšega časovnega obdobja in tako hkrati nastopi relativno malo poškodb, so možnosti za popolno popravilo večje.

Pri tem sta odločilna dejavnika med drugim doza in vrsta sevanja. Bistven vpliv na »zmogljivost« sistemov za popravilo ima tudi časovno obdobje, v katerem je bila doza sevanja sprejeta, ter krajevna razporejenost celic, ki jih je sevanje poškodovalo.

Različne vrste sevanja lahko v telesnem tkivu ne glede na enako absorbirno dozo povzročajo velikostno zelo različne biološke učinke. Pojavijo se v različnih oblikah, z različnimi časovnimi zakasnitvami in so odvisni od:

- vrste sevanj
- količine absorbirne doze zaradi izpostavljenosti sevanju,
- načina obsevanja:

- lokalizirana izpostavljenost (samo določenega dela telesa ali organa) ali izpostavljenost celega telesa.
- krajši čas (akutno) ali daljši čas (kronično),

Kronična izpostavljenost je trajna ali prekinjena izpostavljenost nizkim odmerkom skozi daljše časovno obdobje. Pri kronični izpostavljenost pride do zamika med izpostavljenostjo in morebitnimi negativnimi vplivi na zdravje, ki vključujejo raka in druge posledice, kot so benigni tumorji, katarakte in potencialno škodljivi genetski učinki. **Akutna izpostavljenost** je izpostavljenost velikim, posameznim dozam sevanja, ali seriji zmernih doz, ki jih oseba prejme v kratkem obdobju. Velike akutne doze so lahko posledica naključnih dogodkov ali izpostavljenosti pri določenih medicinskih posegih (terapija s sevanjem).

Učinke ionizirnih sevanj delimo na deterministične in stohastične.

Deterministični so tisti učinki, za katere lahko z veliko verjetnostjo trdimo, da se bodo pojavili pri visokih prejetih dozah sevanja (nad določenim pragom). Lahko jih pripišemo neposredno določeni izpostavljenosti sevanju. Nastopijo takoj ali po nekaj tednih. Opazni so šele, ko je presežena določena količina poškodovanih celic. Zato ta vrsta poškodb nastopi šele nad neko mejno dozo. Za različne deterministične učinke sevanja (na primer slabokrvnost, izpadanje las) so pragovne vrednosti različne. Najnižje pragovne vrednosti znašajo pri akutni izpostavljenosti celega telesa od 0,1 do 0,5 Sv. Tedaj se že lahko pokažejo kratkoročne spremembe krvne slike, ki jih lahko ugotovi le zdravnik. Čim večja je prejeta doza sevanja, tem težja bo bolezen. Za sevanje so posebej občutljivi organi, v katerih nastaja kri, sluznica želodčno-trebušnega trakta in dihalne poti ter spolne žleze in embrionalno tkivo. Do teratogenih poškodb, t.j. razvojnih napak zarodka oz. otroka, potem ko je bila mati izpostavljena sevanju, pride pri pragovni vrednosti ca. 100 mSv.

Stohastični (naključni) učinki pa so tisti, ki jih ne opazimo takoj in se pojavijo šele kasneje v izpostavljenem tkivu ali pa se prenesejo na potomce (na primer spremembe na molekulah DNK). Z gotovostjo ne moremo napovedati, kaj se bo zgodilo s poškodovanim celicam, lahko samo ugotavljamo verjetnost takšnih sprememb, ki pa je sorazmerna s prejeto dozo. Stohastični vplivi sevanja nastopajo v odvisnosti od absorbirne doze z določeno verjetnostjo. Latentna doba, t.j. čas med izpostavljenostjo sevanju in nastopom bolezni, lahko znaša leta in celo desetletja. Glede na to, ali gre za zarodno celico ali za telesno celico, gre lahko za spremembo dednih zasnov z možnimi posledicami za zdravje za naslednje generacije ali pa se lahko pri sami osebi, ki je bila izpostavljena sevanju, razvije rak.

Verjetnost nastopa stohastičnega vpliva sevanj označuje pojem **tveganje** za nastanek poškodb. Tveganje se ocenjuje na podlagi opažene pogostosti pojava bolezni pri izpostavljenih skupinah prebivalstva.

V večini primerov ima velika akutna izpostavljenost tako takojšnje kot zapoznele učinke. K zapoznelim biološkim učinkom prištevamo katarakto, začasno ali trajno neplodnost, raka in škodljive genetske učinke. Pri ljudeh in drugih sesalcih lahko

akutna izpostavljenost vsega telesa, če je dovolj velika, povzroči hiter razvoj sevalne bolezni, ki se kaže v obliki trebušnih in črevesnih motenj, bakterijskih infekcij, slabokrvnosti, izgube telesne tekočine in neravnovesja elektrolitov. Ekstremno visoki odmerki akutnega sevanja lahko v nekaj urah, dneh ali tednih povzročijo smrt.

Preglednica 6-4: Pregled učinkov ionizirnih sevanj glede na prejeto dozo

Doza (mSv)	Učinek
50-500	Ni očitnih simptomov, zmanjšanje števila rdečih krvnih celic, možni zapozneli učinki, povečana verjetnost rakavih obolenj
500-1000	Glavobol, povečana občutljivost za infekcije zaradi oslabitve imunskih celic, možna začasna neplodnost moških.
1000-4000	Slabost in bruhanje, utrujenost, oslabitev imunskega sistema in povečana verjetnost okužb, začasna ali trajna neplodnost, spontan splav, zmanjšanje števila belih krvnih celic, krvavitve ustne sluznice,v ledvicah in podkožju, do 50 % smrtnost po 1 mesecu.
4000-6000	Akutni znaki: močna slabost in bruhanje, driska, utrujenost, izrazito zmanjšanje števila belih krvnih celic, običajno trajna neplodnost žensk, hujše krvavitve ustne sluznice, v ledvicah in podkožju, 60 % smrtnost v 1 mesecu, predvsem zaradi infekcij in notranjih krvavitev.
6000-10.000	Uničenje kostnega mozga, hude poškodbe sluznice prebavil, driska, močne notranje krvavitve, povišana telesna temperatura, hujšanje, skoraj 100 % smrtnost v 2 tednih.
10.000-50.000	Takojšnja huda utrujenost in slabost, uničenje kostnega mozga, celic sluznice prebavil, driska in krvavitve v prebavilih, izguba vode, delirij, koma zaradi motenj v krvnem obtoku, 100 % smrtnost v 1 tednu.
50.000-80.000	Koma nastopi najkasneje v nekaj minutah, smrt pa v nekaj urah zaradi neusklajenega delovanja živčevja.
> 80.000	Takojšnja smrt.

Vsi ljudje smo kronično izpostavljeni sevanju v količinah, ki so stalno prisotne v okolju. Številni prejemajo tudi dodatne kronične in relativno majhne akutne odmerke sevanja. Pri prebivalstvu, ki prejema omenjene odmerke sevanja, je glavna skrb to, da sevanje lahko poveča tveganje raka ali škodljive genetske učinke.

Verjetnost za pojav raka, ki je posledica sevanja, ali škodljivih genetskih učinkov, je povezana s skupno dozo sevanja, ki mu je bil posameznik izpostavljen. Glede na trenutne znanstvene izsledke je lahko škodljiva sleherna izpostavljenost sevanju (to pomeni, da lahko poveča tveganje raka); vendar pa je pri zelo nizkih dozah pričakovano povečanje tveganja zelo majhno. Zaradi tega so stopnje pojavnosti raka pri prebivalstvu, ki prejema zelo nizke doze sevanja (nad dozami, običajnimi v okolju) podobne stopnjam pri povprečnem prebivalstvu.

Dokazi o poškodbah zaradi nizkih ali zmernih doz lahko ostanejo neopaženi več mesecev ali celo let. Minimalno časovno obdobje med izpostavljenostjo sevanju in pojavom levkemije (latentno obdobje) tako na primer znaša 2 leti. Pri nekaterih tumorjih traja latentno obdobje več kot 5 let. Vrste učinkov in verjetnost njihovega nastopa je odvisna od tega, ali je bila izpostavljenost kronična ali akutna. Omeniti je potrebno, da so vsi zapozneli zdravstveni vplivi, ki jih povezujemo s sevanjem, lahko tudi posledica drugih dejavnikov.

Primeri raka, ki so posledica izpostavljenosti sevanju, se lahko odkrivajo le z epidemiološko-statističnimi metodami v relativno velikih skupinah oseb na podlagi povečanih stopenj obolevnosti. Ni pa jih mogoče ugotavljati pri posameznih osebah na podlagi bolezenske slike. Obolenja zaradi izpostavljenosti sevanju se po bolezenski sliki ne razlikujejo od tako imenovanih spontanih obolenj.

Najbolj izčrpni podatki, ki so na voljo znanstvenikom, so podatki raziskav na preživelih ob eksploziji atomskih bomb na Japonskem, jedrski nesreči v Črnobilu ter na ljudeh, ki so v okviru medicinske terapije prejeli velike doze sevanja. Spodnja meja dokazljivosti za statistično pomembno povečane stopnje raka v tej skupini znaša od 50 do 100 mSv. Za otroke, ki so bili izpostavljeni med nosečnostjo, znaša spodnja meja dokazljivosti za statistično pomembno povečano tveganje pojava levkemije ca. 20 mSv. To tveganje se na podlagi spoznanj, pridobljenih v laboratorijskih poskusih, in biomedicinskih modelov za nastanek raka, ekstrapolira na nizke doze, ki jih srečujemo v naravnem in delovnem okolju. Pri tem na podlagi sevalno-bioloških spoznanj načelno predpostavljamo, da je brez pragovne vrednosti vsaka, še tako nizka izpostavljenost sevanju, povezana z ustrezno nizkim tveganjem.

Razpoložljivi podatki kažejo na višjo incidenco raka med izpostavljenimi osebami in večjo verjetnost raka z naraščanjem prejete doze. Podatke je mogoče uporabiti tudi za oceno možnih učinkov pri nižjih nivojih izpostavljenosti. Ko se pojavi dvom, skušajo znanstveniki izpeljati sklepe na podlagi informacij, pridobljenih z laboratorijskimi poskusi, vendar pa so te negotove. V zvezi z radonom so znanstveniki močno odvisni od podatkov, ki jih zberejo od rudarjev. Strokovnjaki s področja varstva pred ionizirnimi sevanji ugotavljajo, da možnost pojava usodnega raka narašča z večanjem doze sevanja. Domnevajo, da nobena izpostavljenost sevanju ni popolnoma varna.

Zato je glavni cilj sodobnega varstva pred sevanji, da je izpostavljenih čim manj ljudi in da so doze izpostavljenosti čim nižje. Posebna pozornost se posveča tudi izpostavljenosti pacientov v diagnostične in terapevtske namene, kjer se prav tako spoštuje načelo, da naj bo doza tako nizka, kot jo je mogoče doseči (načelo ALARA – **A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable), seveda ob doseganju ciljev in namena posega. Pri odobrenih medicinskih posegih mora biti korist terapije ali diagnostike vedno večja od tveganja, ki ga predstavlja sevanje.

Neionizirna sevanja

Neionizirna sevanja se nanašajo predvsem na sevano energijo, ki s prehodom skozi snov ne povzroča nabitih ionov, temveč segrevanje in stimulacijo vzdražnih tkiv. Oba pojava povzročata biološke učinke, nad določenim pragom jakosti pa tudi negativne vplive na zdravje.

Neionizirna sevanja so posledica naravnih virov, kot je Sonce in statično magnetno polje Zemlje in umetnih virov, kot so gospodinjske naprave, sistemi za prenos in distribucijo električne energije, brezžične komunikacije ter industrijske, znanstvene in medicinske naprave.

Spekter neionizirnih sevanj je razdeljen v dve glavni področji – **optična sevanja** in **elektromagnetna sevanja (EMS)**. Nadalje lahko optična sevanja podrobneje delimo na ultravijolično, vidno in infrardečo svetlobo, medtem ko elektromagnetna sevanja delimo na statična polja, nizkofrekvenčna električna in magnetna polja ter visokofrekvenčna elektromagnetna sevanja.

Z izjemo vidne svetlobe (400-780 nm), človek nima razvitih čutil za zaznavanje neionizirnih sevanj. Izjema so zelo visoke jakosti sevanj, ki povzročajo segrevanje tkiva. Sposobnost prodiranja v človeško telo, mesto absorpcije in posledično vplivi na zdravje so zelo odvisni od frekvence.

Preglednica 7-4: Elektromagnetni spekter v področju neionizirnih sevanj

	Vrsta sevanja	Frekvenca	Valovna dolžina	Energija fotona
EMS	Statična polja	0 Hz	∞	0
	Nizkofrekvenčna polja	0,1 Hz – 300 kHz	∞ – 1 km	0 – 1,24 neV
	Visokofrekvenčna EMS	300 kHz – 300 GHz	1 km – 1 mm	1,24 neV – 1,24 meV
Optična sevanja	Infrardeče sevanje	0,3 THz – 385 THz	10^6 – 780 nm	1,24 meV – 1,59 eV
	Vidna svetloba	385 THz – 750 THz	780 – 400 nm	1,59 eV - 3,1 eV
	Ultravijolično sevanje	750 THz – 3000 THz	400 – 100 nm	3,1 eV - 12,4 eV

Elektromagnetna sevanja (0-300 GHz)

Elektromagnetna sevanja glede na frekvenco ter s tem tudi na ugotovljene biološke učinke zdravstveno tveganje delimo na statična polja, nizkofrekvenčna polja ter visokofrekvenčna elektromagnetna sevanja.

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

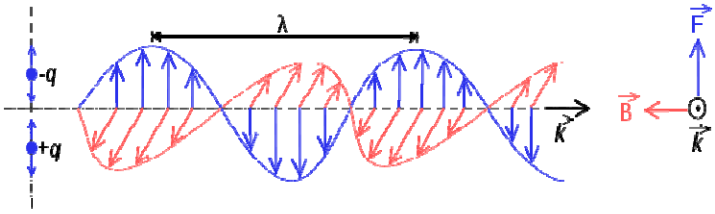
Magnetno polje obstaja le, ko teče električni tok. V prostoru torej tedaj obstaja tako električno kot magnetno polje. Čim večja je poraba električne energije ter s tem električnega toka, tem močnejše je magnetno polje. V nasprotju z električnim poljem pa magnetno polje nastane le, ko je naprava vključena in tok teče. Jakost magnetnega polja merimo v amperih na meter (A/m). V praksi se pogosto kot enota uporablja tudi gostota magnetnega pretoka v teslih (T). Navadno za opisovanje sevanj različnih naprav uporabljamo dosti manjšo enoto – milijoninko te vrednosti – mikrotesla (μT).

Visokofrekvenčna elektromagnetna sevanja so valovanja električnega in magnetnega polja. Električno in magnetno polje valujeta v smeri pravokotno eno na

drugo in vzdržujeta druga drugo. V prostoru se elektromagnetno valovanje širi s hitrostjo svetlobe v smeri, pravokotni na smer električnega in magnetnega polja. Elektromagnetno valovanje prenaša gibalno količino in energijo, pri čemer je polovica energije shranjena v električnem polju, druga polovica pa v magnetnem polju. Jakost električnega polja merimo v voltih na meter (V/m), jakost magnetnega polja pa v amperih na meter (A/m). Moč elektromagnetnega valovanja določimo s pomočjo Poyntingovega vektorja:

$$\mathbf{S} = \frac{1}{\mu_0}\mathbf{E} \times \mathbf{B},$$

Kjer je:
- μ_0 permeabilnost v vakuumu
- E električno polje
- B magnetno polje



Preglednica 8-4: Količine in enote, ki jih najpogosteje uporabljamo za določevanje izpostavljenosti človeka EMS.

Količina	Znak	Enota	Okrajšava
Frekvenca	f	Hertz	Hz
Valovna dolžina	λ	Meter	m
Električna poljska jakost	E	Volt na meter	V m^{-1}
Gostota magnetnega pretoka	B	Tesla	T
Magnetna poljska jakost	H	Amper na meter	A m^{-1}
Gostota pretoka moči	S	Vat na kvadratni meter	W m^{-2}
Gostota električnega toka	J	Ampet na kvadratni meter	A m^{-2}
Stopnja specifične absorpcije (SAR)	SAR	Vat na kilogram	W/kg

Viri elektromagnetnih sevanj

Na Zemlji so že od nekdaj prisotna sevanja naravnih virov. Čedalje več je tudi sevanj umetnih virov. Ta so navzoča povsod v okolju, kjer delamo ali bivamo (bivalno okolje) in njihova jakost s tehnološkim razvojem družbe narašča. Naravna EMS izvirajo iz zemlje (zemeljsko magnetno polje), zemeljske atmosfere (električno polje) in vesolja, kjer je sonce njihov najpomembnejši vir. Umetna EMS zavzemajo celotni frekvenčni spekter. Najpogostejši izvori so električno omrežje (nizko-, srednje- in visokonapetostni vodi povezani s transformatorji), električni motorji, gospodinjske naprave, naprave v industriji za obdelavo različnih materialov, računalniki, telekomunikacijske naprave, sistem mobilne telefonije, radijski in televizijski oddajniki, medicinske naprave in radarji. Ta sevanja dosegajo neprimerno večje jakosti kot sevanja naravnih izvorov.

Preglednica 9-4: Razvrstitev virov EMS glede na njihovo uporabo in frekvenco.

Frekvenca	Uporaba virov EMS

Statična električna in magnetna polja	v industriji - močni magneti v metalurgiji, elektroliza aluminija, varjenje, taljenje, galvanizacija, visokonapetostne naprave z enosmernimi statičnimi polji v medicini – magnetoresonančno slikanje (MRI), v znanosti - magnetospektrografija, ciklotronske naprave in različna visokoenergijska tehnologija
do 50 Hz	v prometu-za napajanje električnih železnic distribucija električne energije - daljnovodi, kablovodi razdelilne transformatorkse postaje porabniki in vodi, gospodinjski aparati, grelne naprave, računalniki, napajalniki
do 250 kHz	v industriji - induktivna segrevanja, rezalne naprave, varilni stroji, segrevalne naprave, računalniki
do 3 MHz--/NF/	v prometu - radionavigacija, radiodifuzija, naprave za urejanje prometa, naprave proti kraji in detekcijo (RF ID)
do 30 MHz--/VF/	v industriji - segrevanje, varjenje, sušenje, lepljenje, polimerizacija v medicini - diatermija, sterilizacija, radioastronomija, radiodifuzija
do 300 MHz--/VHF/	v industriji - segrevanje, varjenje, sušenje, lepljenje v medicini - diatermija; komunikacije- RA in TV oddajniki; mobilna telefonija, radijska detekcija, radionavigacija, radar, kontrola v zračnem prometu
do 3 GHz -/UHF/	v industriji prehrane, mikrovalovne peči, TV oddajniki, mobilna telefonija, radar, telemetrija, usmerjene zveze; v medicini – diatermija
do 30 GHz /SHF/	komunikacije - radar, navigacija, merjenje višine, satelitske zveze, usmerjene zveze, prenos energije
do 300 GHz/EHF/	promet, znanost - raziskave vesolja, radioastronomija, radiometeorologija

K sevalnim obremenitvam v bivalnem okolju prispevajo številni dejavniki: število električnih naprav v stanovanju, jakost toka v ozemljitvenem vodu sistema, distribucije, poraba energije v celotni soseski, razdalja od sosedovega stanovanja in razdalja od tokovodnikov. V skoraj vsakem domu se jakost magnetnega polja spreminja glede na porabo električne energije v soseski. Magnetno polje je tako praviloma najvišje med 20-23 uro zvečer, najnižje pa med 24 in 5 uro zjutraj.

Najmočnejša nizkofrekvenčna električna polja, ki jih navadno najdemo v okolju, so pod visokonapetostnimi daljnovodi. Najmočnejša magnetna polja nizkih frekvenc običajno najdemo v neposredni bližini motorjev in nekaterih drugih električnih naprav. Značilne vrednosti magnetnih polj v okolici nekaterih naprav v gospodinjstvu so podane v Preglednici 10-4.

Električna in magnetna poljska jakost nista odvisni od velikosti, zapletenosti, moči in glasnosti naprave. Celo med napravami, ki so si na prvi pogled podobne, se jakosti magnetnih polj zelo razlikujejo. Tako na primer nekateri sušilniki za lase povzročajo zelo močna polja, okrog drugih pa jih skoraj ni. Razlike v jakosti polja so odvisne od zasnove naprave. Omeniti je treba, da so bili izmerjeni nivoji magnetnega polja precej odvisni od modela naprave in oddaljenosti od nje.

Preglednica 10-4: Značilne vrednosti gostote magnetnega pretoka električnih naprav na različnih oddaljenostih od naprave

električna naprava	gostota magnetnega pretoka (μT) na različnih oddaljenostih

	3 cm	30 cm	1 m
sušilnik za lase	6 – 2000	0,01 – 7	0,01 – 0,03
Brivnik	15 – 1500	0,08 – 9	0,01 – 0,03
Sesalnik	200 – 800	2 – 20	0,13 – 2
radijski sprejemnik	16 – 56	1	< 0,01
električna peč	1 – 50	0,15 – 0,5	0,01 – 0,04
pralni stroj	0,8 – 50	0,15 – 3	0,01 – 0,15
Likalnik	8 – 30	0,12 – 0,3	0,01 – 0,03
pomivalni stroj	3,5 – 20	0,6 – 3	0,07 – 0,3
kopirni stroj	1-5	0,2 – 0,8	< 0,01
Faks	8-20	1-2	0,02 – 0,25
osebni računalnik	0,5 – 30	0,1	< 0,01
Hladilnik	0,5 – 1,7	0,01 – 0,25	<0,01
TV-sprejemnik	2,5 – 50	0,04 – 2	0,01 – 0,15
fluorescenčna svetilka	40 – 400	0,5 – 2	0,02 – 0,25
dovoljena mejna vrednost za prebivalstvo (ICNIRP)		**100**	

Pri večini gospodinjskih naprav je magnetna poljska jakost na razdalji 30 cm precej nižja od priporočene mejne vrednosti pri frekvenci 50 Hz za prebivalstvo, ki glede na priporočila Mednarodne komisije za varstvo pred neionizirnimi sevanji (ICNIRP) znaša 100 μ. Mejna vrednost za električno polje je 5 kV/m.

Pri visokofrekvenčnih EMS je izpostavljenost v okolju v glavnem posledica telekomunikacijskih naprav, radijskih in televizijskih oddajnikov ter radarjev, medtem ko sta v stanovanjih najpomembnejša vira mikrovalovna pečica in mobilni telefon. Zaradi dejstva, da so bazne postaje mobilne telefonije nameščene praktično skoraj v vsakem kraju, se v javnosti veliko pozornost namenja sevanjem baznih postaj.

Preglednica 11-4: Izmerjene vrednosti poljskih jakosti v okolici različnih oddajnikov v območju visokofrekvenčnih EMS

	Frekvenca	**Oddajna moč**	**Oddaljenost**	**Električna poljska jakost**
Srednjevalovni (AM) oddajnik	918 kHz	300 kW	100 m	74 V/m
UKV-radijski oddajnik	96,3 MHz	100 kW	100 m	< 1 V/m
TV-oddajnik	631,25 MHz	400 kW	100 m	5 V/m
Bazna postaja	925 MHz	112 W	50 m	1 V/m
Amaterska CB-postaja	27 MHz	4 W	2 m	3 V/m

Na podlagi meritev sevalnih obremenitev v okolju lahko zaključimo, da je človek največjim sevalnim obremenitvam v okolju izpostavljen v bližini srednjevalovnih oddajnikov. V okolici srednjevalovnega oddajnika doseže električna poljska jakost v najslabšem primeru vrednosti do 74,4 V/m, kar predstavlja 86% z Uredbo dovoljene mejne vrednosti. V okolici drugih močnostnih radijskih in TV oddajnikov pa sevalne obremenitve ne presežejo 25% dovoljene mejne vrednosti. Radarji, mikrovalovni komunikacijski sistemi in sateliti so zelo usmerjeni viri v točno določeno točko v

prostoru. Zaradi njihove lokacije in načina delovanja navadno ne predstavljajo pomembnejšega vira izpostavljenosti v okolju.

BAZNE POSTAJE

Na območju okrog bazne postaje, ki je dostopno javnosti, so značilne sevalne obremenitve precej nižje od najstrožjih mednarodnih standardov in priporočil. Le v neposredni bližini antene v njenem glavnem snopu so mejne vrednosti lahko presežene. Tipične sevalne obremenitve na človeku dostopnih območjih okrog baznih postaj dosegajo manj kot odstotek dovoljenih vrednosti. V večini primerov so signali baznih postaj v bivalnem okolju primerljivi z nivoji signalov radijskih in televizijskih oddajnikov.

Meritve, ki so jih v okolici baznih postaj doslej izvedle pooblaščene institucije v Sloveniji, kažejo, da obremenitev naravnega in življenjskega okolja z visokofrekvenčnimi elektromagnetnimi sevanji (VF EMS) nikjer ne presega mejnih vrednosti, ki jih določa Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju. Povprečna izpostavljenost ljudi sevanjem baznih postaj v Sloveniji je več kot stokrat manjša od predpisanih mejnih vrednosti.

Sevalne obremenitve zaradi baznih postaj so v resnici zelo nizke; nižje od tistih zaradi mobilnega telefona ali drugih radiodifuznih oddajnikov. Med bazno postajo in telefonom je bistvena razlika glede sevalnih obremenitev, saj bazna postaja predstavlja izpostavljenost celotnega telesa, pri telefonu pa gre le za izpostavljenost določenega dela telesa (glava, vrat, uho …). Poljske jakosti in energijska absorpcija v posameznih organih, še posebno v glavi, so zaradi mobilnega telefona precej večje. To pomeni, da so vplivi na zdravje, ki pa doslej niso ugotovljeni, bolj verjetni zaradi EMS mobilnih telefonov kot pa zaradi baznih postaj.

Močnostni viri visokih frekvenc se skoraj vedno nahajajo na višinskih lokacijah (stolpi na visokih stavbah, na vrhovih vzpetin...), kjer v bližini ni stanovanjskih in drugih objektov in zaradi tega ni možnosti prekomerne izpostavljenosti EMS. Navadno je dostop v neposredno bližino oddajnika nezaposlenim prepovedan in onemogočen z ograjo. To je tudi glavni razlog, da prebivalstvo navadno ni izpostavljeno visokim jakostim EMS v bližini oddajne antene.

Preglednica 12-4. Primerjava sevalnih obremenitev različnih visokofrekvenčnih virov sevanja.

	TV-oddajnik (VHF)	**RA-oddajnik (UKV)**	**RA-oddajnik (srednji val)**	**Bazna postaja**	**Mobilni telefon**
Oddajna moč	Do 400.000 W	do 100.000 W	do 300.000 W	do 50 W	do 2 W
Frekvenca	174 – 216 MHz	88-108 MHz	918 kHz	900 MHz	900 MHz
Oddaljenost merilnega mesta	1500 m	1500 m	100 m	50 m	0,03 m
% dovoljene mejne vrednosti	do 10 % (*)	do 25 % (*)	do 86 % (*)	do 2,5 % (*)	do 60 % (**)

(*) – vrednost izražena v % dovoljene mejne vrednosti glede na Uredbo o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (UL RS 70/96) za I.

Območje varstva pred sevanji. Meritve VF EMS zaradi oddajnikov v okolju so bile izvedene na višini 1,5 m nad tlemi.

(**) – ker v Sloveniji nimamo predpisane mejne vrednosti za telefone, je vrednost izražena v % dovoljene mejne vrednosti glede na smernice Mednarodne komisije za varstvo pred neionizirnimi sevanji (ICNIRP).

Vplivi EMS na zdravje

Človek je tako na delovnem mestu kot tudi doma izpostavljen kompleksni mešanici šibkih električnih in magnetnih polj – kot posledici proizvodnje, prenosa in distribucije električne energije, uporabe električnih in elektronskih naprav doma in na delovnem mestu ter telekomunikacijskih naprav in oddajnikov. Vpliv EMS na biološke organizme je različen glede na frekvenčno območje vira sevanja (statično polje, polja nizkih frekvenc, visokofrekvenčna EMS).

Za ugotavljanje morebitnih škodljivih vplivov EMS ter s tem tveganja za zdravje so potrebne različne študije z različnih področij raziskovanja. Pri ugotavljanju tveganja za zdravje se uporablja več vrst raziskav: od molekularnih struktur, prek celic in tkiv, vse do raziskav na živalih in ljudeh, ki so lahko epidemiološke ali laboratorijske na prostovoljcih. Za dokončno priznanje nekega biološkega učinka je potrebno, da ta učinek potrdimo na vseh ravneh raziskav.

Preglednica 13-4. Pregled znanstveno ugotovljenih bioloških učinkov zaradi izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem glede na frekvenco.

	Frekvenca	**Biološki učinki**
Statično polje	0 Hz	Magnetno polje – sila na nosilce naboja – slabost, vrtoglavica, magnetofosfeni, kovinski občutek v ustih Električno polje–naboj na površini telesa – razelektritve z iskro
Nizkofrekvenčna polja	< 300 kHz	Nabiranje naboja na površini telesa Induciranje električnega toka v telesu Stimulacija vzdražnih tkiv
Visokofrekvenčna EMS	10 GHz- 00 GHz	Nehomogena (lokalna) absorpcija visokofrekvenčne energije Segrevanje površine telesa/koža
	nekaj MHz–nekaj GHz	Segrevanje celega telesa – dvig temperature v posameznih organih in celem telesu

Razlika med biološkimi učinki ter vplivi na zdravje

Biološki učinki so merljivi odzivi organizma na dražljaje ali vplive iz okolja. Ti vplivni dejavniki pa niso nujno škodljivi za zdravje. Nekateri biološki učinki, kot je na primer produkcija vitamina D zaradi vpliva sončne svetlobe na celice kože, so celo koristni.

Človeško telo ima številne zapletene mehanizme za prilagoditev na spreminjajoče se vplive iz okolja. Seveda pa nima ustreznih kompenzacijskih mehanizmov za vse vrste

bioloških učinkov. Ireverzibilne spremembe ter dolgotrajnejše obremenitve lahko v nekaterih okoliščinah pomenijo zdravstveno tveganje.

Škodljivi učinki za zdravje vodijo do poslabšanja zdravstvenega stanja ali celo do obolenja, medtem ko biološki učinki še ne vodijo do zaznavnih vplivov na zdravje. VF EMS nad določenim pragom nedvomno povzročajo določene biološke učinke. Opravljene raziskave na zdravih prostovoljcih ne kažejo, da bi izpostavljenost VF EMS šibkim jakostim v okolju ali doma zaznavno škodljivo vplivala na zdravje. Izpostavljenost višjim jakostim, ki je lahko nevarna, pa je že omejena z mednarodnimi priporočili ter domačo zakonodajo.

Statična magnetna polja

Statična magnetna polja lahko vplivajo na biološke snovi prek treh ugotovljenih fizikalnih mehanizmov: magnetne indukcije, magnetno-mehanskih in elektronskih interakcij. Izvedenih je bilo veliko število in-vitro raziskav o možnih bioloških učinkih magnetnega polja, od vpliva na orientacijo celic in njihovo rast, aktivnosti metabolizma do izločanja genov. Obstoječe raziskave ne nudijo dovolj prepričljivih podatkov o škodljivih posledicah pri jakosti magnetnega polja do vrednosti nekaj tesla.

Kot posledica Lorentzove sile, ki deluje na gibajoče se nosilce nabojev, statično magnetno polje vpliva na pretok ionov. Pri tem se ustvari električno polje. Pri pretoku krvi v statičnem magnetnem polju se prek celic v krvi (bele/rdeče) ustvari potencial. Ocenjeni največji ustvarjeni potencial prek človeške aorte pri gostoti magnetnega pretoka 1 T je od 7 do 16 mV. Statično magnetno polje vpliva na tekoči prevodnik (kri) tudi z mehansko silo. Posledice za zdravje ostajajo nejasne.

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

Na voljo je le nekaj epidemioloških študij o zapoznelih vplivih na zdravje zaposlenih v industriji (taljenje aluminija, varjenje,…). Rezultati ne kažejo na povezavo med magnetnimi polji in rakastimi obolenji, reprodukcijo in druge vplive na zdravje. Študij, ki bi raziskovale vplive statičnega polja na zaposlene pri slikanju z magnetno resonanco (MRI), še ni na voljo.

Nizkofrekvenčna polja (0,1 hz – 300 khz)

Akutni učinki. Znanstveno je potrjeno, da nizkofrekvenčna električna in magnetna polja v človekovem telesu lahko povzročajo nastanek polj ter tokov in, če so dovolj močna, v odvisnosti od jakosti in frekvenčnega območja, vrsto učinkov, na primer stimulacijo tkiv. Za nastanek omenjenih učinkov pa bi morala biti ta polja v okolici človekovega telesa zelo močna, tj. precej močnejša od tistih, ki so navadno prisotna v našem bivalnem okolju. Do sedaj ni na voljo raziskav, ki bi jasno pokazale, da ima

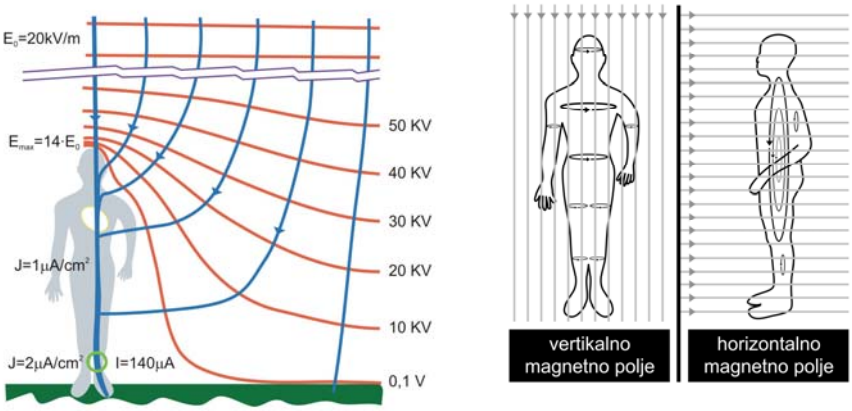
lahko izpostavljenost doma ali na delovnem mestu škodljive vplive na naše zdravje. Vseeno pa ostaja odprto vprašanje, ali lahko magnetna polja omrežne frekvence 50 Hz predstavljajo povečano tveganje za pojav zelo redke bolezni pri otrocih - otroške levkemije. Doslej objavljeni podatki so si nasprotujoči.

Ti notranji tokovi kot neposredni učinek električnih in magnetnih polj 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/m2.

Mednarodno priporočena mejna vrednost za nizkofrekvenčna električna in magnetna polja 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/m2.

Medtem ko so navedeni akutni učinki EMS znanstveno dokazani, pa obstaja določena 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 EMS na celično membrano, izločanje hormonov, aktivnost encimov, sintezo DNK vključno z rakom. Rezultatov določenih raziskovalcev, ki so pokazali na obstoj bioloških učinkov, v številnih primerih druge raziskovalne skupine v ponovitvenih poiskusih niso mogle potrditi. Tudi prenos izsledkov o bioloških učinkih na nivoju celičnih raziskav oz. poskusov na živalih na človeka je zelo zapleten.

Slika 4-4: Človek v električnem in magnetnem polju. Zunanje električno polje povzroči prerazporejanje nabojev na površini telesa. Zaradi tega nastane električno polje znotraj telesa, ki povzroči električni tok, ki teče po telesu proti tlom (slika a). Zunanje magnetno polje inducira v telesu vrtinčne tokove, katerih smer je odvisna od položaja telesa na smer magnetnega polja (slika b).



a) električno polje **b) magnetno polje**

Zapozneli učinek. Od konca sedemdesetih let prejšnjega stoletja znanstveniki opravljajo epidemiološke raziskave o morebitni povezavi med nizkofrekvenčnimi polji majhnih jakosti v bivalnem okolju in rakom. Odkrili niso nobene povezave med dolgotrajno izpostavljenostjo tem poljem in povečanim tveganjem za pojav raka pri odraslih. Drugače je pri otrocih in pojavu levkemije. Nekatere epidemiološke študije so pri otrocih, ki so bili dlje časa izpostavljeni magnetnim poljem povprečne vrednosti nad 0,4 μT, kar je sicer precej nižje od mejnih vrednosti, pokazale rahlo, toda opazno povečano tveganje za pojav levkemije. Na podlagi zbranih podatkov ocenjujejo, da je takim poljem izpostavljen manj kot 1 odstotek otrok v državah EU.

V eni od študij so pokazali, da ima pri levkemiji posebej pomembno vlogo nočna izpostavljenost. Vendar pa je, tudi če vzročna povezava zares obstaja, glede na študijo mogoče s povečano izpostavljenostjo nizkofrekvenčnim magnetnim poljem razložiti največ 1 odstotek primerov levkemij. Kot pri vseh epidemioloških študijah, tudi v tem primeru odnos med vzrokom in posledico ni statistično dokazan. Doslej še ni bilo mogoče potrditi biološkega mehanizma učinkovanja, ki bi razložil pojav levkemije ali spodbujanje rasti rakavih celic pri otrocih pod vplivom nizkofrekvenčnih magnetnih polj. Brez nedvoumnih dokazov kancerogenih vplivov pri odraslih ali verodostojnih razlag na podlagi eksperimentov na živalih ali izoliranih celic, epidemiološki dokazi niso dovolj močni, da bi opravičili trden zaključek, da takšna polja povzročajo levkemijo pri otrocih. Poleg tega ne poznamo povzročiteljev otroške levkemije, tako da pri vrednotenju morda niso bili upoštevani vsi bistveni dejavniki tveganja. Kljub temu to možno tveganje jemljemo zelo resno in uvajamo ustrezne preventivne ukrepe.

Mednarodna agencija za raziskovanje raka (IARC) iz Lyona je kot specializirana agencija za preučevanje tveganja pojava raka v okviru WHO formalno obravnavala te podatke ter na podlagi epidemioloških študij na otrocih uvrstila nizkofrekvenčna magnetna polja med »**mogoče kancerogene snovi za ljudi**«.

Poudariti je potrebno tudi, da povezava med izpostavljenostjo magnetnim poljem in levkemijo zaradi nekonsistentnosti pri ugotavljanju izpostavljenosti in pomanjkanja podpore v drugih potrebnih raziskavah (predvsem verjetne razlage osnovnih mehanizmov) ne dosega ali ne zadošča kriterijem za nedvoumno potrditev vzročne povezave. Zato je potrebno ugotovljeno povezavo med magnetnimi polji in levkemijo razumeti kot zelo šibko.

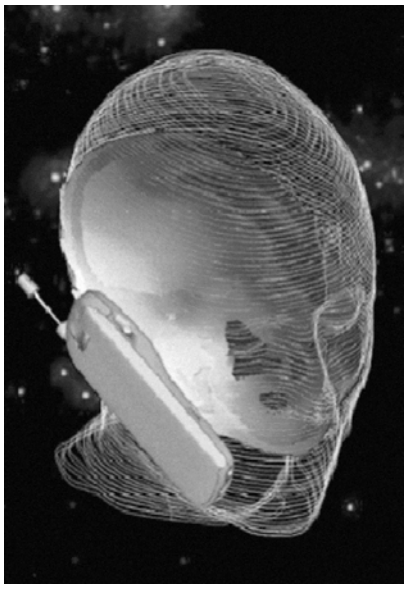
Noben od najnovejših pregledov znanstvene literature ni potrdil, da bi lahko izpostavljenost magnetnim poljem imela še druge škodljive posledice za zdravje. Konsenz stroke je strnjen v izjavi Svetovne zdravstvene organizacije (WHO), ki pravi, da pregled najpomembnejših razpoložljivih znanstvenih raziskav ne daje prepričljive podlage za sklep, da bi lahko magnetna polja negativno vplivala na zdravje ljudi oziroma pri jakostih, ki jih najdemo v bivalnem okolju, povzročala ali pospeševala razvoj raka pri živalih in ljudeh. Številne druge mednarodne organizacije so prišle do enakega zaključka.

Visokofrekvenčna EMS

Akutni učinek. Visokofrekvenčna (VF) EMS se odbijajo, uklanjajo, sipajo, lomijo in absorbirajo. Ko pri širjenju skozi prostor naletijo na živo snov, se del energije odbije, del pa prodre v globino in se absorbira v tkivu, kar se kaže v povišanju temperature. Znano je, da se VF EMS zelo dobro absorbirajo v snovi, ki vsebuje veliko vode, in se pri dovolj visokih jakostih v celoti spremenijo v toploto. Vsi ugotovljeni in znanstveno potrjeni vplivi VF EMS na zdravje so nedvomno povezani s segrevanjem. Ta pojav izkoriščajo mikrovalovne pečice, ki v nekaj trenutkih segrejejo hrano. Sevalne obremenitve, ki smo jim navadno izpostavljeni v okolju, so precej nižje od tistih, ki bi bile potrebne za dosego zaznavnega dviga temperature.

Strokovnjaki so predlagali, da kot posebno omejitev glede uporabe visokofrekvenčnih virov EMS v neposredni bližini telesa (telefon) določijo količino energije, ki jo lahko določen del telesa (glava) še sprejme, ne da bi prišlo do dviga temperature, ki bi lahko škodljivo vplival na organizem. Ta količina se imenuje stopnja specifične absorpcije (SAR) in se hkrati uporablja kot merilo za oceno bioloških učinkov. Določena je s količino moči, absorbirane v biološkem tkivu (W/kg).

Visokofrekvenčna EMS se v telesu absorbirajo in telo pri dovolj visokih jakostih tudi opazno segrejejo (termični učinki). Globina, do katere lahko VF EMS mobilne telefonije prodrejo v izpostavljena tkiva, znaša nekaj centimetrov ter je odvisna od frekvence. Opravljene raziskave različnih znanstvenih skupin po svetu so ugotovile, da pride zaradi izpostavljenosti VF EMS do blagega segrevanja telesa in za njegovo izravnavo poskrbijo naravni mehanizmi v telesu (termoregulacija). Le v redkih primerih, ko je človek izpostavljen zelo visokim jakostim VF EMS (delovno mesto) pa pride do močnega segrevanje telesa, ki ga lahko preobremeni in s tem vpliva na zdravje.



Slika 5-4: Pri uporabi mobilnega telefona je najbolj obremenjena površina glave - sevalna obremenitev (SAR) se proti notranjosti glave zmanjšuje. Če z numeričnim modelom, ki mora biti tudi eksperimentalno potrjen, ugotovijo, da je SAR porazdeljena prek 10 g tkiva v glavi in vratu pod 2 W/kg, je mobilni telefon uspešno opravil test in je pripravljen za prodajo na trgu. Vrednosti SAR so odvisne od geometrije glave, položaja telefona glede na glavo in uho in oddaljenosti od bazne postaje ter se med pogovorom lahko zelo spreminjajo. Pričakujemo lahko razlike v SAR posameznih modelov mobilnih telefonov, vendar SAR v nobenem primeru ne sme presegati vrednosti 2 W/kg, ki jo določajo mednarodna priporočila in standardi.

Zapozneli učinek. Medtem ko VF EMS lahko vplivajo na telesna tkiva in organe pri nivojih, ki so prenizki, da bi povzročili značilno segrevanje, znanstveniki v nobeni izmed študij niso potrdili negativnih vplivov na zdravje pri izpostavljenostih pod mednarodno sprejetimi mejnimi vrednostmi. Obstaja nekaj dokazov o netermičnih učinkih na celicah kot posledici absorpcije visokofrekvenčnih VF EMS pri jakostih, pri katerih ne opazimo povišanja telesne temperature. Ti učinki vključujejo spremembe v električni aktivnosti možganov, spremembe v aktivnostih encimov ter spremembe v prenosu kalcijevih ionov prek celične membrane. Noben rezultat teh študij ni bil neodvisno ponovljen, zato za nobenega ne moremo trditi, da je povezan s tveganjem za človekovo zdravje. V zadnjem času narašča število objavljenih raziskav, ki obravnavajo vplive VF EMS na človeka. Njihovi rezultati so lahko nenatančni in pomanjkljivi ali celo protislovni. Zato jih je treba strokovno ovrednotiti na podlagi strogih znanstvenih kriterijev. Vnovično ovrednotenje je zelo pomembno tudi zato, ker lahko različne subjektivne razlage in mnenja o njih zavedejo javnost. To je še posebej razvidno pri poročanju o rezultatih raziskav netermičnih učinkov. Če ocenimo raziskave netermičnih učinkov po sprejetih znanstvenih merilih za ugotavljanje določenih učinkov, ugotovimo, da ne vzdržijo strogih preverjanj, ali pa jih v neodvisnem znanstvenem laboratoriju ni mogoče ponoviti in potrditi.

Če predpostavimo obstoj zapoznelih učinkov, kot je na primer rak, bi morali predvideti, da tveganje narašča z dozo ali izpostavljenostjo. To pomeni, da tveganja ni le pri nikakršni izpostavljenosti. Družba pa se je odločila, da bo njen razvoj temeljil na sprejemljivem tveganju, to pomeni nenehnem tehtanju med tveganjem in koristmi, ali pa primerjanju z drugimi tveganji. V obeh primerih pa je treba kvantitativno oceniti tveganje, kar pa je za elektromagnetna sevanja nemogoče, saj tveganje še ni bilo potrjeno.

Znanstvenikom v doslej opravljenih raziskavah ni uspelo dokazati, da bi izpostavljenost visokofrekvenčnim EMS, ki jih oddajajo mobilni telefoni in njihove bazne postaje, povzročala rakasta obolenja. Najnovejše epidemiološke študije ne kažejo na povečano tveganje za nastanek raka zaradi uporabe mobilnih telefonov, vendar je opazovalno obdobje za zanesljive zaključke še prekratko. Številne študije na živalih, ki so jih izpostavljali VF EMS, podobnim tistim, ki nastajajo pri uporabi mobilnega telefona, tudi niso potrdile teze, da bi lahko VF EMS povzročala raka na možganih, ali pospeševala njegov razvoj. Tako se postavlja vprašanje, ali VF EMS sploh lahko povzročijo raka. Konsenz stroke je strnjen v izjavi Svetovne zdravstvene organizacije, ki pravi, da pregled najpomembnejših razpoložljivih znanstvenih raziskav ne daje prepričljive podlage za sklep, da bi lahko VF EMS negativno vplivala na zdravje ljudi, ali povzročala ali pospeševala razvoj raka. Številne druge mednarodne organizacije so prišle do enakega sklepa.

Optična sevanja

Elektromagnetnim sevanjem valovnih dolžin od 1 mm do 100 nm, ki se nahajajo med mikrovalovi in rentgenskim sevanjem, pravimo optična sevanja. Delijo se na infrardeče sevanje, vidno svetlobo in ultravijolično sevanje.

Za določanje izpostavljenosti se v področju optičnih sevanj uporabljata dva vzporedna sistema količin, znana kot fotometrični in radiometrični. Vsaka količina enega sistema ima pripadajočo količino v drugem sistemu. V fotometričnih veličinah se vsaka valovna dolžina ocenjuje glede na občutljivost človeškega očesa, medtem ko radiometrične veličine uporabljajo absolutno moč. Medtem ko se radiometrija uporablja v vseh predelih spektra optičnih sevanj, kjer barve spektra niso pomembne, se fotometrija uporablja le v področju vidne svetlobe. Kot primer naj navedemo, da se oko veliko bolj odziva na zeleno kot na rdečo svetlobo. Zato ima vir zelene svetlobe večji svetlobni tok od rdeče svetlobe pri enakem sevalnem toku.

Preglednica 14-4: Količine in enote, ki jih najpogosteje uporabljamo za določanje izpostavljenosti človeka optičnim sevanjem.

Radiometrija		**Fotometrija**	
Sevalni tok	Φe (W)	Svetlobni tok	Φ_v (lm)
Obsevanost	E (W m^{-2})	Osvetljenost	E_v (lm m^{-2}) ali (lx)
Jakost sevanja	I (W sr^{-1})	Svetilnost	I_v (cd) ali (lm sr^{-1})
Sevalnost	L (W sr^{-1} m^{-2}	Svetlost	L_v (cd m^{-2})

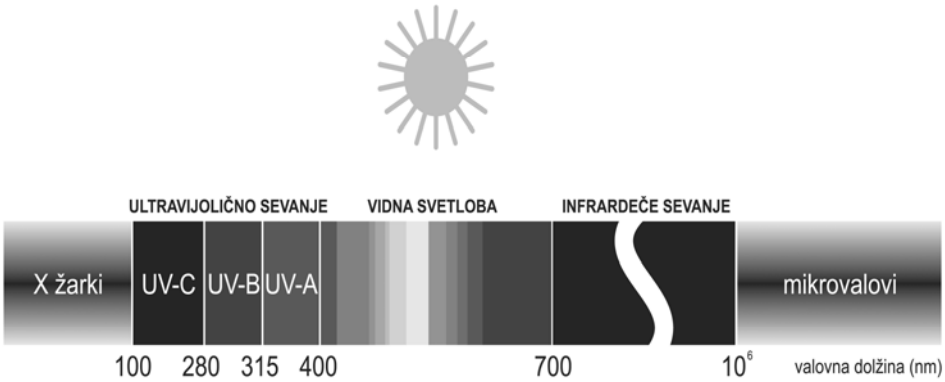
Fotometrične enote se od radiometričnih razlikujejo v tem, da upoštevajo spektralno občutljivost človeškega *vida*.

- Lumen (lm) je določen tako, da vrh foto-optične občutljivosti očesa, torej valovanje valovne dolžine 555 nm, znaša 683 lumnov/watt. Označuje svetlobni tok, ki ga neki svetlobni vir seva v prostor.
- Luks (lx) je enota, ki označuje osvetljenost površine. Enak je enemu lumnu na površini enega kvadratnega metra.
- Kandela (cd) je enaka enemu lumnu na prostorski kot [lm/str]. Označuje jakost sevanja v določeni smeri. Če seštejemo kandele v vseh smereh, dobimo lumne. Je edina fotometrična enota, ki je hkrati del sistema SI.
- Kandela/m2 je mera za svetlost površine in je edina količina, ki jo lahko ocenimo z prostim očesom.

Infrardeče sevanje

Infrardeče sevanje (IR sevanje), ki ga označujemo tudi kot toplotno sevanje – je del optičnega sevanja ter s tem del elektromagnetnega spektra. V smeri daljših valovnih družin se stika z vidno svetlobo. Valovne dolžine infrardečega sevanja segajo od 780 nm do 1 mm. Infrardeče sevanje delimo na kratkovalovno IR-A sevanje z valovnimi dolžinami od 780 do 00 nm, IR-B-sevanje (1400 do 3000 nm) in dolgovalovno delno območje IR-C sevanje (3000 nm do 1 mm).

Slika 6-4: Delitev optičnih sevanj glede na valovno dolžino na ultravijolično sevanje, vidno svetlobo in infrardeče sevanje.



Najpomembnejši naravni vir IR sevanja je Sonce. IR sevanje predstavlja 50% sončnega sevanja, ki doseže tla. Poleg tega od Sonca ogreta Zemlja sevanje tudi sama oddaja. Površje *Zemlje absorbira* vidno *Sončevo* sevanje in ponovno odda velik del energije v obliki infrardečega sevanja nazaj v *atmosfero*. Določeni plini v atmosferi, večinoma *vodna* para, pa tudi *oglikov dioksid*, *metan*, *dušikov oksid*, *žveplov heksafluorid* in *klorofluoroogljiki*, absorbirajo infrardeče sevanje, in ga ponovno sevajo v vseh smereh, tudi nazaj na Zemljo. To je tudi razlog, da sta zaradi učinka efekta tople grede ozračje in površina Zemlje veliko toplejša kot bi bila v primeru, da v ozračju ne bi bilo absorbentov infrardečega sevanja.

IR sevanje je prvi odkril oziroma dokazal nemški astronom William Herschel leta 1800, ko je s prizmo spektralno razčlenil sončno svetlobo in pri tem onkraj rdečega območja, t.j. območja vidne svetlobe z najdaljšimi valovi, odkril sicer nevidno sevanje, ki je imelo toplotni učinek. Sposobnost segrevanja snovi še danes velja kot dokaz infrardečega sevanja. S pomočjo infrardečih kamer je mogoče prikazati infrardeče sevanje. Infrardeče kamere lahko uporabljamo na primer za merjenje temperature brez dotika.

Vsako »toplo« telo (telesna temperatura nad absolutno ničlo v višini ca. -273°C) oddaja infrardeče sevanje. Sevana količina energije in razporeditev valovnih dolžin sevanja sta odvisni od temperature telesa. Čim bolj toplo je telo, tem več energije v obliki IR sevanja oddaja in tem krajša je valovna dolžina sevanja.

Infrardeče sevanje z relativno nizko močjo dojemamo kot prijetno. Pri večjih močeh pa je povezano z zdravstvenimi tveganji (na primer poškodbami oči in opeklinami), pred katerimi se je potrebno zaščititi. Telesni termični in bolečinski receptorji v omejenem obsegu predstavljajo naravne varovalne mehanizme.

Viri IR

Naravna vira IR sevanja sta Sonce in ogenj. Infrardeči delež sončnega sevanja, ki doseže tla, znaša slabih 50%. Večji del ljudi zaznava občutek toplote ob izpostavljenosti soncu kot prijeten. IR sevanje se v prvi vrsti uporablja za sušenje materialov. Odprti ogenj v pretežni meri seva v IR območju, le malo tudi v vidnem območju. Visoke jakosti sevanja IR nad 200 Wm^{-2} nastopajo predvsem v steklarski, železarski in jeklarski industriji kot posledica temperatur pri različnih procesih.

Praktična uporaba infrardečega sevanja je možna predvsem pri brezkontaktnem prenosu toplote. Večina umetnih virov IR sevanja so termični sevalniki. Za toplotno obdelavo se v industriji uporabljajo infrardeče peči, na primer za procese sušenja ali za polimerizacijo umetne smole. Običajne sevalne moči pri tem znašajo do 8 kWm^{-2}.

Komercialno dostopni viri IR sevanja so večinoma sestavljeni iz krom-nikelj ali aluminij-nikelj jeklenih žic, ki so vstavljene v kovinske reflektorje. IR sevalniki se segrejejo do ca. 1000° C. Viri se uporabljajo tudi v kozmetiki za toplotno nego človeškega telesa, na primer IR sevalne svetilke v infrardečih toplotnih kabinah. Svetilke, katerih sevalne moči znašajo do 300 Wm^{-2}, se segrejejo do ca. 2000° C.

Naprave za nočno gledanje in infrardeče kamere izrabljajo pojav, da vsako telo oddaja IR sevanje, pri čemer pa sta moč in valovna dolžina odvisni od temperature telesa. Oprema zazna sevanje in ga pretvori v sliko, na kateri so toplejši predmeti videti svetlejši, kar omogoča zaznavanje objektov v popolni temi.

IR sevanje se lahko uporablja za oddaljeno določanje temperature objektov, kar se imenuje *termografija*, ali, v primeru zelo visokih temperatur, *pirometrija*. Termografija se primarno uporablja v vojaške in industrijske namene, vendar se v obliki infrardečih kamer, zaradi zmanjšanja stroškov izdelave, na trgu pojavlja tudi v nekaterih avtomobilih.

V elektroniki se IR sevanje uporablja za brezžično komunikacijo. Infrardeči daljinski upravljalniki, infrardeči vmesniki za računalnike in fotocelice delujejo v valovnem območju med 880 in 950 nm, saj so fotodiode in fototranzistorji v tem območju najobčutljivejši. Infrardeči *laserji* ustvarjajo svetlobo za prenos podatkov prek optičnih vlaken. Infrardeča svetloba z valovno dolžino okoli 1330 *nm* (največji prenos) ali 1550 *nm* (najmanjša razpršitev) je najboljša izbira za standardna optična vlakna iz *kremenovega* stekla.

Spektroskopija z infrardečim sevanjem je namenjena raziskavam sestave *organskih spojin*, ugotavljanju strukture in sestave spojine glede na odstotek prepuščanja infrardeče svetlobe skozi vzorec. Različne molekulske vezi znotraj vzorca absorbirajo različne frekvence.

Vplivi IR sevanja na zdravje

Nevarnosti, ki so posledica izpostavljenosti ekstremnim temperaturam, lahko razdelimo na tiste, ki so posledica izpostavljenosti nizkim in tiste, ki so posledica izpostavljenosti obremenitvam z IR sevanjem. Mraz in vročina vplivata na dobro počutje stotine milijonov ljudi. Vpliv temperaturnih sprememb je odvisen od stopnje adaptacije organizma, od načina urejanja bivališč in drugih ukrepov, ki so običajni za zaščito pred mrazom ali vročino. Zlasti vročinski valovi, ki se pojavljajo v zadnjih desetletjih lahko pomembno ogrozijo zdravje prebivalstva, predvsem v urbaniziranem okolju (megapolisi). Notranja regulacija telesne temperature je za človeka bistvenega pomena in je dobro razvit adaptacijski mehanizem. Problemi nastanejo takrat, ko so variacije v temperaturi tako velike, da jim adaptacijski mehanizmi telesa ne morejo več zadovoljivo slediti, kadar so prizadeti mehanizmi za prilagajanje telesne temperature (motena vazodilatacija, otežkočeno znojenje) ali pa če je samo del telesa izpostavljen ekstremni temperaturi (ozebline, opekline).

Človekovo telo regulira telesno temperaturo preko centralnega živčnega sistema, ki v primeru potrebe po prilagajanju temperature sproži delovanje avtonomnega živčevja, ki sproži širjenje žil (vazodilatacija) in znojenje v primeru, da je telesna temperatura narasla ter drgetanje in stisnjenje žil (vazokonstrikcija) kadar telesna temperatura pade. Poleg tega pa posreduje zavestno informacijo o občutku mraza ali vročine, kar sili človeka k tem, da se dodatno obleče ali pa se skuša ohladiti ali zaščititi pred izpostavljenostjo višji zunanji temperaturi. Okvara centra za termoregulacijo, ki je lahko posledica infekcije, krvavitve, intoksikacije z alkoholom lahko vodi do potencialno smrtnih motenj v regulaciji temperature.

Občutenje toplote ali mraza je zelo individualno. Mraz je še posebej nevaren, ker lahko vodi do zmanjšanega zaznavanja nevarnosti, saj povzroča padec telesne temperature občutek zaspanosti in brezvoljnosti, kar človeku preprečuje, da bi poskušal z aktivnostjo povišati telesno temperaturo ali da bi se umaknil pred zunanjim mrazom. Običajno človek ne preživi kadar pade temperature telesa pod 33° C.

Tako visoke, kot tudi nizke temperature so zlasti nevarne za male otroke in starejše osebe. Bolj ogroženi so tudi tisti posamezniki, ki so bolj fotosenzitivni, saj pri njih nastopijo posledice na zdravju že pri nižjem nivoju sevanja.

IR-sevanje se absorbira v glavnem na površini telesa. Zato najprej prizadene oči in kožo. Zaradi prenosa toplote pa lahko pride tudi do segrevanja globlje ležečih telesnih organov. Posebno pozornost glede oči zasluži IR-A. Sprednji del očesa je za to območje prepusten. Na ta način lahko pride do takojšnjih poškodb mrežnice. Pri kroničnem obsevanju z IR sevanjem lahko pride do katarakte. Če je koža

izpostavljena sevanju, lahko pri dovolj visokih sevalnih močeh že po zelo kratkem času pride do opeklin.

Opekline so posledica delovanja izredno visoke termične obremenitve. Do opeklin pride zaradi izpostavljenosti ognju ali stika z vročimi predmeti ali tekočinami. V primeru visokih zunanjih temperatur lahko pride do naraščanja telesne temperature. To se zgodi zlasti takrat, ko je izpostavljenost visokim temperaturam dolgotrajna in izčrpa organizem vse mehanizme adaptacije. V primeru, da je poleg visoke temperature prisotna tudi visoka vlaga, pa je motena perspiracija in s tem hlajenje telesa. Če temperatura v notranjosti telesa (temperatura sredice) naraste na ca. 40° C, pride zaradi razširitve žil tik pod površino kože do znižanja krvnega tlaka s pomanjkljivo prekrvavitvijo možganov in nezavestjo (**vročinski kolaps**). Najnevarnejši učinek IR sevanja pa je vročinski udar. Pri tem porast temperature sredice telesa prek 41° C. Pride do motenje cirkulacije, nezavesti in v primeru da ni pravočasne pomoči, do smrti. **Vročinski udar** je torej najresnejša komplikacija izpostavljenosti visoki temperaturi in se lahko konča s smrtjo. Vročinski udar je lahko posledica izpostavljenosti visokim temperaturam na delovnem mestu, še pogosteje pa se pojavlja v času vročinskega vala. Zlasti so ogroženi starejši ljudje, kronični bolniki in osebe, ki živijo v slabših življenjskih pogojih in ne zaužijejo dovolj hrane in tekočine. Način gradnje bivališč danes še povečuje učinke toplote, saj so bivališča, zlasti tista, v katerih živijo socialno ogroženi prebivalci, slabo izolirana in se prebivalci tako ne morejo umakniti pred vročino.

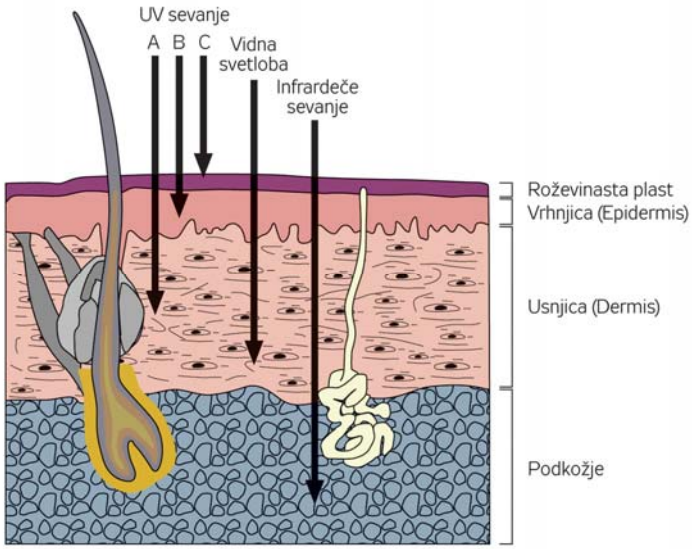
Preglednica 15-4: Pregled posledic delovanja infrardečega sevanja na zdravje

	Valovna dolžina	Oko	Koža
IR-A	780-1400 nm	Toplotne poškodbe Katarakta Poškodba mrežnice	Toplotne poškodbe
IR-B	1400-3000 nm	Katarakta	Toplotne poškodbe
IR-C	3000-10^6 nm	Poškodbe roženice	Toplotne poškodbe

Najpogostejši razlog zdravstvenih težav zaradi IR sevanja v vsakdanjem življenju je predolga in preveč intenzivna izpostavljenost soncu. Predvsem če sta glava in zatilje nezaščitena daljši čas izpostavljena soncu, lahko nastopi sončarica. Otroci so še posebej občutljivi. Dolga sončenja prav iz tega razloga niso priporočljiva. V primeru daljšega zadrževanja na soncu je potrebno v vsakem primeru paziti na lahka, zračna oblačila in pokrivalo na glavi, ki omogoča kroženje zraka.

Pri **kronični izpostavljenosti** sevanju možne dodatne poškodbe kože, še posebej pri kombinaciji z UV sevanjem. Obstajajo domneve, da je izpostavljenost IR sevanju v povezavi z UV sevanjem lahko kancerogena. Mogoče je, da se poškodbe DNA zaradi izpostavljenosti UV sevanju slabše obnavljajo ali da obrambni mehanizmi telesa manj učinkovito odpravljajo poškodovane celice. Da bi se izognili navedenim tveganjem, strokovnjaki odsvetujejo kombinacijo uporabe infrardeče toplotne kabine ali savne ter UV sevanja v solariju.

Slika 7-4: Vdorna globina različnih vrst optičnih sevanj v kožo



Poleg opisanih negativnih učinkov pa ima IR sevanje nedvomno tudi pozitivne učinke, zaradi katerih ga uporabljajo tudi v medicini. Zaradi toplotnega učinka pospešuje prekrvljenost tkiv, sprošča mišične napetosti ter spodbudno deluje na imunski sistem.

Vidna svetloba

Vidni spekter je del *elektromagnetnega spektra*, ki ga vidi *človeško oko*. Elektromagnetno sevanje v tem razponu *valovnih dolžin* se imenuje vidna svetloba ali pa preprosto svetloba. V smislu *frekvence*, vidni spekter ustreza pasu v območju 400-780 *nm*. Svetlobe vajeno oko je, v splošnem, najbolj občutljivo pri približno 555 nm (540 THz), kar ustreza *zelenemu* delu vidnega spektra. Spekter pa ne vsebuje vseh *barv*, ki jih *človeški možgani* in oko lahko razlikujejo. Prisotne niso na primer nenasičene barve, kot je *rožnata*, in *vijolične* barve, kot je *škrlatna*, saj so možne le s kombinacijo več valovnih dolžin.

Viri svetlobe

Obstaja velika množica umetnih virov svetlobe, kot so žarnice, sijalke, ogenj in plameni, segreti materiali, peči, varilne naprave itd. z zelo širokopasovnimi spektri emisije. V nasprotju s širokopasovnimi izvori pa seva laser v zelo ozkem frekvenčnem območju.

Vplivi svetlobe na zdravje

Energija fotonov v področju vidne svetlobe je premajhna (1,59 eV - 3,26 eV) za ionizacijo snovi. Vendar lahko vidna svetloba z valovno dolžino do 550 nm poškoduje nekatere kovalentne molekularne povezave in pri 660 nm tudi ionske.

Prav posebno je za večje valovne dolžine značilno to, da se pojavi mehanizem, ki poleg fotokemičnih procesov pretvarja energijo sevanja v toploto. Ta pojav povzroči ustrezno povišanje temperature. Vdor sevanja v globino tkiva in mesto pretvarjanja v toploto je zelo odvisno od valovne dolžine. Posamezne plasti kože in očesa vedno absorbirajo del vpadnega sevanja.

Preglednica 16-4: Pregled svetlosti posameznih virov svetlobe

Svetlost*	**L (cd/m²)**
Sonce opoldan	$1{,}6 \cdot 10^9$
bela LED	$50 \cdot 10^6$
Halogenska žarnica	$20\text{-}30 \cdot 10^6$
Mlečna 60-W-žarnica	$120 \cdot 10^3$
T8 FLOURESCENČNA SIJALKA 36W, MODRA	$11 \cdot 10^3$
LED-zaslon	$5 \cdot 10^3$
Površina polne lune	$2{,}5 \cdot 10^3$

*Svetlost je merilo za občutek, ki ga neka površina povzroča v naših očeh (temno - svetlo). Je edina svetlobno tehnična veličina, ki jo lahko ocenimo z očmi.

Intenzivno sevanje v vidnem območju elektromagnetnega spektra ima lahko tako kot infrardeče sevanje negativne vplive na oko in kožo (segrevanje). V tej zvezi so do sedaj poškodbe kože malo poznane. Poleg tega lahko vidna svetloba, podobno kot UV-A, povzroči večje tveganje za razvoj fotodermatoz (na primer porfirije, lupus) ter poslabšanje nekaterih kožnih bolezni (na primer akne, rosacea, melasma). Verjetno se pri tem aktivira telesu lastni alergen, kar ima za posledico izbruh koprivnice, pri kateri lahko nastopijo tudi srbečica, skelenje, pordelost in urtika.

Pri vidni svetlobi velike svetlosti (na primer bliskavica) pa lahko pride do termične poškodbe v predelu očesne mrežnice. Poleg tega svetloba velike svetlosti vodi do učinka zaslepitve, ki pa je odvisen od sposobnosti prilagoditve. Ker poleg učinka zaslepitve nastopita tudi odziv odvrnitve (praviloma v roku 1 s) in refleks mežikanja (praviloma v roku 0,25 s), so termične poškodbe mrežnice zaradi močnih virov svetlobe redke. Možnost za nastanek poškodb obstaja pri zelo močnih bliskavicah, ko omenjena odziva nista dovolj hitra ali pa sta zatrta (igralci pod žarometi).

Svetloba višjih svetlosti ($>10^4$ cd m^{-2}) lahko pri dolgotrajni izpostavljenosti (od več sekund do ure) zaradi fotokemičnih reakcij poškoduje mrežnico (retinitis). To velja predvsem za vidno svetlobo pod 500 nm (modra svetloba). Skoraj vse poškodbe mrežnice so ireverzibilne.

Pri osebah, ki so jim očesno lečo nadomestili z umetno, ter pri otrocih, je tveganje povečano, saj je pri njih očesna leča prepustnejša od zdrave leše v očesu. To še posebej velja za UV območje. Sicer pa so sodobni implantati navadno opremljeni z ustreznimi UV absorberji.

Zdravstveno tveganje narašča s povečevanjem sevalnih obremenitev nad mejno vrednostjo. Opisani so negativni vplivi na zdravje, ki lahko nastopijo pri čezmernih sevalnih obremenitvah glede na mednarodno določene mejne vrednosti. Pri valovni dolžini 380-780 nm lahko pride do poškodbe mrežnice (modra svetloba), spremembe na koži pa je zaznati kot segrevanje in opeklino. Vendar pa lahko pri osebah, ki so

fotosenzitivne, opazimo negativne učinke že pri nivojih, ki so nižji od mejnih vrednosti.

Pri svetlosti približno 100.000 cd m^{-2} nastopi popolna oslepitev. Zaradi dejavnega prilagajanja velikosti zenice svetloba vstopi v oko skozi središče šarenice, imenovano zenica. Krožna in radialna mišičnina dejavno prilagajata velikost zenice in s tem ohranjata razmeroma konstantno raven svetlobe, ki vstopa v oko. Preveč svetlobe lahko poškoduje mrežnico; premalo ne omogočalo jasnega vida.

Ultravijolično sevanje

Ultravijolično (UV) sevanje ima valovno dolžino krajšo od vidne svetlobe, vendar daljšo od valovne dolžine rentgenskega sevanja. Je energijsko najmočnejši del optičnega sevanja, saj meji neposredno na področje ionizirnega sevanja in lahko predvsem v kratkovalovnem območju (UV-C) povzroča podobne učinke. Pri valovnih dolžinah, krajših od 100 nm, energija posameznega ultravijoličnega svetlobnega kvanta že zadošča za izbijanje elektronov iz atomov ali molekul, to pomeni, da jih ionizira.

Vidno svetlobo in infrardeče sevanje, tj. toploto, zaznamo s čutili, UV sevanja pa ne. Človeško oko UV sevanja ne zaznava, nekatere živali (žuželke, ptice) pa ga lahko delno vidijo. Njegove učinke delovanja lahko opažamo kot škodljive posledice na naši koži in očeh.

Pri preučevanju vpliva UV sevanja na okolje in na zdravje človeka se UV območje običajno deli na območje UV-A (A iz angl. »aging«, staranje: 400–315 nm), imenovano tudi dolgovalovno območje ali »črna svetloba«, UV-B (B iz angl. »burning«, opeklina: 315–280 nm), imenovano tudi srednjevalovno območje, ter UV-C (C iz ang. »cytotoxic«, toksičen za celice: 280-100 nm), imenovano tudi kratkovalovno ali »baktericidno« območje.

Preglednica 17-4: Razdelitev UV sevanja na UV-A, UV-B, UV-C ter E-UV.

Poimenovanje	Kratica	Valovna dolžina	Energija fotonov
dolgovalovno UV sevanje („črna svetloba“)	UV-A	400−315 nm	3,1−3,94 eV
Srednjevalovno UV sevanje	UV-B	315−280 nm	3,94−4,43 eV
kratkovalovno UV sevanje	UV-C-FUV	280−100 nm	4,43−12,4 eV
UV v vakuumu	UV-C-VUV	200−10 nm	6,20−124 eV
Ekstremno UV sevanje	E-UV, XUV	212−1 nm	10,2−1240 eV

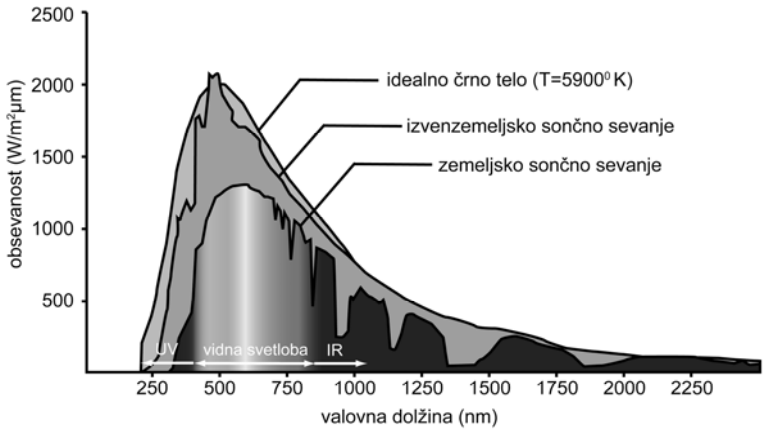
Pod 200 nm je ultravijolično sevanje tako kratkovalovno oz. bogato z energijo, da ga absorbira molekularni *kisik* (O_2); pri tem se molekularni kisik (O_2) razcepi v dvoje prostih radikalov kisika (2 O), ki reagirata vsak s po eno molekulo kisika (O_2) in nastane ozon (O_3). Kot posledica tega se lahko UV sevanje z valovnimi dolžinami krajšimi od 200 nm širi le pod zaščitno atmosfero, kratkovalovno UV sevanje pod 100 nm pa le še v vakuumu.

Čeprav je UV sevanje najbolj nizkoenergetsko od ionizirnih vrst sevanja, je lahko nevarno za človeka in druge organizme. Tudi UV sevanje že lahko uničuje kemične vezi organskih molekul. Zato je potreben odgovoren odnos do sončne svetlobe (zaščita pred soncem) in do umetnih virov UV sevanja. Iz tega razloga je sporna tudi raba solarijev.

Viri UV sevanja

Pri termičnem sevanju je delež UV sevanja določen z Planckovim zakonom o sevanju. Stimulirani elektroni lahko generirajo UV sevanje, če je njihova energija višja od 3,3 *eV*. To v manjšem obsegu opazimo tudi pri temperaturi žarilne nitke, zaradi česar lahko halogenske žarnice oddajajo nekaj ultravijolične svetlobe.

Slika 8-4: Spektralna obsevanost idealnega črnega telesa, zemeljskega in izven zemeljskega sončnega sevanja v odvisnosti od valovne dolžine.



Naravni viri. Najpomembnejši naravni vir UV sevanja je Sonce. Delež sončnega sevanja na Zemljinem površju se zelo spreminja in je odvisen predvsem od položaja Sonca (geografska širina, ura dneva in letni čas), skupne vsebnosti ozona v zračni plasti in količine oblakov. UV obremenitev, ki jo povzroča Sonce, je lahko tako visoka, da negativno vpliva na celotni ekosistem. Zmanjšanje skupne vsebnosti ozona v atmosferi lahko privede do pomembnega povečanja UV sevanja, kar lahko vodi v trajno poškodbo posameznih ekosistemov. Zaradi absorpcije UV sevanja v ozonski plasti Zemljinega ozračja Zemljo doseže UV sevanje območja UV-A (do 95%) in deloma območja UV-B z valovno dolžino nad 300 nm. UV sevanje z valovnimi dolžinami krajšimi od 100 nm se v sončni svetlobi pojavlja le z zelo majhno intenzivnostjo. Nekateri plini, predvsem klorofluoro-ogljiki (CFC), premaknejo ravnovesje v ozonski plasti in povzročajo ozonsko luknjo – zato se na Zemljinem površju povečuje količina UV-B sevanja.

UV sevanje oddajajo tudi drugi kozmični objekti, kot so pulzarji, močno vzbujene plinske gmote ter večina stalnih zvezd. Ultravijolično sevanje vsebuje tudi polarna svetloba. Med naravne Zemljine vire ultravijolične svetlobe spadajo tudi nevihtni bliski in ogenj sv.Elma na morju.

Individualno obremenitev z naravnim UV sevanjem ter s tem povezano zdravstveno tveganje vsak človek v veliki meri določa sam z lastnim obnašanjem. Obremenitev in tveganje je torej mogoče individualno nadzorovati. Pri vsaki dejavnosti na prostem in še posebej na dopustu je potrebno upoštevati ustrezna pravila obnašanja.

UV sevanje sonca je tudi zaradi procesov v ozonski plasti atmosfere postalo pomemben okoljski dejavnik, ki se na svetovni ravni redno nadzoruje. Pričakovano dnevno najvišjo vrednost UV sevanja, ki povzroča opekline, označuje enotni, mednarodno določeni **UV indeks** (UVI). UV indeks je merilo za velikost učinka *UV* sevanja na človeško kožo.

UV indeks je odvisen od *geografskega položaja*, *nadmorske višine* in *letnega časa*. Skupaj s tipom kože predstavlja merilo za zaščito med izpostavljanjem ljudi sončnim žarkom. Uporablja se v glavnem za napovedovanje moči sevanja za informiranje in ozaveščanje javnosti. Namen napovedovanja je boljša zaščita ljudi pred prevelikim izpostavljanjem sončnim žarkom, kar lahko povzroča poškodbe *oči*, staranje *kože* in kožnega *raka*. Podnevi je indeks običajno najvišji opoldan, odvisen pa je še od stopnje oblačnosti.

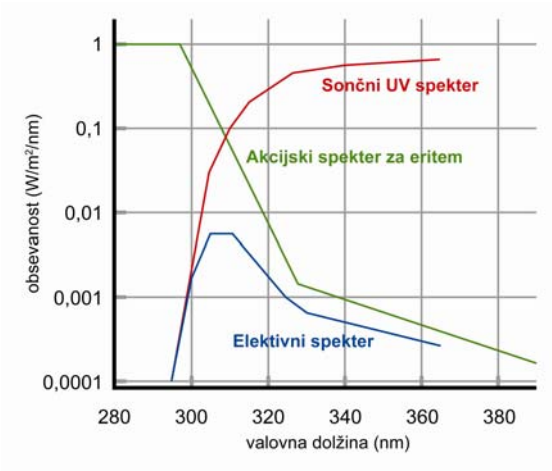
Eritemska doza je količina energije UV sevanja, ki povzroča pordelost kože. Minimalna eritemska doza (MED) je količina energije UV sevanja, ki povzroča komaj opazno pordelost na še neizpostavljeni koži. Povprečna vrednost MED je 210 J m^{-2}. Ta odmerek je v Srednji Evropi na sončen poletni dan presežen že v 20 minutah. Pogostejša izpostavljenost soncu ima za posledico določeno lastno samozaščito kožo v obliki porjavitve. Zato se minimalna eritemska doza poveča.

Za določitev UV indeksa je potrebno najprej izmeriti jakost sončnega UV sevanja za valovne dolžine od 280 *nm* do 400 nm. Za merjenje obsevanosti z UV sevanjem se uporablja *spektrofotometer*. Namesto njega se uporablja tudi širokopasovni *senzor*, ki ima podobne značilnosti kot jih kaže človeška koža pri odzivu na obsevanost z UV sevanjem. Vrednosti označimo z E(λ), merimo pa jih v W/m^2/nm. Dobljene vrednosti pomnožimo pri vsaki *valovni dolžini* z uravnoteženo vrednostjo C(λ), ki predstavlja vpliv ultravijoličnega sevanja na človeško kožo. To krivuljo je sprejela Mednarodna komisija za osvetlitev (CIE). Kaže na to, kako močno poškoduje človeško kožo ultravijolično sevanje pri različnih valovnih dolžinah. Na diagramu je označena kot akcijski spekter za eritem (eritém pomeni bolezenska rdečina, ki se pojavi na koži zaradi predolgega sončenja).

Preglednica 18-4: Pregled različnih stopenj UV indeksa s priporočili za zmanjšanje tveganja. Priporoča se, da se ljudje vedno zaščitijo, če je indeks večji od 3.

UV indeks	Opis	Priporočila za zmanjšanje tveganje
0–2	Ni nevarnosti za povprečne zdrave ljudi	sončna očala; uporaba zaščitnih krem, če je na tleh sneg, ki močno odbija ultravijolično sevanje, ali če imate občutljivo kožo.
3–5	Manjša nevarnost pri nezaščitenem izpostavljanju sončnim žarkom	sončna očala, uporaba zaščitnih krem, prekrijte telo z obleko in klobukom ter poiščite senco okoli poldneva, ko so sončni žarki najmočnejši.
6–7	visoka nevarnost za poškodbe pri nezaščitenem izpostavljanju soncu	sončna očala, uporaba zaščitne kreme z zaščitnim faktorjem 15 ali več, prekrijte telo s primerno obleko in nosite klobuk s širokimi krajci, čim bolj zmanjšajte čas izpostavljanja soncu dve uri pred poldnevom in tri ure po sončnem poldnevu
8–10	Velika nevarnost za poškodbe pri nezaščitenem izpostavljanju soncu	Veljajo isti ukrepi kot zgoraj – upoštevajte pa, da nezaščitena koža lahko hitro dobi opekline.
11+	Izredno velika nevarnost za poškodbe nezaščitene kože	Potrebni so vsi ukrepi: nošenje sončnih očal, zaščitne kreme, koža mora biti pokrita s srajco z dolgimi rokavi, nositi je potrebno dolge hlače, uporabljajte zelo širok klobuk. Izogibajte se soncu dve uri pred in tri ure po sončnem poldnevu.

Slika 9-4: Prikaz UV spektra sončnega sevanja, akcijski spekter za eritem za človeško kožo in efektivnega spektra



Umetne vire UV sevanja najdemo v:

- industrijskih UV sevalnih sistemih kot so nizko in visokotlačne sijalke z živosrebrno paro (fotolitografija, utrjevanje smol in lakov, vodna dezinfekcija); nizko in visokotlačna sijalka z merkurjevo paro, xenonska sijalka,

metal halogenidne sijalke (tiskana vezja, polprevodniki, tisk, sterilizacija, fotokopiranje)
- medicinskih UV sevalnih napravah; visokotlačna sijalke z živosrebrno paro (pri zdravljenju aken in rahitisa); visokotlačna sijalka z merkurjevo paro in metal halogenidne sijalke (bolezni kože, vitiligo-pomanjkanje pigmenta na koži), terapija z modro lučjo (terapija za bilirubin)
- Farmacevtiki - strerilizacija (UV-C)
- kozmetiki: solarijih, ki so opremljeni z nizkotlačnimi živosrebrnimi parnimi, metal halogenidnimi in fluorescentimi sijalkami (UV-A in UV-B za porjavitev kože);
- tako imenovanih svetilkah s črno svetlobo: žarnice s filtrom ali živosrebrne parne nizkotlačne sijalke s filtrom in svetilno snovjo za UV-A (dekorativni nameni, svetlobni efekti v diskoteki, raziskave mineralov)
- Ultravijolični laserji (ekscimerni laser, diodni laser)
- UV LED diode

Drugi viri, pri katerih pa je emisija ultravijolične svetlobe drugotnega pomena, so naprave za obločno varjenje (vse električne vrste varjenja) naprave za zdravljenje korone (glej tudi ionizator) ter vsi procesi, pri katerih nastopajo ionizirani plini ali zelo visoke temperature (na primer laserska obdelava materialov, viri ionov, iskrišča, ...).

Vplivi UV sevanja na zdravje

Glede na valovno dolžino in intenzivnost sevanja ima UV lahko številne zdravstvene posledice, predvsem za oči in kožo. Najbolj očitna je porjavitev kože zaradi izpostavljenosti UV sevanju. Pri čezmerni izpostavljenosti lahko kot akutne poškodbe nastopijo opekline, vnetja in alergijski odzivi različnih težavnostnih stopenj. Zapoznele škodljive posledice izpostavljenosti UV sevanju so lahko različne oblike kožnega raka (ploščatocelični karcinom, bazalnocelični karcinom, maligni melanom), predčasno staranje kože ter motnost očesne leče (katarakta). Obstajajo tudi znanstveni dokazi, da izpostavljenost UV sevanju lahko oslabi imunski sistem.

Edini dobro raziskani pozitivni učinek UV sevanja je tvorba vitamina D_3 v koži. Za tvorbo vitamina D_3 v količinah, ki so potrebne za človekovo zdravje, pa zadošča že majhna količina sevanja. Poleg tega je zadostno preskrbo telesa s tem vitaminom mogoče doseči že s primerno prehrano. Zaradi pretežno negativnih učinkov UV sevanja je pri izpostavljanju naravnim in umetnim virom UV sevanja (solarij) nujno potrebna previdnost.

Največja previdnost pa je potrebna pri izpostavljanju oči. Ultravijolična svetloba ima lahko za posledico vnetje veznice in motno roženico. Zato je potrebno na primer pri ročnem obločnem varjenju uporabljati varilno zaslonko – kratkovalovno UV sevanje lahko zelo hitro povzroči poškodbe oči ali celo oslepitev. Pri svetlobnem obloku

nastaja širok spekter močnega UV sevanja, ki pri uporabi brez zaščite (nezaščiteni deli telesa) že po nekaj minutah povzroči ožganine na koži, ki spominjajo na sončne opekline. Koža daje občutek »suhosti« in se začne »napenjati«. Nastopijo opekline 1. stopnje (rdečica) do 2. stopnje (nastanek mehurjev). Nastopijo lahko tudi dolgotrajne poškodbe, kot so staranje kože, kožni rak ali katarakta, če eritemski prag sicer ni prekoračen, sevanje pa je pogosto. Koža in oči registrirajo vsako sevanje in ne le tisto, ki leži nad eritemskim pragom.

Preglednica 19-4: Prikaz negativnih vplivov na zdravje, ki lahko nastopijo pri določenih sevalnih obremenitvah glede na mednarodno določene mejne vrednosti.

	Valovna dolžina (nm)	**Oko**	**Koža**
UV-C	100-280	Fotokeratitis Fotokonjuktivitis	Eritem Kožni rak
UV-B	280-315	Fotokeratitis Katarakta Fotokonjuktivitis Fotokemične poškodbe	Močan eritem, opekline Kožni rak Fotostaranje kože Tvorjenje vitamina D_3
UV-A	315-400	Fotokeratitis Fotokonjuktivitis katarakta Poškodba mrežnice	Le rahel eritem Kožni rak Fotostaranje kože Direktna pigmentacija Poškodba kolagenov – koža izgublja na prožnosti in se predčasno stara;

UV-B sevanje povzroča porjavelost ter sončne opekline, UV-A sevanje, ki ima daljšo valovno dolžino in prodira v globlje plasti kože, pa je odgovorno za pospešeno staranje kože in negativno vpliva na imunski sistem. Obe vrsti UV sevanja povečujeta tveganje za razvoj malignega melanoma, (t.i. pigmentni ali črni kožni rak), običajnega epitelijskega (nemelanomskega) kožnega raka in nekaterih njegovih predstopenj (na primer aktinične keratoze).

Naša koža se pred škodljivimi učinki UV sevanja brani s tvorbo kožnega pigmenta melanina, zaradi česar po izpostavljanju soncu porjavimo. Z namernim izpostavljanjem soncu (sončenje), pa tudi ob nenamernem izpostavljanju UV sevanju prihaja do poškodb v celicah osnovne plasti vrhnjice, ki se delijo. Ta plast je ključna za obnavljanje kože. Hkrati se kot odgovor na UV stimulacijo pigmentnih celic, t.i. melanocitov, v osnovni plasti vrhnjice kože poveča tudi tvorba melanina, ki se odlaga v epitelijskih celicah vrhnjice. Ob preraščanju epitelijskih plasti z več melanina koža potemni. Temno obarvan melanin v epitelijskih celicah absorbira UV sevanje in celice vsaj delno varuje pred dodatnimi poškodbami. Porjavelost kože se razvije postopno, saj je potreben čas, da se ustvari melanin in v procesu obnavljanja vrhnjice to prerastejo temneje obarvane plasti. Porjavelost kože torej pomeni, da je v koži že

prišlo do škodljivih sprememb, te pa se z leti kopičijo in se lahko šele mnogo pozneje izrazijo v obliki bolezenskih sprememb kože.

Rak. V zadnjih desetletjih opažamo zaskrbljujoče povečanje števila primerov kožnega raka. To povečanje je povezano s večjo izpostavljenostjo UV sevanju, ki je predvsem posledica spremenjenega preživljanja prostega časa in socialnega vedenja večjega dela populacije. Da bi kolikor mogoče zmanjšali tveganje pojava kožnega raka, je v sončnem vremenu potrebna posebna previdnost. Zato je potrebno prebivalstvu omogočiti oceno trenutne in prihodnje obremenjenosti z UV sevanjem (glej UV indeks). To priporočilo ostane nespremenjeno kljub pozitivnim učinkom, ki jih ima izpostavljenost UV sevanju pri tvorbi vitamina D. Treba je vedeti, da je za tvorbo tega vitamina dovolj že 10-minutna dnevna izpostavljenost.

Najnovejše raziskave kažejo na jasno povezavo med izpostavljanjem UV sevanju in malignim melanomom ter nekaterimi nemelanomskimi vrstami kožnega raka (na primer bazalnocelični karcinom). Zato je Strokovni odbor Mednarodne agencije za raziskovanje raka (IARC), ki deluje v okviru Svetovne zdravstvene organizacije (WHO), uvrstil **UV sevanje v 1. skupino kancerogenih snovi za ljudi**, skupaj z azbestom, radonom, tobakom in ionizirnimi sevanji. V to skupino so na podlagi večletnih razsikav od junija 2009 uvrščeni tudi umetni viri UV sevanja – **solariji**.

Maligni melanom (melanom) je najnevarnejša vrsta kožnega raka. Razvije se lahko v normalni koži ali pa v že obstoječem kožnem znamenju. Že pri majhni debelini lahko zaseva v različne notranje organe, zato je smrtnost zaradi melanoma pri razširjeni bolezni velika. Nevarnost razvoja melanoma je večja tako po dolgotrajnem nezaščitenem kot tudi po kratkotrajnem intenzivnem izpostavljanju soncu, še posebej pri ljudeh s svetlo poltjo. Čeprav mehanizmov nastanka malignega melanoma še ne razumemo v celoti, pa večino njegovih oblik povezujemo z občasnim intenzivnim izpostavljanjem UV sevanju. Zanimivo je, da so najnevarnejše nodularne oblike melanoma (vozlasta rast tumorja) najpogostejše na predelih telesa, ki so redko izpostavljeni soncu. Uporabniki solarijev so izpostavljeni občasnim visokim nivojem sevanj UV-A in UV-B – kar lahko predstavlja idealne okoliščine za razvoj melanoma in drugih vrst kožnega raka.

Izpostavljenost UV sevanju, bodisi naravnemu v obliki sončne svetlobe ali UV sevanju iz umetnih virov (solariji), je dejavnik tveganja za pojav različnih vrst kožnega raka. UV-B (280-315 nm) sevanje že nekaj časa velja za kancerogeno, vedno več pa je dokazov o tem, da tudi daljše valovne dolžine, značilne za UV-A (315-400 nm) prispevajo k pojavu raka. Dodatno izpostavljanje UV sevanju v solarijih pospešuje škodljive posledice splošne izpostavljenosti UV sevanju. Nikakršnega dokaza ni, da bi bila izpostavljenost UV sevanju v solarijih manj škodljiva kot izpostavljenost UV sevanju sonca. Pri svetlopoltih uporabnikih, ki so se pred soncem sicer zaščitili, so že po nekajletni redni uporabi solarijev odkrili predrakave spremembe, na primer aktinične keratoze in Bownovo bolezen.

Po podatkih Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) v svetu letno odkrijejo okoli 132.000 primerov malignih melanomov, najnevarnejše vrste kožnega raka, ter več kot dva milijona drugih vrst kožnega raka. Kožni rak predstavlja eno tretjino vseh

primerov raka, ki jih diagnosticirajo v svetu. Večinoma je posledica čezmerne izpostavljenosti UV sevanju.

Pospešeno staranje kože, poškodbe oči in drugi vplivi. Vsako izpostavljanje UV sevanju, ne glede na vir, ima lahko za posledico strukturne poškodbe kože. Kratkoročno so te lahko posledica opeklin in posledičnega razvoja nepravilne obarvanosti kože, dolgoročno pa se kažejo kot pospešeno staranje kože na predelih, ki so soncu kronično izpostavljeni, t.i. fotostaranje. Fotostaranje kot posledica sprememb in propadanja vlaken kolagena v koži zaradi UV sevanja, se izraža kot gubanje, izguba elastičnosti in stanjšanje kože, pomnožitev drobnih žil ter stopnjevanje lisavosti kože.

Med škodljive učinke UV sevanja na oči spadajo zlasti katarakta ter vnetje oči, kot je fotokeratitis in fotokonjunktivitis.

Čezmerna izpostavljenost UV sevanju negativno vpliva tudi na imunski sistem, kar lahko povzroči večje tveganje za razvoj fotodermatoz (na primer porfirije, lupus) ter poslabšanje nekaterih kožnih bolezni (na primer akne, rosacea, melasma).

Zaradi velike izpostavljenosti UV sevanju v otroštvu in glede na število sončnih opeklin zaradi UV sevanja se povečuje tveganje za pojav melanoma v poznejšem življenju. Zato je potrebno posebno pozornost posvetiti preprečevanju uporabe solarijev pri mladini do 18. leta starosti.

Otroška koža mora šele razviti lastno samozaščito pred UV, zato je še posebej občutljiva. Prav zato je pri otrocih zaščita pred soncem izjemno pomembna. Pri njih nikakor ne bi smelo priti do opeklin. Sončne opekline v otroštvu pomenijo posebno visoko tveganje za pojav kožnega raka v poznejšem življenju. Dojenčki do konca prvega leta življenja sploh ne bi smeli biti izpostavljeni neposrednemu soncu.

Hrup

Že od rojstva smo ljudje izpostavljeni številnim različnim zvokom iz okolice, za katere kaj kmalu spoznamo, kako zelo koristni so za nas. Nekateri glasovni zvoki nas opozarjajo na pretečo nevarnost, tvorba glasu nam omogoča verbalno komunikacijo, poleg tega pa lahko uživamo v brezštevilnih prijetnih zvokih.

Vendar pa nekateri zvoki v okolici motijo našo sposobnost komunikacije. Če smo dlje časa izpostavljeni dovolj glasnim zvokom lahko začasno ali pa celo trajno izgubimo sluh. Neželeni ali glasni zvoki vplivajo tudi na naš spanec, srčno-žilni sistem in psihofizično počutje, na delovnem mestu pa na naš nastop, učinkovitost pri delu in na družbeno obnašanje. V tem primeru je zvok neželen in ga imenujemo hrup.

Hrup je vsak zvok, ki v človeku budi nemir, ga moti in škoduje njegovemu zdravju ter fizičnemu, psihičnemu in socialnemu blagostanju. Hrup v stavbah, v katerih živimo ali delamo, narašča zaradi povečevanja števila virov hrupa. Glavni viri hrupa so cestni, železniški in zračni promet, gradbišča, industrijska dejavnost, posebej pa je potrebno izpostaviti sodobna avdiovizualna sredstva s katerimi se posamezniki neprestano srečujejo ter številne aparature, s katerimi vsak dan upravljajo.

Fizikalno gledano ni med zvokom in hrupom nobene razlike. Zvok je zvočno valovanje, ki ima:

- frekvenco: je število zvočnih valov na sekundo, izraženih v Hertzih (Hz). Človek sliši zvoke med 20 in 20 000Hz, vendar se ta razpon z leti manjša.
- trajanje
- nivo zvočnega tlaka: razlika nihanja tlaka v zraku, izraženega v Pascalih (Pa). Referenčni zvočni tlak je najšibkejši zvok, ki ga zdrav človek sliši pri 1000Hz. Njegova vrednost je 20μPa, ki je bila določena za meritve zvočne stopnje. Najvišji tlak, ki ga lahko sliši človek brez poškodb slušnega sistema, pa je 20Pa.

Za lažje svetovno razlikovanje zvočnih tlakov je bil uveden sistem logaritemske skale v obliki decibelov(dB). Po logaritemski skali predstavlja 0dB prag zaznave zvoka (20μPa), 120dB pa bolečinski prag oz. maksimum (20Pa).

Fiziološki vidiki

Uho je sestavljeno iz:

- zunanjega ušesa, ki po slušnem kanalu prevaja zvočne valove do srednjega ušesa. Malenkostne razlike v jakosti in času zaznave zvočnega signala med levim in desnim ušesom nam omogoča zaznavanje smeri izvora zvoka. S pomočjo premikov glave zunanje uho pomaga pri optimiziranju slušne zaznave.

- srednjega ušesa, ki je sestavljeno iz bobniča in slušnih koščic. Tu se zvočni valovi spremenijo iz zvoka, ki se prenaša po zraku in ima velike amplitude ter majhne tlačne razlike, v zvok, ki se prenaša po tekočini in ima majhne amplitude, ampak velike tlačne razlike.
- notranjega ušesa, kjer je tlak večji kar 20-krat. Glavni del notranjega ušesa je kohlearni duktus, ki se povezuje s slušnim živcem (8. možganski živec oziroma N.statoacusticus).

Govor. Večina govora se nahaja v razponu frekvenc od 100 do 6000 Hz, za razumevanje pa so najpomembnješe tiste med 300 in 3000 Hz. Sporočilo pogosto popači zvok, ki ga slišimo sočasno. Bolje se frekvenca maskirnega zvoka ujema s človeškim govorom in višji je njegov zvočni nivo (bolj glasen je), slabše razumemo sporočilo. Ljudje z motnjami sluha imajo z razumevanjem govora v hrupnem prostoru še večje težave.

Razumljivost govora je odvisna od govorčevega zvočnega nivoja (glasnosti) in izgovorjave, motečih zvokov iz okolja, lastnosti prostora (odbojni čas), poslušalčeve ostrine sluha in pozornosti, razdalje med njima. Za dobro razumevanje govora mora biti razlika med glasnostjo govora (Leq) in glastnostjo okolice vsaj **15 dB(A)**. Optimalni odbojni čas prostorov je manj od **0,6 s**!

Vpliv hrupa na zdravje

Sluh je pomembni varnostni sistem, ki je aktiven tudi med spanjem. Med tem, ko bi možgani v budnem stanju med lenarjenjem v postelji zaznali zvok kamiona kot nekaj nenevarnega, saj bi se zavedali, da nismo na cesti in da smo v postelji varni, pa bi lahko isti zvok med spanjem zaznali kot pretečo nevarnost, kar lahko sproži stresno reakcijo.

Zvok iste vrste moti zelo različno in sicer odvisno od posameznikove aktivnosti. S hrupom povzročene stresne reakcije so pogosteje ugotovljene med intelektualnim delom kot pa med fizično aktivnostjo: ne glede na to, pa glasni zvoki (nad 90dB) povzročajo neposredno stresno reakcijo pri vseh izpostavljenih osebah.

Raziskave so pokazale, da se ponoči ljudem, ki živijo na prometnih ali kakorkoli drugače hrupnih ulicah, kjer je v povprečju srednja raven hrupa 55dB, na dolgi rok sproščajo veliko večje količine stresnih hormonov. Prav tako pa je bilo dokazano, da se zvišane ravni sproščenih stresnih hormonov vrnejo na normalno raven že po enem tednu uporabe čepkov za ušesa.

Hrup vpliva na slušno razumevanje, kar povzroča številne osebnostne motnje in težave ter vedenjske spremembe: probleme s koncentracijo, utrujenost, negotovost in pomanjkanje samozavesti, razdražljivost, nesporazumi, težave v odnosih, zmanjša pa se tudi delovna sposobnost, kar se kaže z učnimi težavami, agresijo ali vedenjskimi težavami. Za naštete posledice so posebej ranljiva skupina ljudje z motnjami sluha, starejši, otroci, ki se učijo jezika ali branja ter ljudje, ki se učijo tujega jezika. Najbolj

moteč je govor, nato pa hišni zvonec, zvonjenje telefona, ure z alarmi, požarni alarmi ter glasba.

Najbolj občutljive so čutne dlačice dlačnih celic, ki so prve poškodovane pri izpostavljenosti visokim jakostim zvoka. Stopnja poškodbe je klinično zelo pomembna, saj je temu primerno tudi prilagojeno zdravljenje, s katerim je potrebno začeti čim prej. Vsekakor pa so najhujša poškodba koščic, ki ni ozdravljiva.

Poškodba notranjega ušesa je lahko povzročena z nenadnim zelo glasnim zvočnim impulzom, kot je na primer eksplozija ali strel pištole, ko je energija zvočnega valovanja nenormalno visoka in trajanje kratko. Eksplozija ali strel pištole lahko povzročita **tinitus** (zvonenje v ušesih) za kak dan in/ali **nenadno oglušelost**, zato je pomemben čim prejšnji obisk otorinolaringologa, da se na ta način zmanjša tveganje, d abi prišlo do dolgotrajnih posledic. Zvonjenje v ušesih po poslušanju glasne glasbe v diskoteki ali glasbenih koncertih običajno preneha po nekaj minutah do urah po končani izpostavljenosti hrupu, v kolikor pa je slednja pogosta, se trajanje tinitusa podaljša in postane kronično. Tinitus sestavljajo zvoki, ki jih oddaja notranje uho in zvoki, ki sledijo krvnemu pretoku skozi strukture ušesa.

Poleg zvonjenje v ušesih lahko pride tudi do začasno mejno spremembo sluha po izpostavljenosti hrupu. Pacienti tožijo o nekaj dnevni tišini, ki lahko traja celo cel teden, preden sluh popolnoma okreva. Sluh se lahko popolnoma povrne, lahko pa pride do kronične izgube sluha ali celo do oglušelosti. Ogrožena skupina so delavci, ki delajo 8 ur 40 let pri stopnji hrupa **>75dB**.

Poleg zdravstvenih posledic zaradi akutne izpostavljenosti hrupu pa prihaja tudi do poškodbe, ki so posledica dolgoletne izpostavljenosti vsakodnevnim glasnim zvokom, kar je pogosto pri delavcih na gradbiščih, ljudeh, ki živijo blizu večjih letališč ali avtocest in tistih, ki poslušajo predvajalnike glasbe preko slušalk. V teh primerih ni nujno, da je jakost zvoka velika, pač pa je trajanje dolgo.

Poleg slušnih pa obstajajo še druge težave, ki so manj specifične. Večina ljudi navaja nespečnost; zelo težko zaspijo ali pa se hitro prebudijo. V razvitih državah ima take težave okrog 30% ljudi, od tega jih več kot 40% potrebuje zdravljenje, 15% pa je kronično utrujenih čez dan zaradi slabe kvalitete spanja. zelo pomembno je uvajanje ukrepov za zmanjšanje obremenjenosti s hrupom in s tem tudizmanjšanjem deleža ljudi, ki so kronično preutrujeni, saj s eto kaže v povečanem tveganju za nesreče pri delu in v prometu. Kar 20% prometnih nesreč na avtocestah povzročijo prav vozniki, ki zaspijo med vožnjo.

Kronične motnje spanja povečajo tveganje za:

- psihosomatske bolezni, še posebej srčno-žilna obolenja,
- strah,
- agresijo,
- nevroze.

Da preprečimo te težave, mora biti srednja raven hrupa v spalnicah **≤30dB**, največja raven pa enaka **45dB**.

Največje težave s koncentracijo zaradi izpostavljenosti hrupu imajo otroci, ki se učijo jezikovnih ali glasbenih veščin, zato je dobra zvočna izolacija učilnic zelo pomembna. Raziskave so pokazale, da je stopnja napak v primeru, ko je obremenitev z zvokom manjša od 55dB bistveno manjša (4,3%) kot pa v primeru, ko je stopnja hrupa okolice 60dB ali več (15%).

težave so povezane s stresom, ki je posledica hrupa. Stresni hormoni pripravljajo organizem na beg ali boj oziroma optimizirajo verjetnost za preživetje v primeru napada, za kar je potrebna določena energija. Stresna hormona adrenalin in noradrenalin povečata raven holesterola in trigliceridov v krvi, kar poveča tveganje za razvoj ateroskleroze in kasneje za srčni infarkt. Po drugi strani pa povišana raven stresnega hormona kortizola zmanjša krvavitve in tveganje za okužbe po poškodbah. Čeprav kortizol rešuje življenje po poškodbah, pa dolgoletna povišana stopnja kortizola povzroča nevarne stranske učinke, boljše strjevanje krvi namreč prav tako poveča nevarnost za srčni infarkt.

Socialni učinki hrupa so kompleksni, skriti in indirektni. Hrup povzroča:

- spremembe v vsakodnevnem vedenju (na primer zapiranje oken, manjša uporaba balkonov, povečevanje glasnosti televizije in radia, pritožbe),
- sovražne spremembe vedenja v družbi (na primer agresija, neprijaznost),
- negativne spremembe socialnih indikatorjev (na primer uživanje drog, povečana stopnja hospitalizacije, večja stopnja nesreč),
- spremembe razpoloženja (na primer več depresije, anksioznosti),
- daljša izpostavljenost hrupu povprečne stopnje 80dB zmanjša sodelovanje in poveča agresijo med izpostavljenostjo in še daljši čas po tem.

Ljudje, ki živijo na hrupnih predelih, uporabljajo v povprečju več zdravil, ki so v glavnem predpisana zaradi prevelikega stresa in tesnobe. Pri povprečni stopnji hrupa 55 do 60dB 15% prebivalcev uživa uspavala ali pomirjevala večino dni ali nekajkrat na teden, takih,, ki ta zdravila uživajo redno pa je 4%. Pri stopnji hrupa nad 65dB pa uporaba ušesnih čepkov močno naraste. Zaradi zmanjšanja učinkovitosti pri delu se tudi podjetja trudijo ustvarjati čim boljše delovno okolje za svoje zaposlene. Še posebej moramo biti na jakost zvoka pozorni:

- v bolnišnicah,
- v šolah in vrtcih,
- v diskotekah,
- v prostorih, namenjenih počitku.

V nekaterih državah so, zaradi hudih negativnih učinkov na organ sluha že uvedli omejevanje jakosti zvoka v diskotekah in na koncertih. Tudi v Sloveniji že veljajo omejitve emisije hrupa na javnih prireditvah.

SPANJE IN HRUP

Spanje je sestavljeno iz štirih faz neREM spanja in REM spanja (ko sanjamo). Da se spočijemo, sta najbolj pomembni globoki neREM fazi spanja (3 in 4) in REM spanje. Globoko spanje je potrebno za fizično spočitost, REM spanje pa za mentalno in čustveno spočitost, pa tudi za prenos iz kratkotrajnega v dolgotrajni spomin.

Dolgotrajen ali ponavljajoči se hrup med spanjem aktivira živčni in endokrini sistem. Občasen hrup se kaže v fragmentaciji v poteku spanja. Kontinuiran hrup (avtocesta) se kaže v plitkem spanju. Pri vseh vrstah hrupa ljudje težje zaspijo, podnevi se zaradi tega lahko počutijo zaspane, imajo glavobole, manj volje. Nekateri se ponoči zbujajo. Težave so odvisne od splošne stopnje hrupa, števila hrupnih dogodkov na noč, hitrost naraščanja hrupa, razlike med hrupom ozadja in maksimalno stopnjo hrupa.

Ob zvokih nevarnosti se lahko zbudimo že ob minimalni glasnosti, medtem ko otroci, ki zvokov nevarnosti še ne razlikujejo, lahko spijo ob 90dB in celo več.

Zbujanje ponoči in motenje fizioloških funkcij med spanjem pomenijo zdravstveno tveganje. Obstajajo dokazi, da dolgotrajna izpostavljenost hrupu vodi do kronično povečanje koncentracije stresnega hormona v krvi, kar pomeni biokemičen faktor tveganja za aterosklerozo in posledično srčni napad.

Dejavniki, ki tudi povečujejo učinek hrupa in vodijo k večji razdražljivosti so:

- občutljivost za zvok,
- socialni faktorji,
- čas izpostavljenosti hrupu (ponoči, zvečer, za vikend so ljudje bolj občutljivi).

Ljudje so posebno občutljivi na hrup od polnoči do petih ponoči in med prehodoma dan-noč, noč-dan.

Hrup v šolah

Šole so življenja polni, pogosto hrupni prostori, kjer se otroci naučijo prilagajati svojo glasnost in vedenje okolici. Šole morajo nuditi učencem kar najboljše pogoje za psihološki in intelektualni razvoj.

Eden najpogostejših dejavnikov, ki onemogočajo optimalne pogoje, je hrup. Zmanjševanje le-tega v šolskem okolju je velik izziv na področju javnega zdravja. Otroci so hrupu izpostavljeni tudi izven šole, med rekreacijo, gledanjem televizije, poslušanjem radia in glasne glasbe, bodisi v diskoteki, bodisi preko prenosnih predvajalnikov zvoka.

Zmanjševanje vpliva hrupa v šolah na zdravje in razvoj otrok lahko predstavlja veliko finančno breme. Z zgodnjim načrtovanjem, še med gradnjo šol, ga je mogoče znatno zmanjšati. Za različne šolske aktivnosti (ure jezika, glasbe, športa) morajo biti na voljo ustrezni prostori; primerni namenu, dovolj veliki, s točno določeno akustiko in izolacijo.

Odbojni čas prostora je čas, v katerem se nivo zvoka (Leq) zmanjša za 60 dB po tem, ko je vir zvoka prenehal oddajati. Zvočilo, ki se uporablja pri meritvah, je standardizirano. Daljši je odbojni čas, jasneje slišimo odmev in glasnejši je hrup v prostoru. Odvisen je od velikosti prostora in od lastnosti materialov, ki pokrivajo notranje površine.

Za opisovanje akustike večjih prostorov, kot so telovadnice in pokriti bazeni, se namesto odbojnega časa uporablja prostorski upad zvoka. Meri hitrost, s katero se zvok zmanjšuje, ko se odmikamo od referenčnega vira zvoka. Upad zvoka se primerja z zmanjšanjem, ki bi ga izmerili na odprtem (nivo zvoka se zmanjša za 6 dB vsakič, ko se razdalja od vira podvoji). Na podlagi prostorskega upada zvoka je mogoče izračunati akustične popravke, ki pripomorejo k izboljšanju zvočnega okolja.

Obvladovanje hrupa

Za zmanjšanje nivoja hrupa, ki so mu ljudje izpostavljeni je zelo pomembno da zagotovimo ustrezno informiranje ter izobraževanje o problemih hrupnega okolja, zlasti z vidika učinkov različnih nivojev hrupa in vloge posameznika in skupnosti pri zmanjševanju izpostavljenosti previsokim nivojem hrupa.

Poleg tega pa je zvezi z obvladovanjem hrupa pomembna s predpisi opredeljena najvišja raven hrupa za posamezne dejavnosti in za posamezna območja. Potrebno je tudi zagotoviti ustrezne zmogljivosti za natančno merjenje nivojev hrupa. Temeljni principi, ki jih je potrebno upoštevati pri načrtovanju novih dejavnosti ter sanaciji že obstoječih so:

- omejitev hrupa pri izvoru (predpisi za emisije avtomobilov in letal, manj hrupni avtomobili, dejavnosti, prireditve),
- omejevanje hrupa pri prenosu iz izvora (zvočne bariere ob avtocestah),
- zavarovanje izpostavljenih hrupu (zvočna izolacija stavb – učinkovita proti prometnemu hrupu, manj letalskemu),
- gradnja ustrezno zvočno izoliranih objektov.

ELEMENTI OKOLJA, POMEMBNI ZA ŽIVLJENJE

ZRAK

Čist zrak je osnovni pogoj za zdravje in dobro počutje ljudi. Onesnaženost zraka pa kljub temu ostaja pomembna grožnja zdravju širom po svetu. Glede na ocene Svetovne zdravstvene organizacije (SZO) zaradi onesnaženosti zraka umre več kot dva milijona ljudi prezgodnje smrti vsako leto. Onesnaženost zraka, pretežno zaradi finih delcev in prizemnega ozona še naprej v znatni meri ogroža zdravje: pričakovano življenjsko dobo v Zahodni in Srednji Evropi skrajšuje za skoraj eno leto ter negativno vpliva tudi na zdrav razvoj otrok. Emisije večine onesnaževal zraka se po podatkih Evropske agencije za okolje še naprej povečujejo. Glavni razlogi so v naglem gospodarskem razvoju, povečanem obsegu prometa ter v pomanjkljivostih učinkovitosti politik za preprečevanje in zmanjšanje onesnaženosti zraka.

Sestava zraka

Atmosferski zrak je mehanična zmes kisika, ogljikovega dioksida, dušika in žlahtnih plinov, kot so argon, neon, ksenon in helij ter sledov drugih plinov ter aerosolov, ki so posledica naravnega in antropogenega onesnaževanja. Koncentracija osnovnih plinov na morski gladini je: dušik (78,08%), kisik (20,95%), argon (0,93%) in CO_2 (0,03%). Človeku je zrak nujno potreben za življenje, poleg tega pa nas atmosfera (predvsem stratosfera z ozonom) ščiti pred sevanjem.

Atmosfero sestavljajo različne (glavne) plasti	
oddaljenost od zemeljske površine:	
troposfera	***10-12 km nad zemeljskim površjem***
stratosfera	***od približno 13 do okrog 50 km***
mezosfera	***50-100 km nad zemeljskim površjem***
termosfera	***>100 km nad zemeljskim površjem***
ekosfera	***500-1000 km***

Dnevno vdihne človek zelo veliko količino zraka, od 10 do 20 tisoč litrov (10-20 kg). Količina je odvisna od telesne konstitucije in aktivnosti posameznika. Če primerjamo te količine s povprečno količino zaužite hrane (1,5 kg) ali vode (2 kg), vidimo, da lahko spremembe v kvaliteti zraka pomembno vplivajo na človekovo zdravje. Otroci in nekateri drugi oboleli so še posebej občutljivi. Triletni otrok pri mirovanju vdihne dvakrat večjo količino zraka glede na telesno težo kot odrasla oseba. Ker so otrokove dihalne poti in pljuča še v razvoju ima lahko dihanje onesnaženega zraka pri otroku mnogo težje in bolj dolgotrajne posledice kot pri odraslih osebah.

Onesnaženost zraka

Vpliv onesnaženega zraka na človeka je zelo raznolik in pomembno prizadene zdravje. Poleg tega lahko kemične snovi v zraku neposredno škodljivo vplivajo na rastline, živali in tla. Posledice teh vplivov se pokažejo v **spreminjanju strukture ekosistema** kar posredno spet vpliva na kvaliteto življenja.

Za človeka je najpomembnejše oziroma škodljivo:

neposredno odlaganje vdihanih kemičnih snovi v pljučnem tkivu
posredno uživanje škodljivih snovi preko vode ter rastlinske in živalske hrane, ki je bila onesnažena s škodljivimi snovmi iz zraka

Onesnaženost zraka je eden najpomembnejših problemov, s katerim se srečujejo vse družbe na vseh nivojih razvoja. Industrijski razvoj obremenjuje ozračje z ogromnimi količinami različnih plinov in razpršenih/prašnih delcev (aerosolov). V razvitejših delih sveta so že pred desetletji pričeli z omejevanjem onesnaževanja zraka, najprej prašnih delcev, kasneje pa tudi različnih plinov. Čeprav je nesporno dejstvo, da se je kvaliteta zraka zaradi teh ukrepov ponekod izboljšala, v globalnem pogledu pa se ni tako hitro slabšala, ostaja onesnaženo ozračje pomemben problem, s katerim se ukvarja mednarodna, predvsem strokovna javnost. Še vedno se dogaja, da v okoljih, ki se hitro razvijajo, ne investirajo v omejevanje onesnaževanja, ker so prioritete postavljene na socialnem in ekonomskem področju.

Hitremu industrijskemu razvoju se pogosto pridruži tudi povečanje prometa in intenzivna urbanizacija.

Rezultat je visoka stopnja onesnaženosti zraka, ki ji je izpostavljeno veliko število ljudi. Prav posebej pa je ogroženo prebivalstvo, ki živi v mestnem okolju. Take razmere vladajo danes v večjem delu sveta. Izjema so le nekateri predeli razvitih držav Evrope, ZDA, Kanade in Japonske.

Vrste onesnaženja

V ozračje stalno prehajajo različne škodljive snovi, tako iz **naravnih** virov (izbruh vulkanov, požari, ki so posledica naravnih dejavnikov kot iz **človeških** (antropogenih). Njihova količina lahko variira od nekaj sto ton, do več milijonov ton letno.

Naravno onesnaženje predstavlja določeno ozadje, ki se od območja do območja razlikuje in je odvisno od sestave tal, rastlinstva in živalstva ter meteoroloških razmer (temperatura zraka, relativna vlažnost, smer in hitrost vetra,…).

Človek pa onesnažuje zrak od obdobja, ko je odkril koristno uporabo ognja. Z rastjo števila prebivalcev na Zemlji, zlasti pa z rastjo in širjenjem industrijske proizvodnje, se je hitro povečevalo tudi onesnaževanje ozračja.

Onesnaženje zraka je predvsem posledica naslednjih dejavnosti:

proizvodnje električne in toplotne energije s pomočjo fosilnih goriv,
prometa,

rudarstva,
industrijske proizvodnje,
kajenja, kuhanja in ogrevanja v zaprtih prostorih.

Največji vpliv na kakovost zraka v Sloveniji imajo emisije snovi v zrak v sami državi, delno pa so le te tudi posledica transporta onesnaženega zraka čez meje. Na povišane koncentracije onesnaževal v zunanjem zraku vplivajo tudi drugi dejavniki, kot so klimatske značilnosti, meteorološki pojavi, fizikalno-kemijski procesi pretvorbe snovi v zraku in topografija prostora.

Najpomembnejše škodljive snovi v zraku

Škodljive snovi, ki onesnažujejo zrak, so lahko organskega ali anorganskega izvora. Najpomembnejše med njimi so navedene v (Preglednica 1). Znanje o naravi kemičnih snovi, njihovih fizikalno-kemičnih lastnostih ter učinkih na zdravje človeka je vedno večje, kljub temu pa so ostala številna vprašanja zaenkrat brez odgovora. Posledice za človeka so odvisne od sestave/narave snovi, njene koncentracije v vdihanem zraku in trajanja izpostavljenosti.

Preglednica 1-5: Najpomembnejše škodljive snovi v zunanjem zraku

Kemični kontaminanti	Klasična onesnaževala zraka (žveplov dioksid, dušikovi oksidi, ozon in drugi fotokemični oksidanti), druge anorganske škodljive snovi (na primer: kovine in nekovine - svinec, kadmij, arzen, azbest), organske škodljive snovi (na primer: ogljikov monoksid, benzen, PAH (policiklični aromatski ogljikovodiki), BTX (benzen-toluen-ksileni), lahko hlapne organske spojine, formaldehid, stiren).
Fizikalno- kemični kontaminanti	Dim in prašni delci - respirabilni prah, radon in njegovi kratkoživi razpadni produkti, cigaretni dim.
Biološki kontaminanti	Mikroorganizmi (bakterije, virusi, glive), alergeni, cvetni prah.

Vir: WHO.Air and Health

Žveplov dioksid (SO_2) v zraku je posledica gorenja fosilnih goriv, ki vsebujejo žveplo. 80% onesnaženja zraka z žveplovim dioksidom prispeva kurjenje premoga in lignita (podatek velja za čas intenzivnejše rabe premogov v gospodinjstvih!). Domač premog vsebuje običajno okrog 2% žvepla, manj kvalitetni premog pa ima lahko tudi 5 in več odstotkov žvepla. Nekateri uvoženi premogi so bistveno čistejši in jih uporabljajo tudi veliki proizvajalci energije v Sloveniji- običajno v kombinaciji z domačimi energenti. V atmosferi žveplov dioksid reagira z oksidanti, katalitsko aktivnimi snovmi in vodo, posledica je nastanek kislih padavin.

Inhalacija žveplovega dioksida povzroči zoženje dihalnih poti, zato so ljudje, ki imajo astmo, bolj občutljivi kot preostali posamezniki. Ljudje, ki živijo blizu dimnikov, iz katerih izhaja žveplov dioksid, se velikokrat pritožujejo zaradi draženja oči, nosu in obolenj dihalnih poti.

Fini delci nastanejo z drobljenjem večjega kosa materiala. Lastnosti delcev, ki pri tem nastanejo, so odvisne od snovi, ki predstavlja osnovni vir prašenja. V zraku najdemo veliko finih delcev, ki so različne velikosti. Glede na velikost delcev, njihovo gostoto in obliko se delci lahko izločijo iz atmosfere že kmalu po nastanku ali pa potujejo na velike razdalje. Iz zraka se delci izločajo na več načinov. Najpogostejši je suhi used, prav tako jih z ozračja uspešno izpirajo padavine. Zaradi različnih fizikalno kemijskih lastnosti se delci lahko vežejo med seboj in na ta način kosmičijo ter zaradi večje teže nato izločijo iz zraka. Prav tako lahko reagirajo s površinami stavb in predmetov ter živimi organizmi.

Večji delci se torej dokaj hitro usedejo na tla, običajno ne daleč od vira njihovega nastanka. V primeru vdihavanja se ti delci odlagajo na zgornjih dihalnih poteh in se iz telesa izločajo s sluzjo, migetalkami in s kašljanjem. Ljudje, ki so takim delcem izpostavljeni, občutijo težave zaradi draženja očesne veznice, nosne sluznice in sapnika. Delci, ki so manjši od 10 mikrometrov (PM_{10}), imenujemo jih tudi fini, majhni, lebdeči ali respirabilni delci, pa obidejo varovalni sistem zgornjih dihalnih poti in bronhijev in dosežejo pljučne mešičke torej najbolj distalne dele pljučnega parenhima in lahko prodrejo v krvni obtok. To še posebej velja za delce, ki so manjši od 2,5 mikrometra ($PM_{2,5}$) kot tudi za nano delce (pod 0,1 mikrometra), katerim je danes posvečena vedno večja pozornost, saj naj bi bili prav ti odgovorni za škodljive posledice na zdravju. Poleg velikosti prašnih delcev je pomembna tudi kemijska sestava in morfologija delca. V primeru alergenih prašnih delcev je pomembna že kratka izpostavljenost večjim koncentracijam, kar pa zakonodaja ne opredeljuje in izvajalci meritev pogosto ne merijo.

Fini delci so kompleksna mešanica trdnih in tekočih delcev, suspendiranih v plinasti fazi. Razlikujejo se po obliki, velikosti, gostoti in kemijski sestavi delca. Del teh delcev v zraku nastane kot posledica direktnih emisij iz prometa, industrije in kurilnih naprav, kmetijstva (primarni delci), sekundarni delci pa so posledica različnih fizikalno-kemijskih procesov v onesnaženi atmosferi. Poleg antropogenih virov je del prašnih delcev v zraku tudi posledica naravnih procesov v okolju (vulkanski izbruhi, gozdni požari, erozija vetra, cvetenje rastlin, itd.).

Ozon (O_3) najdemo v dveh delih atmosfere. Stratosferski ozon je bolj znan kot ozonski plašč, ki je nujno potreben za absorpcijo ultravijoličnega sevanja in je torej koristen ter ozon v troposferi, ki nastane kot posledica onesnaževanja zraka in sončnega sevanja in je škodljiv za ljudi in vegetacijo.

Troposferski ali prizemni ozon spada med **sekundarne polutante, torej tisti, ki nastanejo v ozračju in ne prihajajo neposredno iz emisijskih izvorov**. Nastane iz primarnih polutantov (dušikov oksid, lahko hlapni ogljikovodiki), ki reagirajo s pomočjo sončne svetlobe. Ozon je najbolj škodljiv element **fotokemičnega smoga**. Visoke koncentracije prizemnega ozona so značilne zlasti za okolja, kjer imajo **visoke**

letne temperature in veliko prometa (Atene, Los Angeles, severna Italija, Porurje v Nemčiji). Zaradi prenosa ozona in njegovih predhodnikov z zračnimi masami, se onesnaženost širi tudi na podeželje.

Ozon je zelo reaktiven plin, katerega molekula je zgrajena iz treh atomov kisika. Zaradi dodatnega atoma v primerjavi z najbolj pogostim dvoatomnim kisikom je manj stabilen in zato hitreje reagira z drugimi snovmi. Ta lastnost je vzrok za njegovo škodljivost. Ozon povzroča škodljive učinke na zdravje ljudi in živali, škodljivo deluje tudi na rastline, ekosisteme ter na nekatere materiale. WHO navaja, da povzroča enourna izpostavljenost koncentraciji 200µg/m^3 draženje oči nosu in grla, kašljanje in glavobol. Pri šesturni izpostavljenosti koncentraciji 160µg/m^3 pa se pojavijo vnetja dihalnih poti in spremembe v delovanju pljuč.

Akutni in kronični učinki ozona na ljudi, ki so odvisni od trajanja izpostavljenosti, koncentracije ozona in fizične aktivnosti so:

- respiratorni in drugi simptomi: kašelj, draženje oči, bolečina pri globokem vdihu, občutek utesnjenosti v prsnem košu, bolečina za prsnico, redko glavobol, slabost);
- spremembe, upad pljučne funkcije: upad FEV1, povečana frekvenca dihanja;
- povečana odzivnost dihalnih poti: povečan nespecifični odgovor dihalnih poti na acetil holin, metaholin, histamin;
- vnetje dihalnih poti: povečan nivo levkocitov, proteinov in različnih vnetnih mediatorjev pri bronhoalveolarni lavaži (BAL), upad fagocitnih sposobnosti alveolarnih makrofagov.

Zaradi novih dokazov o vplivih na zdravje pridobljenih iz epidemioloških študij, potrjeni povezavi med dnevno umrljivostjo in različnimi stopnjami ozona v onesnaženem zraku, dokazanimi kroničnimi učinki ozona na pljuča, značilni individualni občutljivosti posameznikov za ozon, je SZO podala novo smerno vrednost v Smernicah za kakovost zraka leta 2005 in sicer 100 µg/m3 za največje 8-urno dnevno povprečje. Ta koncentracija naj bi zagotavljala zadostno zaščito zdravja, čeprav so možni vplivi ozona na zdravje ljudi tudi pod to vrednostjo pri nekaterih občutljivih posameznikih.

Dušikovi oksidi (NO_x) so tako **primarni, kot sekundarni onesnaževalci**. V večini držav je vsaj 50% dušikovih oksidov **posledica prometa**. Emisije NO_x močno naraščajo s hitrostjo vožnje. Če se hitrost vožnje poveča od 70 na 120 km/h, se povečajo emisije NO_x od 1g na 4g/kg goriva. Zato so koncentracije na podeželju običajno nižje kot v mestih in ob večjih prometnicah.

Dušikovi oksidi delujejo iritirajoče in povzročajo zoženje dihalnih poti. Otroci, ki živijo v gospodinjstvih s plinskimi štedilniki, ki emitirajo v okolje NO_x, pogosteje zbolijo za respiratornimi infekcijami kot pa tisti, ki živijo v gospodinjstvih z

električnimi štedilniki. Raziskave tudi kažejo, da dalj časa trajajoča izpostavljenost plinskim štedilnikom prispeva k razvoju astme pri izpostavljenih.

Onesnaženost zraka v zaprtih prostorih

Notranja onesnaženost zraka je še vedno zapostavljena. Večina ljudi ocenjuje, da predstavlja onesnaženost zunanjega zraka v velikih urbanih središčih največji problem. Dejstvo pa je, da je zrak v prostoru bolj onesnažen, neprimerno večja pa je tudi izpostavljenost prebivalstva notranjemu zraku, s tem pa snovem, ki jih ta vsebuje (Preglednica 2). Ljudje se namreč večino časa zadržuje v zaprtih prostorih, naj si bo doma, na delu, v prevoznih sredstvih ali v trgovinah, kinu, gledališču in podobno. Posebej je potrebno izpostaviti tudi dejstvo, da so škodljive snovi, ki onesnažujejo notranji zrak, večinoma bolj nevarne za zdravje, kot tiste v zunanjem zraku. Viri onesnaženja notranjega zraka so: človek, oprema in materiali v prostoru ter zunanji zrak. Onesnaženost zraka v prostoru je poseben problem v nerazvitem delu sveta, kjer je uporaba premoga v gospodinjstvu zelo razširjena.

Preglednica 2-5: Najpomembnejši viri in vrste onesnaženja zraka v prostoru

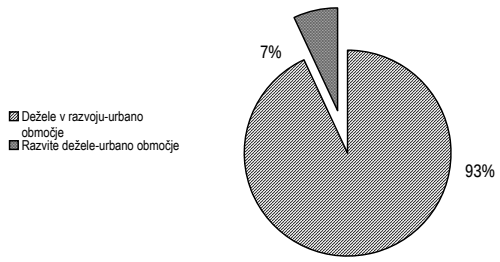
ZUNANJI ZRAK	
Biosfera	Biološka onesnaževala (bakterije, virusi, delci živalskega izvora, plesni, cvetni prah)
Kurišča	SO_2, delci CO_2
Promet	NO_X, CO_2, CO, ogljikovodiki, delci, ozon
Industrija	Ogljikovodiki SO_2, delci, NO_X
MATERIALI IN OPREMA	
Iverne plošče	Aldehidi (formaldehid)
Izolacijski materiali	Organske spojine, aldehidi
Vlažilci zraka	Mikroorganizmi (bakterije, glive, virusi)
Barve	Topila, organske spojine, težke kovine
Lepila	Topila, aldehidi
Gradbeni material, tla	Radon, azbest, sredstva za zaščito lesa
ČLOVEK	
Izmenjava snovi	CO_2, vonj, vodna para
Aktivnosti	Delci, tobačni dim, čistila, spreji
Uničevanje škodljivcev	Pesticidi
Kuhanje na plin	NO_X, delci, CO, SO_2

Vir: WHO.Air and Health

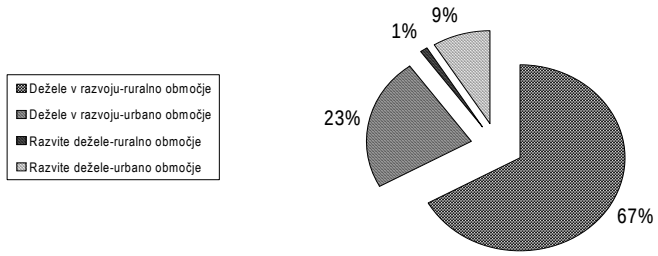
Vpliv onesnaženja zraka na smrtnost

Slika 1 in 2 prikazujeta vpliv notranjega in zunanjega onesnaženega zraka na povečano število smrti v razvitem in nerazvitem okolju. Čeprav gre le za globalno

oceno, podatki nazorno kažejo, da je vpliv onesnaženega notranjega zraka na zdravje človeka bistveno večji, kot onesnaženost zunanjega zraka.



Slika 1-5: Onesnaženost zraka v zunanjem okolju- 0,2 M umrlih



Slika 2-5: Onesnaženost zraka v notranjem okolju- 2,8 M umrlih

Širjenje onesnaženja v zraku

Onesnaženje zraka je lahko lokalno, ob viru onesnaženja. Ker se zračne mase neprestano gibljejo, pa pride zaradi daljinskega transporta zraka tudi do splošnega onesnaženja zraka. Ko onesnaženje pride v zrak, se lahko širi po različnih poteh (zrak, voda, prst, biološki organizmi in hrana). Med širjenjem po zraku je onesnaževalo izpostavljeno spremembam koncentracije in kemičnih lastnosti.

Razširjanje onesnaženosti po zraku je odvisno od mnogih dejavnikov, kot so:

- meteorološki pogoji (predvsem hitrost vetra, smer vetra in stabilnost atmosfere),

- višina emisijskega vira (prizemni viri onesnaževanja - cestni promet ali visoki viri onesnaževanja - visoki dimniki),
- lokalne ali regionalne geografske značilnosti (ozke doline),
- vrsta vira (točkovni, linijski ali razpršeni viri).

Vpliv onesnaženega zraka na zdravje

Onesnaženost zraka ni enakomerna, zato so na majhni razdalji lahko velike razlike v količini vnosa škodljivih snovi. Poleg tega je vnos odvisen tudi od vrste aktivnosti, oziroma od načina življenja posameznika. Nenazadnje posamezniki v določeni populaciji niso enako občutljivi za iste škodljive snovi iz okolja. Znatne razlike v občutljivosti so lahko posledica starosti, nosečnosti, prehrane, genetskih značilnosti in stopnje splošnega zdravstvenega stanja, ki v znatni meri določajo ranljivost posameznika.

Škodljive snovi v zraku pridejo v telo neposredno, z vdihavanjem, kar predstavlja najpomembnejši način, lahko pa tudi preko kože ter z uživanjem kontaminirane vode in hrane.

Učinki na zdravje človeka in na okolje **se lahko pokažejo daleč od izvora onesnaženja, tako v smislu časa kot razdalje**. Najbolj ekstremni primer tega je »eksplozija« v jedrski elektrarni v Černobilu v Ukrajini leta 1986. Deset dni je oddajala radioaktivni material v okolje in stopnje radijacije, ki znatno vplivajo na zdravje, so zaznali tudi 1000 kilometrov stran od katastrofalnega dogodka. Zaradi tega je prišlo do povišanja stopnje globalne radiacije, ki bo stala prisotna še več stoletij.

Glede vpliva na zdravje ločimo akutne in kronične posledice onesnaženega zraka. Lahko so reverzibilne in/ali ireverzibilne.

Reverzibilne posledice:
akutni respiratorni simptomi pri otrocih in odraslih, ***kronični respiratorni simptomi pri otrocih in odraslih,*** ***napadi astme pri otrocih in odraslih, zmanjšana respiratorna funkcija,*** ***vnetje očesne veznice,*** ***glavobol,*** ***simptomi bolezni srca in ožilja.***
Ireverzibilne posledice:
ireverzibilne okvare pljučnega parenhima, ***pojav rakastih obolenj,*** ***skrajšanje življenjske dobe.***

Za škodljive učinke onesnaževal v zraku so zlasti dovzetni:

- otroci,
- starejši ljudje,
- ljudje z astmo ali kronično obstruktivno pljučno boleznijo (KOPB) in drugi kronični pljučni bolniki

- vsi, ki so fizično aktivni na prostem (delo, rekreacija, šport)

Velika občutljivost otrok je povezana z dejstvom da, so dihalne poti otrok ožje, obrambni mehanizmi dihalnih poti še niso polno razviti, frekvenca dihanja pa je večja, kar poveča količino vdihanega zraka in onesnaževal v njem na enoto teže v primerjavi z odraslimi.

Oblika in obseg zdravstvenih težav sta odvisna od stopnje in vrste onesnaženja. Najbolj pogosto pa so prisotne težave zgornjih dihalnih poti (draženje sluznic, kašelj, plitkejše dihanje), draženje očesne veznice in občutek utrujenosti. Bolniki z astmo ali z drugo kronično pljučno boleznijo neredko občutijo poslabšanje bolezni, če so izpostavljeni onesnaženemu zraku. Raziskave kažejo, da so tudi nalezljive bolezni zgornjih in spodnjih dihalnih poti pogostejše takrat, kadar je ozračje onesnaženo. Znaki s strani srca in ožilja se pojavijo predvsem takrat, kadar je zrak onesnažen z ogljikovim monoksidom, saj pride do motenj v prenosu kisika. Draženje sluznic, razvoj akutnega ali kroničnega vnetja spodnjih dihalnih poti in vnetje očesne veznice so znaki visoke stopnje onesnaženosti notranjega zraka. Zaradi razlik v občutljivosti posameznika je zaznavanje teh težav različno.

Vnetje očesne veznice je pogosto povezano z visokimi koncentracijami prašnih delcev ali fotokemičnega smoga. Pojav rakastih obolenj, ki jih lahko povežemo z onesnaženim zrakom, je največkrat posledica poklicne izpostavljenosti (na primer proizvodnja azbesta, delo v rudnikih in topilnicah). Značilno je tudi izredno povečano tveganje za raka na pljučih pri kadilcih.

Poleg škodljivosti za zdravje pa ima onesnažen zrak še druge vplive na okolje. Zelo poznan in pomemben je negativen vpliv onesnaženega zraka na **gozdove in zelene površine**, pa tudi na pospešen propad zgradb. Poleg tega pridejo snovi, ki so v zraku, na zemljo in v vode ter povzročijo njihovo onesnaženje. Posredno je na ta način povečana obremenitev človeka s temi škodljivimi snovmi (pitna voda, hrana, ki zraste na onesnaženi zemlji). V zadnjem obdobju pa smo priča tudi globalnim klimatskim spremembam, ki so tesno povezane z onesnaževanjem zraka.

Nadzor nad kvaliteto zraka

Svetovna javnost vlaga veliko truda v izboljševanje ozračja, vendar rezultati še daleč niso zadovoljivi. Poseben problem predstavljajo dežele v razvoju in nerazvita območja, kamor se neredko seli umazana industrija. Onesnažen zrak ne pozna državnih in nacionalnih meja, zato ostaja globalni problem onesnaženja ozračja aktualen, saj so posledice sprememb v atmosferi lahko usodne za vse človeštvo**,** prikazuje normativne vrednosti za posamezne škodljive snovi, ki jih najdemo v zraku.

V slovensko zakonodajo so bile sprejete različne uredbe za področje varstva zraka, ki so usklajene z zahtevami direktiv Evropske Skupnosti (EU).

Te uredbe predpisujejo, katera onesnaževala je potrebno spremljati, njihove mejne, ciljne, opozorilne in alarmne vrednosti, najmanjše potrebno število merilnih mest,

vrste merilnih mest, njihove gostote v merilnih mrežah, referenčnih merilnih metod in izračunavanja statističnih vrednosti in izmenjave oziroma prikaza podatkov.

Alarmna vrednost (AV) je predpisana raven onesnaženosti, pri kateri je treba zagotoviti takojšnje ukrepe za zavarovanje zdravja ljudi in okolja. Alarmna vrednost se določi pri kritični ravni onesnaženosti, nad katero že kratkotrajna izpostavljenost zaradi snovi v zraku pomeni tveganje za zdravje ljudi.

Pri ozonu sta definirani opozorilna urna vrednost (OV) in ciljna 8-urna vrednost, ki naj bi bila dosežena do leta 2010 (CV).

Dopustna vrednost (DV) koncentracije določene snovi je bila vpeljana zato, da je prehod za dosego mejne vrednosti (MV) postopen. Tako je dopustna vrednost enaka mejni vrednosti, povečani za sprejemljivo preseganje (SP). Sprejemljivo preseganje mora doseči vrednost 0 do določenega datuma (1.januar 2005 oz. za nekatera onesnaževala 1.januar 2010), do takrat pa se od leta 2000 linearno zmanjšuje.

Pri nekaterih onesnaževalih sta definirana še spodnji in zgornji ocenjevalni prag koncentracije (SOP in ZOP). Kjer so izmerjene koncentracije pod spodnjim ocenjevalnim pragom, niso potrebne stalne meritve.

Preglednica 1-5: Pregled vrednosti sprejemljivega preseganja (SP) za določene škodljive snovi v zraku, do leta 2010

ONESNAŽEVALA	LETO	2000	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
SO2	SP	150	120	90	60	30	0					
NO2	SP(1h)	100	80	60	40	20	0					
	SP(1eto)	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	0
CO(mg/m3)	SP	6	6	6	4	2	0					
Dleci PM10	SP(dan)	25	20	15	10	5	0					
	SP(1eto)	8	6	5	3	2	0					
Benzen	SP	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0
svinec	SP	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0					

Stanje onesnaženosti zraka v Sloveniji

Kakovost zraka se je v Sloveniji v zadnjih letih na splošno izboljšala. Podatki o aktualnem stanju onesnaženosti zraka so na voljo na spletnih straneh ARSO (*http://www.arso.gov.si*).

Najbolj opazno se je zmanjšala onesnaženost z žveplovim dioksidom (SO_2), predvsem v mestih (plinifikacija, toplifikacija …). V bližini elektrarn je opaziti izboljšanje stanja, ki je posledica namestitve čistilnih naprav in uporabe premoga z manjšo vsebnostjo žvepla (Šoštanj, Ljubljana). Od leta 1980, ki velja kot referenčno

leto, se je skupna emisija SO_2 v Sloveniji do leta 1995 zmanjšala za preko 50 % (od preko 250.000 na 120.000 ton/leto). Na nekaterih izpostavljenih lokacijah na vplivnem območju termoelektrarn se ob najneugodnejših vremenskih razmerah še pojavljajo koncentracije škodljivih snovi v zraku, ki presegajo kritične imisijske koncentracije.

Onesnaženost zraka z dušikovimi oksidi (NO_x), s katerimi je najbolj obremenjena neposredna bližina prometnih cest in energetskih objektov, narašča. V letih 1990 in 1991 se je emisija NO_x začasno znižala zaradi zmanjšanja prometa in proizvodnje, od takrat pa hitro narašča. Od leta 1987 do 1997 se je skupna emisija NO_x povečala za približno 23 %. Po letu 1997 se je emisija NO_x opazno znižala, v letu 2010 pa skupna emisija NO_x ne bi smela preseči 45.000 ton, kar je mednarodna obveznost Slovenije. Ker je promet največji onesnaževalec zraka z NO_x, bo potrebno sprejeti tako prometno politiko, ki bo omogočila izpolnitev mednarodnih obvez.

K emisiji SO_2 največ prispeva elektroenergetika (81 %), k emisiji NO_x pa promet (66 %). Promet z motornimi vozili je bil do leta 1996 glavni povzročitelj emisij svinca in je še vedno glavni vir lahkohlapnih organskih spojin (VOC), ki so sposobne proizvajati fotokemične oksidante (ozon), katerih znaten del prispeva tudi industrija.

V poletnem času koncentracije ozona v prizemni plasti dokaj pogosto presegajo mejne vrednosti na vseh stalnih merilnih mestih v Sloveniji.

Emisije ogljikovega dioksida (CO_2), najpomembnejšega toplogrednega plina, so se po letu 1986 začele zmanjševati predvsem zaradi gospodarskih težav. Po ponovnem zagonu gospodarstva in oživitvi transportnih poti od leta 1992, so emisije CO_2 strmo naraščale, tako da so leta 1997 že presegle emisije leta 1986. Največji delež pri emisijah CO_2 imata elektroenergetika in promet. Pri toplogrednem učinku sodelujejo v večji meri tudi emisije metana (CH_4) in dušikovega oksida (N_2O), kjer so glavni viri kmetijstvo, ravnanje z odpadki, premogovništvo in promet.

Poraba snovi, ki ogrožajo ozonski plašč (ozone depletion substances -ODS) se je močno zmanjšala. Uporaba klorofluorogljikovodikov (CFC) pri proizvodnji izdelkov je opuščena, poraba delno halogeniranih klorofluorogljikovodikov (HCFC) pa je v obdobju 1989–1996 naraščala in je v letu 1996 obsegala 16 % dopustne ravni porabe.

Ukrepi za zmanjšanje onesnaženosti zraka

Pri prizadevanjih za zmanjšanje onesnaževanja zraka je izredno pomembno, da poznamo stopnjo in vire onesnaženosti zraka. Rutinsko običajno ne merimo vseh različnih škodljivih snovi v zraku, temveč le pokazatelje onesnaženosti, kot so žveplov dioksid, prašni delci, dušikovi oksidi in ogljikov monoksid, ozon, med tem ko se meritve ostalih škodljivih snovi opravljajo le občasno. Podatki o kakovosti zraka so osnova za uvajanje in izvajanje ukrepov za zmanjšanje onesnaženosti ter za spremljanje njihove učinkovitosti. Poleg tega pa so potrebni tudi pri ugotavljanju vpliva škodljivih snovi na zdravje prebivalstva.

Glavne naloge na področju izboljšanja kvalitete zunanjega zraka so:

- zmanjševanje onesnaževanja zraka iz industrijskih virov,
- zmanjšanje emisij iz termoelektrarn,
- obvladovanje onesnaževanja zraka zaradi prometa,
- zmanjševanje emisij iz individualnih in skupinskih (kotlovnice) kurišč v naseljih,
- zmanjševanje vzrokov za pojav fotokemijskega smoga in troposferskih fotooksidantov (ozona in peroksiacetil nitrata – PAN),
- odprava uporabe snovi, ki ogrožajo ozonski plašč in
- zmanjšanje emisij toplogrednih plinov.

Glavne naloge na področju izboljšanja kvalitete notranjega zraka so:

- prepoved kajenja v zaprtih javnih prostorih (v RS zakonsko urejeno s 1.9.07),
- sanacija objektov, v katerih je bila ugotovljena povišana vsebnost radona,
- redno prezračevanje prostorov,
- skrb za ustrezne mikroklimatske pogoje in
- informiranje javnosti.

Ukrepi za zmanjšanje onesnaženosti zraka v zaprtih prostorih so večinoma manj jasni ter določni in je zato tudi težje meriti njihovo učinkovitost. Dejstvo pa je, da je potrebno usmeriti zanimanje javnosti od vedno manj onesnaženega zunanjega zraka, k vedno bolj obremenjenemu zraku v prostorih.

PITNA VODA

Voda predstavlja 70-75% telesne teže in je ključnega pomena pri vseh življenjsko pomembnih procesih, ki potekajo v organizmu. Ključnega pomena je pri sprejemu in presnovi hranilnih snovi. S pomočjo vode, ki je osnovna sestavina vsake celice in telesnih tekočin, pridejo hranilne snovi do celic, od tam pa s pomočjo vode prihajajo presnovki do izločal. Pomembna je tudi za zniževanje temperature.

Dnevna potreba po vodi oziroma tekočini je različna in je odvisna od teže in aktivnosti posameznika. Odrasla oseba običajno potrebuje v zmernih temperaturnih pogojih in ob zmerni aktivnosti od 1,5 do 2 litra vode. Del vode vnesemo tudi s prehrano. Kadar je v prehrano vključeno več sadja, je potreba po vodi nekoliko manjša. V primerih ko je vnos soli povečan, je tudi žeja močneje izražena. Pomembno je, da vedno zadovoljimo potrebo po tekočini. Pri starejših ljudeh je žeja nekoliko manj izražena, zato je pametno odmeriti ustrezno količino tekočine in jo v rednih razmakih uživati.

Pitno vodo uvrščamo med osnovne pogoje za življenje, zato je preskrba z zdravstveno ustrezno pitno vodo ena temeljnih nalog družbene skupnosti. Voda je zdravstveno ustrezna, če v naravnem stanju ali po pripravi ustreza sprejetim normativom in jo ljudje lahko uporabljajo za pitje, pripravo hrane in pri osebni higieni.

Poraba pitne vode narašča, hkrati se veča tudi število njenih onesnaževalcev. Nujna je dobra ekološka osveščenost ljudi, trajno preventivno delovanje ter strog nadzor nad pitno vodo, vodnimi objekti in osebjem, ki dela v njih. Zagotavljanje zadostnih količin zdravstveno ustrezne pitne vode je izredno zahtevna in odgovorna naloga. Voda ima v naravi svoj ciklus kroženja. Najdemo jo v vseh treh agregatnih stanjih, tako v atmosferi kot na površini in v globini zemlje. Glede na kvaliteto, količino ter dostopnost za uporabo, je zelo neenakomerno porazdeljena po svetu. Človek s svojimi posegi v naravo moti njeno kroženje in jo onesnažuje. Onesnažena voda predstavlja zanj in za biološko okolje stalen vir nevarnosti.

Čeprav <u>štejemo, da je voda obnovljiv vir</u>, pa je sposobnost obnavljanja le omejena. Praviloma so problemi s kvaliteto vode tem večji, čim bolj se oddaljujemo od izvira vode. Pomembno je, da tisti, ki imajo kvalitetne vire pitne vode z njimi modro upravljajo in poskrbijo, da vodotok nižje od njih ni preveč obremenjen s škodljivimi snovmi.

<u>Onesnaževanje voda in posledice</u>

Onesnaženje voda iz zraka je izredno veliko. Večina škodljivih snovi, ki jih najdemo v zraku, se useda na površine ali pa se z dežjem spira na površino zemlje, od tu potujejo raztopljene v vodi v podtalnico ali v površinske vode. Povečane količine anorganskih kislin in nekaterih drugih snovi v zraku so vzrok za to, da je kislost dežja

povečana. Zaradi tega prihaja do zakisanja - acidifikacije površinskih in podtalnih voda. V nekaterih primerih se je kislost tako povečala, da je onemogočeno življenje rib in drugih vodnih živali. Kisel dež tudi v večji meri raztaplja kovine, ki se nahajajo v tleh, posledica tega pa je povečana vsebnost kovin v vodah.

Neposredni **izpust komunalnih odpadnih voda** vodi do povečane obremenitve voda z različnimi organskimi in anorganskimi snovmi. V določenih primerih, ko se onesnažena voda zbira v jezerih in stoječih vodah, pride lahko do **eutrofikacije** vodnega sistema. To je naravni fenomen, ko pride zaradi povečane količine fosforja in dušika v vodi do bujnega razvoja alg. Alge porabljajo vse več kisika v vodi in tako v bistvu zadušijo ostalo življenje v njej. Komunalne odpadne vode so obremenjene tudi z različnimi patogenimi mikroorganizmi, ki lahko povzročijo okužbo človeka ali živali. Tudi pri **izvajanju kmetijske dejavnosti** prihaja do velike obremenitve voda z mikroorganizmi ter z organskimi snovmi. Poleg tega je za sodobno kmetijsko proizvodnjo značilna poraba sredstev za pospeševanje rasti (umetna gnojila) in uničevanje škodljivcev ter uničevanje plevela (pesticidi), ki se prav tako spirajo v vodo, s tem pa lahko ogrožajo zdravje.

V okviru **industrijske proizvodnje** prihaja do velike porabe vode in do obremenjevanja te vode z različnimi kemičnimi snovmi, ki se uporabljajo v proizvodnji. Zaradi neustreznega čiščenja tehnoloških odpadnih voda pride do obremenjevanja vode, v katero se tehnološke odpadne vode iztekajo.

Preglednica 4-5: Najpomembnejši viri onesnaževanja vode in posledice

onesnaženje iz zraka	• povečana kislost vode (kisel dež), • obremenjevanje vodotokov s škodljivimi snovmi iz zraka, ki so raztopljene v padavinah, • usedanje prašnih delcev iz zraka na vodno površino, • usedanje prašnih delcev na zemeljsko površino in izplavljanje v vodo.
komunalne odpadne vode	• biološki agensi (bakterije, virusi, paraziti), • obremenjevanje vode organskimi snovmi, kar pospešuje eutrofikacijo.
kmetijstvo in živinoreja	• biološki agensi (bakterije, virusi, paraziti), • nitrati in nitriti, • pesticidi, herbicidi • gnojila, • obremenjevanje vode organskimi snovmi, kar pospešuje eutrofikacijo.
tehnološke odpadne vode	• težke kovine in nekovine, • različne druge kemične snovi.

Vir: WHO Water and Health

Posledice onesnaženja vode so različne. Kadar gre za vodo, ki je namenjena pitju, lahko pride do širjenja nalezljivih bolezni. V nekaterih predelih sveta, kjer primanjkuje

zdravstveno ustrezne pitne vode, je do 80% vseh obolenj in do ene tretjine vseh smrti posledica uživanja onesnažene vode. Vsako leto umre v svetu 3 milijone ljudi zaradi uživanja zdravstveno neustrezne pitne vode. Samo v Evropi še vedno 120 milijonov ljudi ne uživa varne pitne vode.

Preglednica 2 prikazuje nekatere najpogostejše biološke agense in kemične snovi, ki slabšajo kvaliteto pitne vode. Če je voda obremenjena z določenimi kemičnimi snovmi, lahko pride do zastrupitve tistih, ki to vodo uživajo. Bolj pogosto pa so količine teh snovi nizke in ne povzročijo takojšnih zdravstvenih težav, ampak se te pojavijo šele po dolgotrajnem uživanju take pitne vode.

Preglednica 5-5: Najpogostejši škodljivi biološki in kemični agensi v pitni vodi

biološki agensi	**kemični agensi**
Bakterije • šigele, salmonele, E.coli • streptokok fekal.izvora, legionela, pseudomonas; **Virusi** • virus hepatitisa A, Coxsackie, ECHO, rotavirusi; **Paraziti** • kriptosporidij, ameba, giardia;	• nitrati in nitriti • svinec • arzen • živo srebro • PAH • fosfor • pesticidi • herbicidi • mineralna gnojila • PCB

Vir: WHO Water and Health

Danes se povezujejo vlade, strokovnjaki ter različne vladne in nevladne organizacije, ki se zavedajo pomena, ki ga ima zdrava pitna voda za človeštvo. Skupaj skušajo uveljaviti nadzor in ukrepe, ki bi pravočasno preprečili nadaljnje pretirano obremenjevanje vodotokov. Uspešnost teh prizadevanj pa je zaradi številnih ovir le omejena. Najpomembnejša ovira je tudi v tem primeru stopnja družbeno ekonomskega razvoja, ki v številnih okoljih onemogoča uveljavitev ustreznih ukrepov, tako za zmanjševanje obremenjevanja voda, kot tudi za zagotavljanje zdravstveno ustrezne pitne vode.

Pitna voda kot ključna determinanta zdravja

Pitna voda je lahko podzemna, površinska ali meteorna. Podzemna voda se nahaja na različnih globinah. Čim globlje je, tem večja je varnost takega vodnega vira. Površinska voda je tista, ki je v stiku z atmosfero. Med površinske štejemo tudi tiste podtalne vode, ki so znatno mikrobiološko onesnažene ali pa se njihova kvaliteta v povezavi z vremenskimi pojavi hitro spremeni.

Zdravstveno ustrezna pitna voda ima estetski videz in mora ustrezati normativom za pitno vodo in sicer glede:

- organoleptičnih lastnosti,
- mikrobioloških in bioloških lastnosti,
- fizikalno kemičnih in kemičnih lastnosti,
- vsebnosti kemičnih snovi ter
- radioloških lastnosti

Z vidika ohranjanja in krepitve zdravja je smiseln vsak napor zato, da dosežemo boljšo kvaliteto pitne vode. Prva prioriteta mora biti zavarovanje virov pitne vode. Sanacijski ukrepi na območju vira pitne vode so smiselni tudi takrat, ko je to območje obremenjeno in prizadeto, saj se na ta način dolgoročno izboljša kvaliteta pitne vode, kot tudi zanesljivost zdravstvene neoporečnosti. Noben drug ukrep, ki ga uvedemo kasneje na primer v vodohranu ali na omrežju, ni tako učinkovit in zanesljiv, kot zaščita območja vira pitne vode.

Kolikor je le mogoče je potrebno vodni vir zaščititi pred onesnaženjem s človeškimi in živalskimi odpadki, ki vsebujejo različne vrste bakterij, virusov in parazitov. V primeru pomanjkljivosti pri varovanju vira pitne vode ali pa neustrezne obdelave pitne vode preden ta pride do porabnika, močno poveča nevarnost izbruha masovnih obolenj, ki jih povzročajo mikroorganizmi. Najbolj občutljive skupine prebivalstva so dojenčki in mali otroci, prebivalci, ki živijo v higiensko neustreznih prostorih, bolniki in starejše osebe. Za te skupine prebivalcev so infektivne doze (število mikroorganizmov, ki so potrebni, da premagajo obrambni sistem človeka in povzročijo obolenje) nižje, kot za ostalo prebivalstvo.

Ocena tveganja za zdravje, ki je povezano z **mikrobiološkim onesnaženjem**, je zahtevna naloga. Predvsem zato, ker niso nikoli v celoti poznani podrobni epidemiološki podatki o obolevanju, poleg tega pa so številni dejavniki, ki vplivajo na stopnjo obolevanja. Na splošno velja, da je največje tveganje za pojav obolenj takrat, kadar je voda kontaminirana s človeškimi ali živalskimi iztrebki. Potencialne posledice zaradi mikrobiološke kontaminacije so tako pomembne, da je potrebno zagotoviti stalni nadzor nad kvaliteto vode, da bi lahko pravočasno ukrepali v smeri sanacije vodnega vira, kadar pokažejo rezultati raziskav nedopustno stopnjo mikrobiološke obremenjenosti.

Zdravstveno tveganje, ki je posledica **kontaminacije vode z določenimi kemičnimi** snovmi se razlikuje od tveganja, ki je posledica mikrobiološke onesnaženosti pitne vode. Razen v primeru masovne kontaminacije, ki jo poznamo ob nezgodnih izpustih, obstaja le nekaj kemičnih snovi, ki lahko povzročijo akutne zdravstvene težave, če jih zaužijemo z vodo. Poleg tega pa kažejo izkušnje, da ima voda v primeru kemične kontaminacije tudi spremenjen vonj, barvo in okus in je zaradi tega za potrošnike neužitna in zavračajo uživanje take vode.

Zaradi dejstva, da kemična kontaminacija vode običajno ne povzroča akutnega (takojšnega) poslabšanja zdravja, je ta vrsta kontaminacije po prioriteti za mikrobiološko, pri kateri pride lahko do takojšnega poslabšanja zdravja potrošnikov oporečne vode. Problemi, ki so povezani s kemičnimi snovmi v vodi izvirajo predvsem iz dejstva, da dolgotrajno uživanje teh snovi lahko povzroči negativne

zdravstvene posledice, zlasti takrat, kadar imajo te snovi kumulativni toksični učinek (na primer kovine svinec, kadmij), ali snovi, ki so povezane z razvojem rakastih obolenj.

Arzen

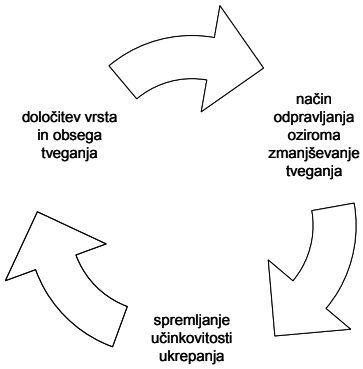
V povezavi s pitno vodo je potrebno omeniti tudi arzen, ki povzroča raka na koži, na pljučih in drugih organih. Glavni vir izpostavljenosti arzenu preko okolja je uživanje kontaminirane vode. Velika izpostavljenost arzenu preko pitne vode na območju, Aljaske, Argentine, Bangladeša, Čil, Indije, Mehike, Mongolije, Tajvana in ZDA je vodila do povečanega tveganja za razvoj raka mehurja, kože in pljuč. Podatki o drugih vrstah raka, kot naprimer na jetrih, črevesju ali ledvicah so manj jasni ampak kljub temu nakazujejo, da gre za sistemski učinek. Raziskave, ki so jih vodili na območjih, kjer je bila vsebnost arzena višja od 20 µg/l so pokazale tesno povezanost s pojavom teh sprememb. Tveganje za pojav raka pri nižjih koncentracijah, na primer 5 µg/l, ki mu je izpostavljenih 5 % prebivalcev Finske, ni bilo ugotovljeno, našli pa so povečano tveganje za raka mehurja.

Zaradi uporabe kemičnih sredstev za dezinfekcijo vode nastajajo stranski produkti, med katerimi so nekateri za zdravje škodljivi. Vendar pa je potrebno ob tem poudariti, da je tveganje, da bo zaradi teh novo nastalih spojin prišlo do obolevanja, neprimerno manjše kot pa tveganje da pride do okužbe in obolenja zaradi uživanja mikrobiološko oporečne vode, če bi dezinfekcijo vode opustili.

Pri ocenjevanju kvalitete pitne vode se potrošnik naslanja predvsem na organoleptično značilnosti vode. Sestavine vode lahko vplivajo na izgled, vonj ali okus vode in potrošnik ocenjuje primernost vode predvsem na osnovi teh kriterijev. Vodo, ki je motna ali ima okus oziroma vonj, bodo potrošniki zavračali, četudi morda mikrobiološko in kemično ni nevarna za uživanje. Zaradi tega je izredno pomembno poskrbeti zato, da ima voda take organoleptične lastnosti, ki so za potrošnike sprejemljive.

Oskrba s pitno vodo

Oskrba s pitno vodo je dinamičen sistem, ki zahteva stalno opazovanje in ukrepanje v smislu izboljšanja oziroma povečane zanesljivosti. Ponazorimo ga lahko s povratnim krogom v katerem so glavni elementi (slika 1).



Slika 3-5: Temeljni pristop za zagotavljanje varne oskrbe s pitno vodo

Pri oskrbi s pitno vodo je pomembno, da upravljalec sistema izdela ustrezen načrt. Načrt je seveda individualen, za vsak sistem za oskrbo s pitno vodo poseben, vendar se vedno nanaša na vzpostavljanje vseh nivojev zaščite pitne vode pred onesnaženjem in vključuje:

- zaščito virov pitne vode;
- nadzor postopkov priprave pitne vode;
- ukrepe za ustrezno distribucijo pitne vode in
- predlog postopkov za varno ravnanje s pitno vodo pri potrošniku.

Za varovanje zalog in zdravstvene ustreznosti pitne vode so določeni varstveni pasovi, ki upoštevajo geološke in hidrološke razmere, kakovost in izdatnost, tehnični način rabe ter vrsto in položaj zajetja. Velikost vodovarstvenih pasov je odvisna od vrste vodnega vira ter od bližine in vrste možnih onesnaževalcev. Za vsak vodni vir je treba posebej določiti varstvene pasove, potem ko pretehtamo vse dejavnike okolja, ki lahko vplivajo na kakovost vode. Razlikujemo tri, po obsegu različna območja, za katera veljajo posebno stroga pravila. Območje najožjega varstvenega pasu mora biti ograjeno, kar preprečuje dostop nepooblaščenim osebam ter divjim in domačim živalim (preglednica 3).

Ob pripravi načrta je potrebno upoštevati naslednje principe:

- zaščita pred neposrednim ogrožanjem zdravja zaradi potencialne kontaminacije pitne vode s patogenimi mikroorganizmi ali toksičnimi koncentracijami kemičnih snovi,
- zaščita pred vplivom škodljivega delovanja kemikalij, ki so krajši čas prisotne v pitni vodi v višjih koncentracijah,

- zaščita pred uživanjem škodljivih snovi, ki smo jim izpostavljeni v nižjih koncentracijah celo življenje,
- zaščita pred kontaminacijo vode do katere bi lahko prišlo zaradi lastnosti omrežja.

Preglednica 6-5: Vrste in zaščite vodniovrastvenih območij

	OBMOČJE VAROVANJA	***UKREPI***
1.	*Najožji varstveni pas z najstrožjim režimom varovanja*	*Prepoved granjei določenih objektov (proizvondni obrati, ceste, skladišča nevarnih snovi, odlagališča odpadkov ipd.)* *Prepoved intenzivne kmetijske in industrijske dejavnosti* *Kanalizacijsko omrežje mora biti izvedeno neprepustno*
2.	*Ožji varstveni pas s strogim režimom varovanja*	*Kot pod 1 ter spremljanje zdravstvene in epidemiološke situacije*
3.	*Širši varstveni pas s higiensko tehničnim režimom zavarovanja*	*Ni dovoljeno opravljati dejavnosti, ki bi lahko ogrozila kvaliteto vodnega vira, kot so: uporaba gnojil, biocidov in drugih kemikalij* *Prepovedana je gradnja stanovanjskih ali gospodarskih objektov, gradnja čistilnih naprav, skladišč nafte in tekočih derivatov* *Ni dovoljena uporaba gnojevke* *Prepovedana je gradnja prometnih poti, kamnoloma ter odpiranje gramoznic, odvažanje zemlje, odlaganje odpadkov ali gradnja živinorejskih farm*

Absolutno prioriteto ima ukrepanje za zaščito pred onesnaženjem pitne vode s patogenimi mikroorganizmi. Pri tem je potrebno posebno pozornost nameniti takojšnjim aktivnostim in postopkom, ki jih je potrebno izvesti v primeru, da je katera od uvedenih zaščitnih barier, ki so postavljene zato, da bi do potrošnika pripeljali zdravstveno ustrezno pitno vodo, odpadla. Tradicionalni sistem je temeljil na razkuževanju pitne vode in ugotavljanju prisotnosti indikatorskih mikroorganizmov, ki so nam povedali ali deluje ali je dezinfekcija učinkovita. Pri tem je seveda težava v tem, da je potreben za odvzem in analizo odvzetih vzorcev čas, tako da je voda, ki je bila zdravstveno neustrezna že prišla v omrežje in v trenutku odvzema vzorca ni jasno, ali voda vsebuje škodljive patogene mikroorganizme ali ne.

Drugo področje, kjer je potreben zelo hiter odziv pa je področje kemičnega onesnaženja virov pitne vode. Gre za ukrepe zmanjševanja tveganja za onesnaženost z zelo toksičnimi snovmi ali pa za onesnaženost z drugimi kemikalijami, ki sicer niso tako zdravju nevarne, pa vseeno motijo potrošnike pitne vode, ki zaradi tega tudi izgubljajo zaupanje v varnost sistema za preskrbo s pitno vodo. Tveganje je lahko veliko v primeru, da gre za površinski vir pitne vode, še posebej kadar je gorvodno postavljena kakšna industrijska dejavnost, ki bi lahko nenamerno v vir pitne vode spustila nevarne kemikalije. Stalno spremljanje površinskih voda, ki predstavljajo vir

pitne vode, do neke mere pomaga pri hitrem odkrivanju dejanske ali potencialne nevarnosti za zdravje.

Naslednja prioriteta je zaščita pred kemikalijami, ki lahko, čeprav so prisotne v netoksičnih koncentracijah, povzročajo določene škodljive posledice na zdravje. Primer za to so lahko nitrati, ki pri zelo malih otrocih povzročijo methemoglobinemijo in negativno vplivajo na intelektualni razvoj otrok. Prvi učinek torej methemoglobinemija, je lahko prepoznaven kadar je delež methemoglobina v krvi dovolj visok, da povzroči motnje v prekrvavitvi, medtem ko vpliva na slabši intelektualni razvoj pri posameznem otroku ni mogoče opaziti.

Normativi, ki se nanašajo na kratkotrajno izpostavljenost koncentracijam škodljivih snovi, ki povzročajo določene posledice na zdravju, so drugačni kot normativi, ki se nanašajo na snovi, ki smo jim izpostavljeni celo življenje. Pri tem predstavlja poseben izziv zaščita pred potencialnimi kancerogenimi snovmi, kjer praktično ni mogoče doseči nivoja za katerega bi lahko rekli, da nima škodljivega učinka.

Posebno zahtevno področje pa predstavlja omrežje. Omrežje je lahko vir kontaminacije pitne vode ali pa je zaradi poškodb ali dotrajanosti tista šibka točka, kjer lahko mikroorganizmi, pa tudi druge škodljive snovi prodrejo v pitno vodo. Tu je potrebno posebno pozornost nameniti tudi različnim filtrom, ki jih potrošniki uporabljajo za dodatno pripravo pitne vode, ki pa lahko sami po sebi predstavljajo pomembno tveganje za zdravje, saj so lahko vir mikrobiološkega, v nekaterih primerih pa tudi kemičnega onesnaženja pitne vode.

Na področju zagotavljanja varne oskrbe s pitno vodo se je uveljavil sistem večkratnih barier. V principu gre za to, da v vsakem delu sistema za oskrbo s pitno vodo z različnimi ukrepi povečujemo varnost oskrbe. V okviru posameznih faz oskre s pitno vodo so opredeljeni ukrepi za zmanjšanje verjetnosti onesnaženja vode oziroma za zmanjšanje že obstoječe onesnaženosti vode. Tak pristop v vsakem delu sistema oskrbe z vodo posebej zmanjšuje tveganja za to, da postane voda zdravstveno neustrezna. Dosežemo veliko večjo varnost vodooskrbe, saj v primeru, ko eden od teh ukrepov ni učinkovi, še vedno ostajajo drugi, ki prevzamejo vlogo zaščite.

Najpomembnejši ukrepi so:

- ocena ogroženosti vira pitne vode,
- priprava pitne vode,
- spremljanje indikatorjev onesnaženosti pitne vode,
- spremljanje kakovosti pitne vode po pripravi ter
- analiza tveganja na kritičnih kontrolnih točkah (HACCP).

Zelo pomembna je ocena varnosti vodnega vira. V okviru te ocene se predvidijo tudi ukrepe za zmanjševanje tveganja, ki so odvisni od vrste in velikosti tveganja. Ukrepi so ločeni za vsak del sistema: vodo-zbirno območje, shranjevanje vode pred pripravo vode, priprava vode (odstranjevanje delcev in zmanjševanje organske onesnaženosti, da bi dosegli čim manjšo koncentracijo stranskih produktov dezinfekcije) in dezinfekcija.

Priprava vode za pitje- kondicioniranje

Vodovod je sistem za oskrbo z vodo z urejenim in zavarovanim virom, zajetjem, zbiralnikom (vodohranom) in vodovodnim omrežjem. Cevi vodovodne napeljave so položene 1,5 do 2 m pod zemljo (toplotna izolacija in varnost pred poškodbami) ter 3 m stran od kanalizacijskih cevi in vedno nad njimi. Med objekte za oskrbo z vodo uvrščamo: kapnice, cisterne, razne vrste vodnjakov (izkopani, cevni, arteški idr.), zajetja, kaptaže, vodohrani oziroma rezervoarji in omrežje vodovoda.

Javni sistemi za oskrbo z vodo so posebnega pomena, saj morajo upravljalci teh sistemov upoštevati predpise, ki urejajo preskrbo prebivalstva s pitno vodo. Med javne sisteme za oskrbo s pitno vodo uvrščamo:

- sisteme ki oskrbuje najmanj pet gospodinjstev ali 50 oseb,
- sisteme, ki oskrbuje javne objekte,
- sisteme, ki oskrbujejo objekte za proizvodnjo in promet z živili,
- sisteme, ki oskrbujejo z vodo javna prometna sredstva.

Zelo redko je vir pitne vode tak, da zagotavlja stalno zdravstveno ustrezno in varno oskrbo z vodo. V večini primerov je potrebno vodo za pitje najprej pripraviti. Namen kondicioniranja vode je zaščita porabnikov pred kakršnim koli tveganjem za zdravje, ki bi bilo posledica prisotnosti bioloških ali kemičnih škodljivosti v pitni vodi.

Obseg in vrsta postopkov za pripravo vode zavisi od kvalitete vode na zajetju. Poleg tega je pomembno tudi **število prebivalcev**, ki jim je voda iz določenega zajetja namenjena. Kadar je število oseb zelo majhno, je pogosto bolj smotrno, da se namesto vlaganja velikih finančnih sredstev v sanacijo vodnega zajetja opravi kondicioniranje neposredno pred uživanjem (različni filtri) ali pa da prebivalci uporabljajo za uživanje ustekleničeno vodo.

S pomočjo kondicioniranja vode vplivamo na kakovost in varnost pitne vode v vseh delih vodooskrbnega sistem: na samem izvoru, med hranjenjem vode v rezervoarjih in med distribucijo po omrežju.

Za zmanjšanje tveganja za zdravje se običajno uporabljajo naslednji postopki priprave pitne vode za pitje:

- predhodna obdelava vode (zadrževanje vode v zbiralnikih, predhodna dezinfekcija),
- koagulacija, flokulacija, sedimentacija,
- hitra in počasna filtracija ter
- dezinfekcija.

Predhodna obdelava vode

Površinsko vodo, namenjeno za pitje, je mogoče zadrževati v zbiralnikih, kot so na primer jezera. Mikrobiološka kvaliteta vode se v zbiralnikih po določenem času močno izboljša. Vzrok za izboljšanje je posledica sedimentacije, delovanja UV sevanja na površini vode, število mikroorganizmov pa se zmanjša tudi zaradi propada, ki je

posledica pomanjkanja ustreznih pogojev za razmnoževanje. Poleti se v treh do štirih tednih zmanjša število fekalnih indikatorjev, salmonel in enterovirusov celo za 99%.

V primeru, da vode ni mogoče zadrževati v zbiralnikih, pride v poštev predhodna dezinfekcija s klorom. Klor uniči velik del bakterij, virusov in parazitov, zmanjša pa tudi število modrozelenih alg, ki otežujejo koagulacijo in filtracijo. Slaba stran predhodne dezinfekcije je, da obstaja večja verjetnost nastanka kloriranih organskih spojin, za katere je znano, da lahko povečajo tveganje za razvoj raka.

Koagulacija, flokulacija, sedimentacija

Koagulacija vključuje dodajanje kemičnih snovi kot so aluminijev fosfat, železov sulfat ali železov klorid, ki nevtralizirajo električni naboj delcev v vodi, to pa pospešuje njihovo aglomeracijo, do katere pride med počasnim mešanjem vode v fazi flokulacije. Flokuli sprejemajo nase in absorbirajo elemente, ki obarvajo vodo (mineralne delce), pa tudi mikroorganizme. Tako ima flokulacija izredno pomembno vlogo pri izboljšanju organoleptičnih in mikrobioloških lastnosti vode.

V procesu sedimentacije se posamezni flokuli posedejo na dno. Hitrost usedanja je odvisna od njihove velikosti, oblike in teže. Pomemben pa je tudi čas zadrževanja vode v bazenih (rezervoarjih), hitrost pretoka, temperatura vode ter oblika dovodne in odvodne odprtine.

Hitra in počasna filtracija

Kadar gre za površinski vodni vir, je potrebno vodo najprej filtrirati. S filtriranjem skozi hitre peščene filtre odstranimo delce, ki jih filter zadrži. Zatem je včasih potrebno vodo voditi še preko filtrov z aktivnim ogljem, ki potegne iz vode organske spojine. Kadar je vodni vir podtalnica, odstranjevanje organskih delcev ni potrebno, je pa pogosto potrebno odstraniti mangan in železo, ki sta v topni obliki prisotna v talni vodi. Učinkovita metoda zmanjševanja koncentracije železa in mangana je ozonizacija, v okviru katere pride do spreminjanja topne oblike železa in mangana v netopno obliko. Tako pripravljena voda je primerna za dezinfekcijo.

Dezinfekcija

Dezinfekcija je zadnja in najbolj pomembna faza priprave vode. Večinoma se za kemijsko dezinfekcijo uporabljajo klor, klor dioksin ali ozon. Dezinfekcija s klorom je zaenkrat najboljše zagotovilo za mikrobiološko varno vodo, saj ozoniranje vode na izvoru ne ščiti pred posledicami naknadnega onesnaženja v omrežju.

Klor

Izkušnje, ki jih imamo v Sloveniji, so pokazale, da je minimalna koncentracija aktivnega klora, ki še uničuje koliformne bakterije 0,3 mg/l, ob predpostavki seveda, da voda ni obremenjena z drugimi organskimi delci. Da bi zagotovili ustrezno vodo tudi pri zadnjem odjemnem mestu v omrežju, je potrebno na začetku dozirati nekoliko višjo koncentracijo klora, običajno do 0,5 mg/l. Učinkovitost klora je odvisna od:

- pH vode (optimum v kislem zaradi manjše disociacije hipoklorne kisline)
- bistrosti vode (čim bolj je voda motna, tem več klora je potrebno dodajati)
- temperature vode (pri višji je učinek boljši)

Kadar je omrežje dotrajano in okvarjeno prihaja lahko do onesnaženja pitne vode tudi v primeru, da je vodja klorirana, saj so količine klora prenizke, da bi lahko uničil mikroorganizme, ki v netesnem delu prihajajo v omrežje.

Sam klor sicer, celo v koncentraciji do 2 mg/l vode (10x večja koncentracija, kot jo imamo običajno v vodi), nima neposrednega **škodljivega vpliva na zdravje**, lahko pa se, kadar je prisotno onesnaženje vode, tvorijo nove spojine, ki bi ob dolgotrajnem uživanju skozi desetletja, lahko imele negativen vpliv na zdravje. Vendar je tveganje, da bo prišlo do škodljivih učinkov na zdravje zaradi dodajanja klora pitni vodi, neprimerljivo manjše, kot če voda ne bi bila razkužena, saj v tem primeru grozi stalna nevarnost epidemije nalezljivih bolezni. V epidemiji, ki je posledica uživanja zdravstveno neustrezne pitne vode, vedno zboli večje število ljudi, najbolj pa so ogroženi otroci, bolniki in starejše osebe.

Klor učinkuje baktericidno, ne uniči vseh virusov in tudi ne bakterijskih spor. Enterovirusi in ciste protozov so mnogo bolj odporne na klor kot koliformne in druge bakterije. Potreben kontaktni čas z vodo znaša 30 minut in je odvisen tudi od koncentracije klora v preparatu.

Po zaključeni fazi dezinfekcije (prosti klor reagira z organskimi delci) ostane v vodi **rezidualni klor**, ki učinkuje v primeru sekundarne kontaminacije vode v vodovodnem omrežju. Rezidualni ostane v vodi kot neuporabljen prebitek, ko je voda že dezinficirana.

V primerih prekomernega onesnaženja ali nevarnosti za onesnaženje, uporabljamo postopek hiperkloriranja vode, pri katerem je doza uporabljenega klora 5 do 10 krat večja od običajne. Vodo hiperkloriramo:

- če je naključno ali namerno bakteriološko onesnažena,,
- če je na območju, ki ga sistem oskrbuje z vodo, prišlo do epidemije črevesnih nalezljivih bolezni,
- če voda pred uporabo ali pri transportu dalj časa stoji
- če je onesnažena z mikroorganizmi, ki so odporni na običajne doze klora (sporogene bakterije, paraziti idr.),
- če ima neprimeren vonj ali okus,
- v izrednih razmerah (poplave, potres).

Pitno vodo je potrebno klorirati optimalno, posebno zaradi prej omenjenih kloriranih organskih spojin (na primer: trihalometani, nehlapni halogenirani hidrokarbonati idr.), ki imajo kancerogeni ali mutageni učinek. Tvorbo teh snovi pa lahko tudi močno zmanjšamo. To dosežemo z učinkovitim **varovanjem vodnega vira, ustrezno pripravo vode ter s sanacijo omrežja**. S temi aktivnostmi namreč zmanjšamo prisotnost

mikroorganizmov in drugih organskih delcev v vodi, voda je zato bolj varna za pitje, hkrati pa nastane manj novih spojin, ki so zdravju nevarne. Zaradi tega je potrebno manjše dodajanje klora, kar pa izboljša tudi vonj in okus vode. Okus po kloru je namreč predvsem posledica vezanega klora, torej tistega, ki je že reagiral z mikroorganizmi in drugimi nečistočami v vodi, medtem ko je prag zaznavanja aktivnega (prostega) klora v vodi bistveno višji.

Ozon

Ozon lahko učinkuje zelo hitro - kontaktni čas je 4 do 20 minut. Delovanje ozona ni odvisno od pH vode. Pri uničevanju nekaterih bakterij in virusov je učinkovitejši od klora, odstranjuje tudi vonj in neprijeten okus vode. Razgrajuje fenole, detergente in druge organske spojine ter izloči iz vode Fe, Mn, proteine in aminokisline.

Njegova pomanjkljivost je v tem, da nima depojnega oziroma rezidualnega učinka in s tem ne omogoča zaščite vode ob morebitnem ponovnem onesnaženju v vodovodnih ceveh. Poleg tega pa tudi uporaba ozona lahko vodi do nastanka zdravju škodljivih snovi, ki nastajajo kot toksični razpadni produkti pri oksidaciji. Ozon je po uporabi potrebno odstraniti (»izgnati«) iz vode, preden se ta začne uporabljati.

Kriteriji za izbiro indikatorjev onesnaženosti pitne vode

Kvaliteto vode je potrebno spremljati s kemičnimi, mikrobiološkimi, biološkimi in radiološkimi preiskavami.

Z vidika tveganja za zdravje predstavlja voda, ki je **kemično** onesnažena, sorazmerno majhno tveganje za zdravje. Zdravstvene posledice bi se pojavile le v primeru dolgotrajnega uživanja take vode. Če pa pride do velikega kemičnega onesnaženja vode ima voda neprijeten vonj in okus, zato je ljudje ne uživajo.

Nasprotno pa lahko povzroči **mikrobiološka** onesnaženost takojšnje obolevanje vseh, ki so tako vodo uživali, zato smatramo, da predstavlja mikrobiološka onesnaženost vode veliko tveganje za zdravje. Patogeni organizmi s v številnih lastnostih razlikujejo od kemičnih snovi. So diskretni in ne v raztopini. V vodi so večkrat v skupkih in sprijeti z suspendiranimi delci, zato verjetnosti okužbe ni mogoče predvideti na osnovi določitve njihove povprečne koncentracije v vodi. Verjetnost pojava bolezni, ki sledi okužbi s patogenimi organizmi v vodi je odvisna od invazivnosti in virulence mikroorganizmov na eni strani ter odpornosti gostitelja na drugi strani. Ko pride do okužbe, se povzročitelji v gostitelju razmnožujejo. Nekateri pa se lahko razmnožujejo tudi v hrani in pijači, s tem pa je verjetnost širjenja okužbe še povečana. Zaradi takih lastnosti povzročiteljev nalezljivih bolezni, v vodi, ki je namenjena za pitje, pripravo hrane ali osebno higieno ne sme biti povzročiteljev nalezljivih bolezni.

Spoznanje, da fekalna onesnaženost pitne vode lahko povzroči širjenje nalezljivih bolezni, je bilo osnova za razvoj občutljivih metod za rutinsko preiskovanje vode, da bi na ta način preprečili, da bi bila voda, ki je namenjena za uživanje, fekalno onesnažena. Čeprav je s sodobnimi metodami mogoče odkriti v vodi najrazličnejše

patogene organizme(organizme, ki povzročajo bolezen), pa je zaradi kompleksnosti in zahtevnosti teh preiskovalnih metod to nesmotrno. Veliko bolj sprejemljiv je pristop, ko z relativno enostavnimi metodami ugotavljamo v vodi prisotnost klic, ki so tudi običajno prisotne v človeških in živalskih izločkih. Prisotnost teh klic v pitni vodi pomeni, da je voda fekalno onesnažena, iz česar sledi, da so lahko prisotni tudi drugi patogeni organizmi, ki jih z blatom izločajo ljudje ali živali. Obratno, torej če v vodi ni indikatorjev fekalnega onesnaženja vode, pa to pomeni, da ***verjetno*** tudi drugih patogenih organizmov ni.

V primeru, da so ugotovljene fekalne koliformne bakterije je mogoče sklepati, da je bila voda kontaminirana. V takem primeru vodo ocenimo kot **neprimerno za pitje**. Kadar indikatorskih organizmov ni, lahko ocenimo, da je voda primerna za pitje. Pri tem še vedno obstaja majhna nevarnost, da je voda kontaminirana z organizmi, ki niso fekalnega izvora, zlasti z virusi in paraziti, vendar pa je to tveganje izredno majhno in lahko vodo, ki ne vsebuje indikatorskih organizmov, ocenimo kot mikrobiološko ustrezno.

Nadzor nad kakovostjo pitne vode

Nadzor nad kvaliteto pitne vode iz javnih vodovodov (za javne vodovode štejejo vodovodi, ki preskrbujejo več kot 50 uporabnikov) poteka v Sloveniji na treh ravneh:

1. Upravljavci sistemov za oskrbo s pitno vodo so za zagotavljanje skladnosti in zdravstvene ustreznosti pitne vode dolžni izvajati **notranji nadzor**, ki temelji na analizi tveganja zaradi mikrobioloških, kemijskih in fizikalnih agensov, ki lahko predstavljajo potencialno nevarnost za zdravje ljudi (HACCP). Poleg laboratorijskih analiz vključuje notranji nadzor tudi izvajanje ukrepov in spremljanje njihove učinkovitosti. O kvaliteti pitne vode na posameznem vodovodu so upravljavci dolžni obveščati uporabnike enkrat letno.

2. Poleg notranjega nadzora, za katerega so odgovorni upravljavci sistema za oskrbo s pitno vodo, pa poteka v Slovenji še kontrola kvalitete pitne vode na vseh javnih vodovodih v Sloveniji v okviru **državnega monitoringa pitne vode**, ki ga financira država iz proračuna. Tako dobljeni podatki o kvaliteti pitne vode so javni (http://www.gov.si/pitna-voda/).

3. Tretja vrsta nadzora je uradni nadzor, ki ga izvaja Zdravstveni inšpektorat republike Slovenije, namenjen pa je preverjanju ali upravljalci ustrezno in uspešno obvladujejo problematiko oskrbe prebivalstva s pitno vodo in zagotavljajo odjemlcem zdravstveno neoporečno pitno vodo.

Nadzor nad pitno vodo vključuje:

- terenski pregled sistema za oskrbo s pitno vodo
- mikrobiološke preiskave,

- fizikalne preiskave,
- kemijske preiskave,
- biološke preiskave ter
- radiološke preiskave.

Mikrobiološke preiskave vode

Čeprav so danes poznane številne preiskovalne metode, ki omogočajo ugotavljanje prisotnosti posameznih povzročiteljev v pitni vodi, pa se v rutinskih preiskavah pitne vode ne uporabljajo, saj bi take preiskave vzele preveč časa in denarja. Izkušnje so pokazale, da je ugotavljanje prisotnosti indikatorjev fekalnega onesnaženja v pitni vod dovolj zanesljiva metoda za oceno kvalitete te vode. Kot indikator je lahko mikroorganizem, ki je vedno prisoten v fecesu ljudi in živali. Zanesljivost ocene higienske kvalitete vode je odvisna od pogostnosti preiskav. Čim pogostejše so preiskave, tem bolj je ocena zanesljiva in tem večje so možnosti, da zgodaj odkrijemo fekalno kontaminacijo vode in pravočasno ukrepamo. Indikatorji fekalnega onesnaženja pitne vode, ki predstavljajo nevarnost za uživanje so:

Escherichia coli (določamo stalno)
Streptokoki fekalnega izvora (določamo občasno)
Pseudomonas aeruginosa (določamo občasno)
Sulfitreducirajoči klostridij (določamo občasno)
Salmonele (določamo občasno)
Šigele (določamo občasno)

Za skupno število aerobnih mezofilnih bakterij je mogoče v določenem časovnem obdobju tolerirati odstopanje od normativov do 10% neustreznih vzorcev, za število skupnih koliformnih bakterij do 5%, nikoli pa ne smejo biti v nobenem vzorcu prisotne bakterije E. coli niti katerikoli drugi patogeni mikroorganizmi.

Patogenih klic v vodi rutinsko običajno ne iščemo – razen med epidemijami ali v raziskovalne namene, ker jih relativno težko odkrijemo in ker so te vrste preiskav zamudne in drage.

Virološka analiza vode

Virološke analize vode je potrebno opraviti občasno. V vodi najdemo občasno enteroviruse (polio, Coxsackie, Echo virus infektivnega hepatitisa idr.). Dokazujejo jih v specializiranih laboratorijih iz velikih količin vode in z nadaljnjim postopkom na živih celicah. Običajni postopki za dezinfekcijo vode ne uničijo nujno vseh virusov.

Kakovost pine vode v Sloveniji

V letu 2006 je bilo v okviru državnega monitoringa odvzetih 2857 vzorcev pitne vode iz javnih vodovodov. Delež neskladnih vzorcev zaradi mikrobioloških parametrov je bil 22,8%, zaradi neskladnih kemičnih parametrov pa 5,1%.

Sorazmerno visok delež mikrobiološko neustreznih vzorcev pitne vode je povezan z dejstvom, da je v Sloveniji oskrba s pitno vodo zelo razdrobljena in imamo izredno veliko število majhnih vodovodov. Značilno je namreč, da obstajajo velike razlike

med kvaliteto pitne vode iz velikih in malih vodovodov, še posebej tistih z manj kot 500 uporabnikov. Kvaliteta pitne vode je praviloma veliko boljša v velikih vodovodih. K bolj varni vodooskrbi iz velikih vodovodov doprinese tako ustreznejša tehnična ureditev, kot tudi strokovno usposobljeno osebje, ki skrbi za pripravo in distribucijo pitne vode iz teh vodovodov. Voda iz takih vodovodov je praviloma zelo dobre kvalitete in je mikrobiološko le izjemoma neustrezna. V primeru, da je rezultat preskusa pokazal prisotnost bakterij fekalnega izvora, upravljavec sistema poišče vzroke in jih odpravi.

Pri manjših vodovodih pa je, kot rečeno, zagotavljanje zdravstveno ustrezne pitne vode težje, saj pogosto vodovod nima takih možnosti priprave in ustrezne distribucije vode kot je to pri velikih.

Kupovanje pitne vode je v Sloveniji vedno bolj popularno, saj velja zaradi slabe informiranosti in poučenosti potrošnikov zmotno prepričanje, da je voda na pipi manj primerna za pitje. V resnici je to velikokrat napačna predpostavka. Potrošniki imajo danes vse možnosti, da se pozanimajo pri upravljavcu kakšni so rezultati notranjega ter državnega nadzora kakovosti pitne vode ki jo imajo v omrežju. Če so rezultati dobri, kar velja zlasti za velike sisteme oskrbe s pitno vodo, je zaskrbljenost, da je voda vir nevarnosti za zdravje, odveč. Voda na omrežju je zelo pogosto celo boljše kakovosti, saj je sveža in ne vsebuje primesi ali bakterij, ki bi ogrožale zdravje tudi najbolj občutljivih skupin prebivalstva. Ustekleničena voda ni vedno tako dobre kakovosti, še posebej ne, kadar je dolgo na prodajnem mestu.

Veliko bolj smiselno je, da si vsi skupaj prizadevamo za ohranjanje vodnih virov in za povečevanje varnosti oskrbe s pitno vodo, saj je to dolgoročna naložba, ki se bo obrestovala našim potomcem. Naravne danosti območja Slovenije glede pitne vode so izjemne in to prednost moramo izkoristiti.

Biološka analiza vode

Biološke preiskave je smiselna v primeru, ko se za pitno vodo uporablja površinska voda ali če se voda **organoleptično spremeni** in kaže, da so spremembe posledica bioloških vzrokov. Analiza poteka tako, da z mikroskopiranjem sedimenta iščemo v vodi **patogene organizme kot so: alge, glivice, protozoe, večcelične organizme, parazite, gliste, njihova jajčeca idr**. Specifični so za posamezne stopnje čistosti vode, ki jo na ta način lahko tudi določimo. Nekateri od njih so precej odporni na vse vrste dezinfekcije. Škodljiv je tudi plankton, ki pogosto kvari videz in kvaliteto vode.

Kemična analiza vode

Tisoče organskih in anorganskih kemičnih snovi je mogoče odkriti v pitni vodi, mnoge med njimi v izredno nizkih koncentracijah. Izredno težko je določiti standardne snovi, katerih prisotnost v pitni vodi bi bilo potrebno preverjati na posameznem območju. Pri izbiri parametrov se je potrebno odločiti za tiste, ki so za zdravje bolj škodljivi, za tiste, ki se pogosteje pojavljajo v pitni vodi ter za tiste, ki se pojavljajo v višjih koncentracijah. Nekatere kemične snovi se v vodi pojavljajo kot posledica kondicioniranja vode ali pa se izplavljajo iz cevovoda. Zmanjšanje vsebnosti teh snovi najlažje dosežemo z natančnim kondicioniranjem vode ter da za izgradnjo omrežja uporabljamo kvalitetne materiale, katerih sestavine se ne izplavljajo v vodo.

S kemično analizo vode določamo organske in anorganske snovi v njej ter ugotavljamo, ali so koncentracije teh snovi še sprejemljive in ne ogrožajo zdravja prebivalstva.

Radiološka analiza vode

Upoštevati je potrebno tudi nivo radiološke obremenjenosti pitne vode, ki je posledica prisotnosti naravnih radionuklidov, čeprav je, v normalnih razmerah, prispevek pitne vode k skupni radiološki izpostavljenosti prebivalstva majhen. Radiološke analize vode je potrebno opraviti občasno, predvsem takrat ko vodni vir še pručujemo ter seveda kadar pride do povečane količine radioaktivnih snovi v odpadnih vodah, ki bi lahko bile v stiku z viri pitne vode oziroma v primeru neposredne in posredne kontaminacije površinskih vod ob nesrečah v jedrskih reaktorjih (Černobil leta 1986).

ŽIVILA

Živila so osnovna potreba človeka. Vključena so v prehrano človeka in kot taka na eni strani predstavljajo vir potrebnih makro in mikro hranil ter tveganje za zdravje na drugi strani. Zdravje ljudi je v tesni povezavi s prehrano. Način prehranjevanja lahko deluje kot dejavnik tveganja, ki ogroža zdravje posameznika, oziroma kot zaščitni dejavnik, ki krepi zdravje in izboljša kvaliteto življenja. Epidemiološke, biokemijske in molekularno - biološke raziskave so pokazale povezavo med pojavnostjo in potekom določenih kroničnih bolezni in načinom življenja ter prehranjevanjem. Dokazano je, da spadajo dejavniki nezdravega življenjskega sloga (neustrezna prehrana, telesna nedejavnost, alkohol, tobak) med ključne vzroke za nastanek najpomembnejših kroničnih nenalezljivih bolezni: bolezni srca in ožilja, sladkorna bolezen, nekatere vrste raka, nekatere kronične pljučne bolezni, debelost in osteoporoza ter bolezni mišično-kostnega sistema. Zdrava prehrana ali zdravo prehranjevanje vključuje varno, energijsko in hranilno uravnoteženo ter varovalno hrano, ki ohranja in krepi človekovo zdravje. Varno živilo je tisto, ki ob predvideni uporabi **ne predstavlja** nevarnosti za potrošnikovo zdravje in ne vsebuje bioloških, kemijskih in fizikalnih dejavnikov tveganja.

Z vidika zakonodaje in stroke pojmujemo živilo skladno z določbo FAO (Food Agriculture Organisation)/WHO (World Health Organisation) kot snov, ki je predelana, polpredelana ali nepredelana in je namenjena za prehrano ljudi. V to skupino uvršča tudi katerokoli snov, ki je bila vključena v predelavo, dodelavo ali končno pripravo živila/hrane. Zakonodaja Evropske unije pa definira živilo kot vsako snov ali izdelek, v predelani, delno predelani ali nepredelani obliki, namenjeno za uživanje. K živilom sodijo tudi pijača, žvečilni gumi in vse snovi, vključno z vodo, dodane v živilo med izdelavo, pripravo ali obdelavo živila.

Evropska skupnost posveča varnosti hrane posebno pozornost, kar se kaže v ustanovitvi posebnega generalnega direktorata Evropske komisije (DG SANCO), ter ustanovitvi Evropske agencije za varnost hrane (EFSA). EFSA je neodvisna znanstvena organizacija, ki zbira in analizira podatke o varnosti živil, ugotavlja in spremlja tveganja, ki imajo neposreden ali posreden vpliv na varnost živil in krme, pripravlja znanstvena mnenja in nasvete za zakonodajo ter opozarja na tveganja. EFSA kot centralna institucija skrbi za izvajanje procesov ocene tveganja, posodabljanje in poenotenje predpisov, ki urejajo obvladovanje tveganj na področju varnosti živil. Slovenija je kot članica EU prevzela sistem zagotavljanja varnosti živil/hrane ter vse predpise, ki jih udejanja v strateškem načrtu varnosti živil/hrane.

Oskrba z varno hrano, ki ne ogroža zdravja potrošnikov preko fizikalnih, kemičnih, bioloških ali drugih vrst onesnaževal, je temelj zdrave prehrane in pomemben

dejavnik varovanja zdravja kot javnega interesa. Podatki o zdravstveni ustreznosti živil zbrani na osnovi rednega programiranega uradnega (inšpekcijskega) nadzora nad živili v javnih zdravstvenih ustanovah in na osnovi prijavljenih alimentarnih epidemij kažejo, da kot najpogostejši vzrok zdravstvene neustreznosti živil v Sloveniji prevladuje mikrobiološko onesnaženje živil, medtem ko prekomerno kemijsko onesnaženje trenutno ne predstavljalo večjega zdravstvene grožnje. Strateški dokumenti v zvezi s prehransko politiko EU poudarjajo pomen zagotavljanja varne hrane vzdolž celotne živilske verige »od polja do krožnika« po načelu sledljivosti. Krovni dokument, ki v Evropski uniji ureja področje varnosti živil, je ***Bela knjiga o varnosti živil* iz** leta 2000. Pomemben dokument iz tega področja je še ***Resolucija o varnosti hrane,*** ki je bila sprejeta na skupščini Svetovne zdravstvene organizacije in je usmerjena v področje varnosti hrane/živil. Omenjena resolucija poudarja pomen trajnostne preskrbe z živili ter sistem zagotavljanja varnosti živil/hrane, ki je usmerjen v zmanjševanje tveganja za zdravje v celotni živilski verigi, od pridelovalca do potrošnika. Skladno z Zakonom o zdravstveni ustreznosti živil in izdelkov ter snovi, ki prihajajo v stik z živili so zdravstveno ustrezna oziroma varna, če:

- ne vsebujejo mikroorganizmov ali parazitov oziroma njihovih razvojnih oblik ali izločkov, ki lahko škodljivo vplivajo na zdravje ljudi,
- ostanki pesticidov in zdravil za veterinarsko uporabo, ki so na osnovi dobre kmetijske in veterinarske prakse pričakovana posledica uporabe teh snovi v postopkih pridelave kmetijskih pridelkov oziroma surovin živalskega izvora, ne presegajo najvišje dovoljene koncentracije,
- ne vsebujejo strupenih kovin, nekovin, drugih kemičnih onesnaževalcev iz okolja ter strupenih in drugih snovi v koncentracijah, ki lahko škodljivo vplivajo na zdravje ljudi,
- ne vsebujejo aditivov, ki niso dovoljeni za proizvodnjo živil ali ne izpolnjujejo pogojev čistosti oziroma če njihova količina ne presega dovoljene,
- če ostanki pomožnih tehnoloških sredstev oziroma drugih snovi, ki se uporabljajo v proizvodnji živil, ne presegajo najvišje dovoljene koncentracije, oziroma ne vplivajo škodljivo na zdravje ljudi,
- ne vsebujejo radionuklidov nad dopustno mejo ali niso obsevana nad mejo, določeno s predpisi, oziroma pod mejo učinkovitosti obsevanja,
- niso mehanično onesnažena s primesmi ali tujki, ki so lahko škodljivi za zdravje ljudi, povzročajo odpor pri potrošnikih ali neposredno ogrožajo zdravje,
- je njihova sestava, ki lahko vpliva na biološko in energijsko vrednost živila, v skladu s predpisanimi pogoji,

- niso njihova sestava ali organoleptične lastnosti (okus, vonj, videz) zaradi fizikalnih, kemičnih, mikrobioloških ali drugih procesov tako spremenjene, da so neuporabna glede na njihov namen,
- je njihov rok uporabnosti čitljiv in ni pretečen,
- so živila živalskega izvora označena z oznako zdravstvene ustreznosti.

Živila ne smejo v promet, oziroma ne smejo biti v prometu, če vsebujejo onesnaževala oziroma druge snovi, škodljive za zdravje, oziroma jih vsebujejo v količinah, ki lahko ogrožajo zdravje na osnovi analize in ocene tveganja, ki ga onesnaževala oziroma druga snov lahko predstavlja za zdravje ljudi. *Varno živilo/hrana* ne sme vsebovati bioloških, kemijskih in mehanskih onesnaževal ter radionuklidov, ki se pojavljajo kot posledica nehigienske priprave hrane, industrijskega onesnaženja okolja ter agrotehničnih in tehnoloških postopkov v pridelavi ali predelavi živil v količinah, ki bi ogrožale zdravje človeka.

Viri in poti onesnaževanja hrane

Obvladovanje področja varnosti živil (food safety) vključuje zakonodajo, znanstvene ter strokovne principe, ki temeljijo na zagotavljanju varnosti surovin, dodatkov, pomožnih sredstev in embalažnih materialov ter vseh tehnik, ki se uporabljajo pri pridelavi oziroma predelavi živil/hrane ter pri njihovem transportu in prodaji.

Za pridelavo in predelavo varnih živil je potrebno poznati tveganja, ki so jim živila izpostavljena v celotni verigi od osnovne surovine do končnega izdelka na krožniku. Prav tako je potrebno prepoznati vzroke za tveganja, poznati vpliv na končno varnost živila in zdravje potrošnika ter poznati ukrepe za obvladovanje oziroma preprečevanje tveganj. Vzroki za nastanek okoljskih tveganj v smislu varnosti živil so biološki (patogene bakterije, paraziti, virusi), kemijski (ostanki pesticidov, težkih kovin, zdravil, detergentov, nedovoljenih aditivov in drugih strupenih snovi) ter fizikalni dejavniki tveganja (tujki, radiacija).

Skladno s slovensko zakonodajo je onesnažilo (kontaminant) katerikoli biološki, kemični, fizikalni ali radiološki agens, ki je prisoten v živilu kot posledica postopkov pridelave kmetijskih pridelkov in surovin živalskega izvora, oziroma proizvodnje in prometa živil, ali kot posledica onesnaženja iz okolja.

Pri opredeljevanju varnosti živil se upoštevajo naslednji kriteriji:

- postopki pridelave, predelave in distribucije,
- običajni pogoji uporabe živila s strani potrošnika in pri vsaki fazi pridelave, predelave in distribucije,
- informacije, ki jih je potrošnik prejel, vključno z navedbami na oznaki, ali druge informacije, ki so običajno na voljo potrošniku o preprečevanju posebnih neželenih vplivov nekega živila ali skupine živil na zdravje,

- verjetni takojšnji in/ali kratkoročni učinki na zdravje potrošnika,
- verjetni komulativni toksični učinki,
- posebna zdravstvena preobčutljivost skupin potrošnikov, kadar je živilo namenjeno tej skupini.

Preglednica 7-5: Onesnaženje živil; viri in negativni učinki na zdravje (Philp, 1995; Rejmer, 1997)

Onesnaženje živil	**Viri**	**Škodljivi učinki na zdravje**
Toksične kovine		
Kadmij (Cd)	Industrija (nekovinska metalurgija) Kmetijstvo (fosforna gnojila)	Poškodbe ledvic, jeter in kostnega sistema Rak na prostati
Svinec (Pb)	Industrija Transport (svinec v gorivu) Posoda, konzervirana hrana	Motnje v sintezi beljakovin Anemija Nevrološke in cerebralne spremembe
Živo srebro (Hg)	Kemična, elektrokemična in industrija barv Kmetijstvo (razkuževanje semen)	Paraliza živčnega sistema Mutageni in teratogeni učinki
Arzen (As)	Kovinska industrija Naftne rafinerije Kmetijstvo (pesticidi)	Karcinogeni učinki Motnje metabolizma
Nitrati in nitriti	Kmetijstvo (nitritna gnojila) Predelava živil	Methemoglobinemija
Nitrozamini	Kmetijstvo (nitritna gnojila) Predelava živil	Karcinogeni učinki
Pesticidi, razkuževanje semen	Kmetijstvo (insekticidi, herbicidi)	Kronične intoksikacije Okvare živčnega in prebavnega sistem Karcinogeni učinki
Mikotoksini	Neustrezno hranjenje žit Intenzivna pridelava → glive v prsti pričnejo proizvajati mikotoksine	Močno toksični učinki Karcinogeni učinki
Poliklorirani bifenili (PCB)	Plastična embalaža Masti, barve, izolatorji Insekticidi	Toksični učinki na celoten organizem
Aromatski ogljikovodiki (na primer benzo(a)piren	Predelava živil (sušenje žit, prekajevanje) Onesnaženje iz industrije, transporta in komunalnih odpadkov	Karcinogeni učinki
Stimulatorji rasti rastlin (na primer holin klorid)	Kmetijstvo	Toksični učinki
Antibiotiki in hormoni	Vzreja živali	Metabolne motnje Zmanjšanje odpornosti Astma, anemija in alergije
Radioaktivni izotopi	Radioaktivne nesreče Poskusi z nuklearnim orožjem Medicina	Levkemija, rak Sevalna bolezen
Plastične snovi (monomeri)	Plastična embalaža (polipropilen, polistiren)	Toksični učinki

Biološki dejavniki onesnaževanja živil/hrane

Biološki dejavniki onesnaževanja živil/hrane predstavljajo skupaj s kemijskimi in fizikalnimi potencialno nevarnost za zdravje. Razumevanje njihove vloge ter njihovih značilnosti je osnova učinkovite analize dejavnikov tveganja v okviru HACCP sistemu (Hazard Analysis and Critical Control Point System) in za izvajanje učinkovite kontrole tveganj. Po poročilih strokovnega odbora Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) naj bi bile bolezni zaradi okužb z živili eden najbolj razširjenih zdravstvenih problemov v sodobnem svetu in pomemben vzrok za zmanjšano ekonomsko produktivnosti.

Do okužb živil lahko pride bioloških dejavnikov tveganja. Tveganje za pojav bioloških dejavnikov se pojavi kadar obstaja verjetnost, da je prisoten biološki povzročitelj okužbe živila v verigi predelave do zaužitja teh živil. Vsak živ organizem, ki se lahko naseli, živi ali raste v živilu ter proizvaja ali izloča toksične metabolite, oziroma potrebuje za svoj obstoj in razmnoževanje živega gostitelja, se lahko pojmuje kot biološki povzročitelj oziroma dejavnik tveganja.

Biološki dejavniki torej vključujejo žive organizme, katerih življenje je odvisno od notranjih (intrinzičnih) in zunanjih (ekstrinzičnih) dejavnikov v živilu. Notranji dejavniki se nanašajo na strukturo in sestavo živila, zunanji pa na parametre, ki vplivajo na živilo (temperatura, dostop kisika, prisotnost CO_2, tlak, vrsta pakiranja in embalaže, metode predelave).

Povzročitelji okužb z živili povzročajo vrsto različnih akutnih simptomov in stanj. Številni podatki kažejo na to, da je v zadnjih nekaj desetletjih prišlo do porasta incidence bolezni zaradi mikrobioloških okužb z živili (na primer salmoneloze in kampilobakterioze). V letu 1990, ko je bila izvedena raziskava v 11 evropskih državah, je bila ugotovljena stopnja okužb z živili 120/100.000 prebivalcev. Kasnejše raziskave v nekaterih evropskih državah pa kažejo na pojav gastroenteritisa pri vsaj 3000 prebivalcih na 100.000 vsako leto. Večina teh primerov izhaja iz okužb z živili.

Poleg javnega zdravstvenega problema pa okužbe z živili predstavljajo tudi pomemben ekonomski strošek. Po podatkih evropskega komisarja za javno zdravje salmoneloze v Evropi prizadenejo okrog 160.000 ljudi in povzročijo 200 smrti letno, kar predstavlja strošek 2,8 milijard EUR.

V živilih v splošnem najdemo tri glavne vrste mikroorganizmov:

- mikroorganizmi, ki prispevajo k spremembam živil, s čimer se izboljšajo senzorične lastnosti in/ali vzpostavi daljša obstojnost živila (na primer fermentirana živila: siri, nekateri mesni izdelki, vino, pivo),
- mikroorganizmi, ki v živilih povzročajo kvar - senzorične lastnosti živila se spremenijo v negativnem smislu in obstojnost živila se skrajša (na primer mlečnokislinske bakterije v pivu),
- mikroorganizmi, ki z zaužitjem z živili povzročijo negativne zdravstvene posledice; to so patogeni, ki

povzročajo bolezni zaradi okužb z živili, kjer se nahajajo (nekateri patogeni za vzdrževanje svojega življenjskega cikla nujno potrebujejo človeški organizem, drugi pa pridejo v stik z njim naključno, nekateri se prenašajo le preko živil, drugi pa tudi preko drugih poti).

Biološki dejavniki tveganja so lahko povzročitelji okužb na katerikoli stopnji predelave živil in jih delimo na mikrobiološke in makrobiološke. Med mikrobiološke spadajo mikroorganizmi in paraziti, med makrobiološke pa spadajo organizmi kot so insekti in manjši sesalci. Posredno pa lahko ti organizmi povzročijo okužbo živil s patogenimi mikroorganizmi kot je na primer *Salmonella*.

Okužbe z živili delimo tudi glede na način delovanja patogenov v živilu in človeškem organizmu:

- mikrobiološke toksikoinfekcije: mikroorganizem, zaužit skupaj z okuženim živilom se v gastrointestinalnem traktu naseli, raste in proizvaja ter izloča toksin,
- mikrobiološke intoksikacije: z živilom zaužijemo toksin mikroorganizma (biotoksin), ki ga je ta izločal v živilu pred zaužitjem.

V Preglednici 8-5 so prikazani najbolj pogosti mikroorganizmi, ki so odgovorni za biološko onesnaženje živil in hrane. Bolezen zaradi okužbe z živili nastane v povezavi s tremi dejavniki: infektivni agens, gostitelj ter okolje bivanja in je odvisna interakcij med infektivnim agensom in gostiteljem.

Preglednica 8-5: Mikrobiološka tveganja v povezavi z živili

Bakterije	Salmonella, Shigella, Yersinia enterolitica, E. coli, Enterobacter, Proteus, Citrobacter, Bacillus anthracis, Mycobacterioum bovis, Aerobacter, Serratia, Listeria monocytogenes, Campylobacter, Brucella, Aeromonas, Plesiomonas, Vibrio, Bacillus cereus, Staphylococcus aureus, Clostridium butulinum, Clostridium perfringens, Streptococcus pyogenes
Virusi	Virusi hepatitisa A, družina virusov Norwalk, rotavirsi, astrovirusi, calicivirusi, enterični adenovirusi in parvovirusi
Paraziti	Giardia lamblia, Entamoeba histolytica, Cryptosporidim parvum, Ascaris lumbricoides, Trichinella spiralis, Taneia solium, Taneia saginata, Diphylobothrium latum, Nanophyetus spp., Eustrongylides sp., Acanthamoeba in druge prostoživeče amoebae, Trichuris trichiura.
Prioni	BSE, TSE

Simptomi bolezni zaradi okužb z živili so odvisni od povzročitelja, načina izločanja njegovih toksinov in od zdravstvenega stanja gostitelja. Najpogosteje senalezljive bolezni zaradi okužb z živili kažejo z bruhanjem in diarejo (na primer *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, norovirusi). Nekateri mikroorganizmi povzročajo težje oblike bolezni pri ljudeh, zlasti tistih z oslabljenim imunskim sistemom (*Campylobacter jejuni*, *Cryptosporidium parvum*).

Niso pa vse oblike bolezni zaradi okužb z živili omejene le na gastrointestinalni trakt; nekateri mikroorganizmi (na primer posamezne vrste rodu *Salmonella* in toksinov *E. Coli*) povzročajo vročino, glavobole, odpoved ledvic, anemije in celo smrt; patogena *Listeria monocytogenes* in *Clostridium butulinum* sta toksična za centralni živčni sistem in fetus. Biotoksini (povzročajo intoksikacije) so odgovorni za nastanek tako akutnih kot tudi kroničnih bolezni. Kljub naknadni odsotnosti povzročiteljev biotoksini lahko obstanejo aktivni v organizmu. Med biotoksine štejemo toksine, ki jih proizvajajo bakterije (na primer butulin), plesni (na primer aflatoksini, patulin), dinoflagelati (ciguatoksin) in rastline (fitotoksini).

Salmonele in salmoneloza

Danes poznamo že preko 4000 različnih vrst te bakterije, ki je pri nas najpogostejši povzročitelj okužbe hrane. Klice pogosto živijo v živalih, zlasti v perutnini, ki je lahko bolna ali pa zdrava. Salmonele izločajo z blatom. Od tod tudi velika nevarnost da so jajca okužena s salmonelo. Salmonela lahko preživi preko 21 dni v živalskih iztrebkih, do 4 tedne v muhah, ki jo prenašajo, preko 50 dni v straniščih in okrog 1 leto v prsti in vodi.

Pri pripravi hrane se salmonele lahko prenašajo s surovih živil živalskega izvora na toplotno že obdelana živila in sicer preko orodja, delovnih površin, posode, z direktnim stikom ali preko neustrezno umitih rok zaposlenih.

Inkubacija bolezni je 6 - 72 ur, običajno pa je 12-36 ur. Znaki bolezni so: slabost, bruhanje, krčevite bolečine v trebuhu, huda driska in visoka temperatura. Bolezen traja več dni. Po tem, ko bolezenski znaki minejo, lahko prizadeti salmonele še dalj časa izločajo z blatom. V nekaterih primerih, zlasti če je bilo število zaužitih povzročiteljev nizko (za okužbo, ki ji sledijo znaki bolezni, je potrebno užiti nekaj tisoč salmonel) pa ostanejo okuženi tihi klicenosci.

Biološko onesnaženje živil/hrane

Do okužb živil lahko pride z uporabo surovin, ki so bile v stiku z okuženo vodo, zrakom ali prstjo. Okužbe se lahko pojavijo tudi med predelavo surovih živil ali pa med transportom surovin ali končnih izdelkov. Pomembne pa so tudi okužbe, ki nastanejo med samo pripravo hrane za uživanje.

Onesnaženje z vodo. V prehranjevalni verigi je voda neizogiben element, saj predstavlja pomembno vlogo v pridelavi in predelavi živil. Ker je voda pogostokrat v stiku s prstjo, v njej najdemo mikroorganizme, ki se nahajajo tudi v prsti: *Micrococcus, Alcaligenes, Corynebacterium, Pseudomonas, Acinetobacter, Aeromonas, Chrombacterium, Vibrio,*

Moraxella. (Bourgeois, 1988). V vodi se lahko pojavijo tudi plesni (*Aspergillus, Rhizopus* in *Botrytis*). Manj pogoste v vodi so kvasovke. Pojavljajo se tudi vrste *Giardia* in *Cryptosporidium*, ki sta iz vrst praživali ter virusi, kot sta Hepatitis A in Poliovirus. V vodi se pogostokrat najdejo enterobakterije in enterokoki fekalnega izvora (človeškega in živalskega): *E. Coli, Salmonella, Shigella* in *Campylobacter*. Te vrste mikroorganizmov imenujemo tudi koliformne bakterije (glede na pogoje rasti in preživetja) in jih določamo kot pokazatelje kontrole higienskega stanja. Poleg mikroorganizmov pa se v vodi lahko nahajajo tudi različne snovi, ki se uporabljajo v kmetijstvu (gnojila, pesticidi, veterinarska zdravila, gensko spremenjena semena, aditivi itd. V namen zaščite pred boleznimi, ki izvirajo iz okužb s onesnaženo vodo, so vodni viri v razvitih državah redno kontrolirani in vzdrževani, večje pa so težave s pojavi tovrstnih bolezni v nerazvitih državah, kjer sistem kontrole ni vzpostavljen.

Onesnaženje preko zraka. Bakterije in plesni so lahko prisotne tudi v zraku in lahko okužijo zelenjavo, mlečne ter mesne izdelke. V industriji so v izogib onesnaženjem iz zraka navadno nameščeni filtri, ki ne prepuščajo prašnih delcev in mikroorganizmov. Vendar pa so ti filtri pogostokrat lahko tudi ustrezno gojišče za mikroorgnizme.

Onesnaženje z mikroorganizmi iz prsti. Prst je življenjsko okolje mnogih mikroorganizmov (bakterij, plesni, alg, virusov in praživali), saj ti vplivajo na plodnost prsti zaradi svoje vloge razkroja organskih snovi, ki so pomembne za rast rastlin. Prav tako nekateri mikroorganizmi v prsti delujejo antagonistično na nekatere patogene in tako preprečujejo infekcije rastlin. Te mikroorganizme zato imenujemo biopesticidi. Ker pride do pogostega stika prsti z vodo, se v prsti nahajajo mikroorganizmi, ki so prisotni tudi v vodi spore vrst *Clostridium*, *Bacillus* in *Listeria*, enterobakterije ter *Pseudomonas* pogosto najdemo v prsti. Bakterije pridejo iz prsti na rastline med deževjem ali drugim stikom z vodo in lahko na rastlinah preživijo dolgo časa, zato je potrebno to upoštevati pri nadaljnji obdelavi teh rastlin.

Z mikroorganizmi onesnažene surovine za pripravo hrane. Kot že omenjeno, se na rastlinah nahajajo mikroorganizmi, ki izvirajo iz prsti, vode in okolja. V splošnem na rastlinah najdemo koliforme bakterije, mikrokoke, *Pseudomonas* in plesni, med njimi pa so nekateri tudi patogeni. Mikroorganizmi se normalno nahajajo tudi na mlečnih žlezah živali (*Staphylococcus*, *Micrococcus* in *Streptococcus*), nekateri pa se pojavijo šele ob infekcijah ali boleznih živali. Mikroorganizmi pa lahko na žleze pridejo tudi iz okolja (*Bacillus*, *Clostridium* in koliformi) in jih prav tako lahko najdemo v mleku. Z mikroorganizmi je lahko okužena tudi lupina jajc; ti prihajajo iz prebavil ptičev, iz gnezd, prahu, živilskih proizvodov, iz postopkov pakiranja in hranjenja ter z drugih živali. Na lupini jajc najpogosteje najdemo gram pozitivne koke (predvsem *Micrococcus*), gram pozitivne bacile (*Bacillus* in *Arthrobacter*) ter gram negativne bacile, vključujoč seve rodov *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Enterobacter* itd. Perutnina je najbolj znan nosilec različnih *Salmonella* serotipov, zato so posledično preko prebavil lahko okužena tudi jajca. Na splošno so klavne živali pomemben vir patogenov (*E. Coli*, *Salmonella, Listeria, Campylobacter* itd.), ki lahko pridejo v stik z mesom teh živali med zakolom. Poleg teh pa lahko v mesu najdemo še: mlečnokislinske bakterije, *Pseudomonas, Acinetobacter* in *Moraxella*. Poleg omenjenih pa so vir okužb lahko tudi

industrijska oprema in pripomočki v predelavi. V uporabi so različni higienski postopki, med katerimi pa je najpogostejša uporaba parne pasterizacije, trinatrijevega fosfata ter različnih organskih kislin – na primer ocetna kislina v kombinaciji z vodikovim peroksidom za uničevanje *E. Coli*. Poleg omenjenih postopkov pa so v večini industrijskih objektov vzpostavljeni programi, kot sta na primer GMP (Good manufacturing practice) in HACCP (Hazard analysis critical control point).

Onesnaženja med predelavo in distribucijo živil ter v gospodinjstvih. Poleg omenjenih okužb surovin prihaja do okužb živil tudi med njihovo predelavo. Te izvirajo iz navzkrižnih onesnaženj (stik za uživanj epripravljenega živila s surovim živilom, ki je onesnaženo z mikroorganizmi), okužene vode ter stikov z okuženimi površinami, predmeti in ljudmi.

Obstaja vrsta različnih postopkov za zmanjševanje števila patogenih mikrobov v industriji živil kot je na primer uporaba visokih temperatur (pasterizacija, sterilizacija, dehidracija), uporaba soli, postopki pakiranja v modificirani atmosferi, itd. S pasterizacijo uničimo vse vegetativne oblike mikroorganizmov, s sterilizacijo pa tudi vse ostale oblike mikroorganizmov (spore).

Med distribucijo živil in živilskih proizvodov je pomemben čas transporta in hranjena ter vzdrževanje primerne vlažnosti in temperature. V kolikor ti pogoji niso ustrezno zagotovljeni, prihaja do razmnoževanja škodljivih mikroorganizmov kot so na primer *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens* in *Salmonella*, v primeru seveda, da so v živilu prisotni. Na ta način se zelo poveča tveganje, da bo pri tistih, ki bodo tako živilo zaužili, prišlo do okužbe in obolenja.

Najpogostejši vzrok za okužbe živl je neprimerno ravnanje s surovinami, živili in gotovimi jedmi (navzkrižna onesnaženja, hranjenje živil v neustreznih prostorih in pri neustrezni temperaturi ter vlagi, nehigienska priprava). Nevaren pa je tudi stik živil z okuženimi oziroma bolnimi osebami. Pogostokrat prihaja do zastrupitev preko živil pri sodobnem načinu hranjenja, kjer se v dnevne obroke vključuje predpripravljene in polpripravljene jedi; do okužbe pride najpogosteje zaradi neupoštevanja navodil proizvajalca za hranjenje in pripravo teh jedi (na primer neustrezna temperatura hlajenja oz. hranjenja jedi ter priprave).

V namen izogibanja tovrstnih okužb je velikega pomena izobraževanje ter informiranje potrošnikov o nevarnostih in o sami pripravi in higienskih pogojih, ki jih je pri tem potrebno upoštevati v domačem okolju.

Kemijski dejavniki onesnaževanja živil/hrane

Naravne ali industrijsko izdelane spojine, ki jih vsebujejo živila in živilski izdelki, lahko v določenih primerih predstavljajo tveganje za zdravje potrošnika (Preglednica 3). Glede na izvor v živilski toksikologiji razlikujemo več skupin kemijskih dejavnikov tveganja:

- naravna onesnaževala - v živilih naravno prisotne snovi: alkaloidi (na primer solanin v krompirju, kofein in teobromin v kavi, čaju, čokoladi); cianogeni (na primer v

grenkih mandeljnih, breskovih in mareličnih peškah); saponimi (na primer v stročnicah, špinači, brokoliju); oksalati (na primer v špinači, čaju, grahu); toksini v morskih sadežih, mikotoksini, histamin; alergeni (na primer v jajcih, kikirikiju),

- onesnaževala iz okolja in delovnega okolja: kemikalije iz embalaže (oligomeri, vinil monomeri); kemikalije iz tehnološkega procesa (nitriti, nitriti N-nitrozo derivati); policiklični aromatski ogljikovodiki; onesnaževala iz okolja (poliklorirani bifenili, dioksini, furani); težke kovine (svinec, kadmij, živo srebro, arzen),
- ostali kemijski dejavniki tveganja: pesticidi, veterinarska zdravila, aditivi.

Preglednica 9-5. Kemična in biokemična tveganja

Alergeni	Najpogostejši alergeni so beljakovine (kravje mleko, jajca, morski sadeži, oreški, stročnice, pšenica, soja, koruza). Alergeni so lahko tudi dodatki živilom: barvila, antioksidanti, konzervansi in sredstva za izboljšanje okusa.
Aditivi	Nekatera barvila (tartrazin, sunset yellow), konzervansi (žveplov dioksid, benzojska kislina, Na- in P-benzoat, nitriti, nitrati), antioksidanti (butil hidroksi anizol – BHA in butil hidroksi toluol – BHT), arome (Na-glutamamt) in sladila (aspartam)
- cidi	Pesticidi, insekticidi, herbicidi, fungicidi, sredstva za zaščito lesa, akaricidi
Čistila in razkužila	Hipoklorid, organsko vezani klor, jodofori, peroksiocetna kislina, kvarterne amonijeve soli, amfoterne spojine, aldehidi, alkoholi, kelati, površinsko aktivne snovi
Kovine	Kositer, živo srebro v ribah, kadmij, svinec, aluminij, cink, baker in antimon
Zdravila	Antibiotiki, hormoni in ostali regulatorji rasti (na primer avilamicin, salinimicin in flavomicin)
Mikotoksini	Aflatoksini, patulin, argot-amini, trihoteceni, ohratoksini
Toksini alg	Paralitičen (paralityc shellfish poisoning – PSP), diarejni (diarrehic shellfish poisoning – DSP), nevrotoksičen (neurotoxic shellfish poisoning – NSP) in amnezični tip (amnesic shellfish poisonong – ASP), Ciguatera

Glavne lastnosti izbranih kemijskih onesnaževal živil

Pesticidi so snovi, ki se uporabljajo za zatiranje različnih škodljivcev, plevelov in rastlinskih bolezni. Uporabljajo jih zelo široko, največ pa v procesu kmetijske pridelave ter v gozdarstvu, lesarstvu, ladjedelništvu, pa tudi v bivalnem okolju. Po svojem nastanku so lahko naravne snovi, izolirane iz rastlin, ali sintetično pridobljene s sintezo. Predvsem te pa lahko ob neustrezni uporabi ogrožajo tako človeka kot njegov ekosistem.

Pesticidi naj bi selektivno uničevali določeno vrsto škodljivcev, vendar se v praksi pogosto izkaže drugače. Po določenem času lahko namreč določena vrsta škodljivcev pridobi naravno odpornost in tako je treba na vedno znova iskati nova sredstva, ki bodo učinkovita tudi proti odpornim vrstam.

Stopnja toksičnosti različnih pesticidov je zaradi njihove kemične sestave različna. Negativni vpliv pesticidov na človeški organizem je odvisen predvsem od koncentracije pesticida, ki vstopa v okolje, načina uporabe, stopnje razgradljivosti, obstojnosti v okolju, sposobnosti bioakumulacije in biokoncentracije, vključevanja v prehranjevalno verigo, teratogenosti, mutagenosti, genotoksičnosti in še mnogih drugih dejavnikov. Pesticid, ki se uporablja za zatiranje škodljivcev, je v bistvu aktivna substanca, ki je v določeni koncentraciji primešana inertnemu mediju. Kar se tiče inertnega medija je potrebna posebna previdnost, saj je lahko inertna snov onesnažena s kemikalijami, ki lahko še dodatno ogrozijo okolje in zdravje ljudi.

Različne skupine pesticidov imajo različne mehanizme delovanja na organizem. Toksični učinki se kažejo predvsem na živčnem sistemu, z upočasnitvijo depolarizacije membran živčnih celic in s tem povečane vzdraženosti. Znanki zastrupitve so slabost, bruhanje, razdražljivost, vrtoglavica, motnje govora, tremor.

Preglednica 10-5: Pesticidi–klasifikacija glede na njihovo glavno uporabo (IPCS, 2005)

Pesticid	*Glavno podočje uporabe*
Akaricidi	za zatiranje pršic
Aphicid	za zatiranje listnih uši
Baktericidi	za zatiranje bakterij
Fungicidi	za zatiranje gliv
Herbicidi	za zatiranje plevela
Iksodicidi	za zatiranje klopov
Insekticidi	za zatiranje žuželk
Larvicidi	za zatiranje ličink
Limacidi	za zatiranje polžev
Nematocidi	za zatiranje glist
Rodenticidi	za zatiranje glodavcev
Repelenti	za odvračanje škodljivcev
Viricidi	za zatiranje virusov

Aditivi so zakonsko opredeljeni kot snovi, ki jih običajno ne uživamo kot živilo in ne sodijo med njegove običajne, tipične sestavine. Aditivi so snovi naravnega ali sintetičnega izvora. Vsak aditiv mora biti v Evropski uniji odobren in registriran s črko E in ustrezno številko. Številke so najmanj trimestne, pričnejo se z E100.

Glede na Pravilnik o aditivih za živila je aditiv vsaka snov, ki se običajno ne uporablja oziroma ne uživa kot živilo in ne predstavlja običajne, tipične sestavine živila, ne glede na to, ali ima hranilno vrednost, se pa namensko dodaja živilu iz tehnoloških razlogov v proizvodnji, predelavi, pripravi, obdelavi, pakiranju, transportu, hrambi in se zato nahaja v živilu ali v stranskem proizvodu živila in s tem posredno ali neposredno postane sestavina živila. Ob neustrezni uporabi aditivov oziroma izpostavljenosti letem pa lahko prihaja do različnih škodljivih učinkov za zdravje potrošnika (alergija-urtikarija, astma, glavoboli, migrene, vedenjske motnje, hiperkinezija, rak).

Pred uporabo vsakega aditiva je treba pridobiti dovoljenje posebne strokovne komisije oziroma znanstvenega sveta pri Evropski agenciji za varno hrano. Pogoj za izdajo dovoljenja so opravljeni testi glede toksičnosti aditiva. Test na toksičnost mora biti izveden po mednarodno predpisanih postopkih, običajno pa ga izvajajo na živalih ali na celičnih kulturah (bakterijah). O ustreznosti takšnih testov se porajajo dvomi povezani z dejstvom, da je test na živali ali celici nezanesljiv model za oceno toksičnosti preiskovane kemikalije. Kot je znano se človek lahko odzove drugače kot živali ali bakterije, poleg tega se testiranje izvaja samo posamično z eno kemikalijo, v živilih pa je običajno več vrst aditivov. Ker rezultati takih testov zato niso popolnoma zanesljivi, se iz previdnostnih načel izda dovoljenje le za določeno obdobje. Tako je začela Evropska agencija za varno hrano (EFSA) po naročilu Evropske komisije v letu 2006 ponovno raziskovati varnost uživanja nekaterih barvil, ki so kot aditivi trenutno dovoljena za uporabo v živilih. Na podlagi opravljenih testov toksičnosti se določi, kolikšen je dopustni dnevni vnos aditiva za človeka - ADI (Acceptable Daily Intake).

Primer izračuna ADI

Vrednost ADI natrijevega nitrita (konzervansa, ki ga uporabljajo v postopku razsoljevanja mesa), znaša 0,1 mg. To pomeni, da lahko 70 kg težka odrasla oseba dnevno zaužije 7 mg (70 x 0,1 mg) natrijevega nitrita, ne da bi si s tem ogrozila zdravje. 20 kg težak otrok pa naj dnevno ne bi zaužil več kot 2 mg tega konzervansa. Koliko mesnih izdelkov, ki vsebujejo natrijev nitrit, torej sme posameznik zaužiti? Po pravilniku smejo obarjene in kuhane klobase vsebovati največ 100 mg natrijevega nitrita na kilogram. To pomeni, da bi hipotetično lahko 70 kg težka odrasla oseba, glede na še varno količino zaužitega natrijevega nitrita, vse življenje uživala po do 70 g takšnih klobas na dan, 20 kg težak otrok pa po 20 g, primeru, da natrijevega nitrata ne zaužije z drugimi živili.

Skupine aditivov

Barvila (E100-E180) so snovi, pridobljene iz živil in drugih sestavin naravnega izvora s fizikalno in/ali kemično ekstrakcijo, ki ji sledi selektivna ekstrakcija pigmentov glede na njihove hranilne ali aromatične sestavine; barvila živilo obarvajo ali poudarijo njegovo barvo, vsebujejo naravne sestavine živil in sestavine naravnega izvora in se običajno kot take ne zaužijejo kot živilo ter se običajno ne uporabljajo kot tipične sestavine živila.

Sladila in alkoholni sladkorji (E420-E422 in E927-E967) so snovi, ki dajejo živilu sladek okus, vendar ne živila s sladilnimi lastnostmi, kot je na primer sladkor ali med ipd. Najbolj pogosta sintetična slasila so: acesulfam-K, aspartam in saharin.

Konzervansi (E200-E297) so snovi, ki podaljšajo obstojnost živila tako, da ga ščitijo pred kvarom, ki ga povzročajo mikroorganizmi. Pogojno dovoljeni konzervansi so: sorbati, benzoati in p-hidroksibenzoati, žveplov dioksid in sulfiti, dimetil dikarbonat, propionska kislina, nitriti, nitrati, sorbati, benzoati, natamicin itd.

Antioksidanti (E300–E321) antioksidanti so snovi, ki podaljšajo obstojnost živila tako, da jih ščitijo pred kvarom, ki ga povzroča oksidacija v obliki žarkosti maščobe in spremembe barve. V skupino konzervansov spadajo: propil galat, oktil galat, butil hidroksianizol (BHA), butil hidroksitoluen (BHT), eritrobinska kislina, askorbinska kislina, citronska kislina, vinska kislina.

Emulgatorji, stabilizatorji, sredstva za zgoščevanje in želirna sredstva (E322-E495) so snovi, ki v živilu omogočajo nastanek oziroma ohranjanje homogene zmesi dveh ali več faz, ki se ne mešajo (na primer olje in voda). Stabilizatorji so snovi, ki vzdržujejo fizikalno-kemijsko stanje živila, vključno s snovmi, ki vzdržujejo homogeno razpršenost dveh ali več snovi, ki se v živilu ne mešajo med seboj ter snovi, ki stabilizirajo, ohranjajo ali pudarijo obstoječo barvo živila. Sredstva za zgoščevanje in želirna sredstva prispevajo k ustrezni oziroma željeni strukturi živila. Najbolj znani emulgatorji in stabilizatorji so lecitin, pektin, gliceridi, fosfati, karagenan, alginati itd.

Ojačevalci okusa (E620-635) oziroma ojačevalci arome so snovi, ki ojačajo obstoječi okus oziroma vonj živila. Najbolj razširjen je natrijev glutamat, ki se uporablja v mesnih in zelenjavnih jedeh ter začimbah in začimbnih mešanicah (nadomestilo za sol).

Ostali aditivi

- kisline (kot antioksidanti in sredstva za konzerviranje),
- sredstva za uravnavanje kislosti (uravnavajo kislost/bazičnost),
- sredstva za ohranjanje sipkosti (preprečujejo sprijemanje praškov),
- sredstva proti penjenju (zmanjšujejo oziroma preprečujejo penjenje živil),
- sredstva za ohranjanje vlage (preprečujejo izsušitev živil),

- sredstva za vzhajanje (vplivajo na povečanje prostornine živil, pri tem pa se ohrani hranljiva vrednost).

Toksikologi so zaskrbljeni zaradi široke uporabe aditivov, še posebno zato, ker ni znano kako po dolgotrajnem uživanju vplivajo na zdravje. Trenutno je še premalo zanesljivih znanstvenih podatkov o škodljivih učinkih aditivov na zdravje ljudi, čeprav obstajajo domneve, da je čedalje več alergijskih reakcij ravno zaradi uživanja aditivov. V povprečju se intoleranca na aditive pojavi pri skoraj 3 od 10.000 ljudi. Pri večini prizadetih se pojavi urtikarija. Najpogosteje sta omenjena tartrazin (E102) in benzojska kislina (E210), kot povzročitelja hiperaktivnosti otrok. Možna pa je tudi navkrižna reaktivnost, kjer preobčutljivost za en aditiv sproži preobčutljivost za nekega drugega.

Znanstvene raziskave kažejo, da je velika večina danes uporabljenih aditivov varnih, tudi tistih, ki zaradi nadpovprečno pogostega uživanja presegajo dovoljeni vnos. Kljub vsemu pa obstaja nekaj aditivov, ki pomenijo določeno tveganje za zdravje uporabnika. To so predvsem skupine s posebnimi prehranskimi potrebami in osebe v določenem življenjskem obdobju (na primer dojenčki, otroci, nosečnice, doječe matere).

V nadaljevanju so v Preglednici 11-5 predstavljeni aditivi, ki predstavljajo določeno tveganje pri nekaterih skupinah prebivalstva.

Preglednica 11-5: Aditivi, ki predstavljajo določeno tveganje za zdravje (Elmadfa, 2007)

Aditiv	***Ogrožene skupine prebivalstva***
E 220-224, E226-228	Skoraj vse starostne skupine, saj ga vsebujejo številna živila
E 321	Starostni skupini 6-12 let, 15-25 let
E 416	Starostna skupina 6-19 let
E 432-436	Starostna skupina 6-25 let in nosečnice
E 473-474	Vse starostne skupine
E 481-482	Skoraj vse starostne skupine
E 483	Starostni skupini 6-12 let in 20-35 let
E 492	Vse starostne skupine
E 554-559	Vse starostne skupine

Fizikalni dejavniki onesnaževanja živil/hrane

Po definiciji so fizikalna onesnaževala tujki, ki torej v živilu normalno niso prisotni in lahko povzročijo poškodbe, fiziološke motnje in/ali bolezen. Vir fizikalnih onesnaževal so lahko surovine, voda in/ali zaposleni, v samo surovino/polizdelek/izdelek pa lahko pridejo na katerikoli stopnji proizvodnje (transport, priprava, predelava, skladiščenje).

Med najbolj znane fizikalne dejavnike tveganja v živilih, ki lahko povzročijo obolenja ali poškodbe pri ljudeh štejemo naslednje:

- tujki iz kovine (stroji, naprave, tla, žice, kovanci, kovinski pripomočki),
- tujki iz lesa (zaboji, gradbeni materiali, tla),
- tujki iz stekla (steklenice, kozarci, stekleni pripomočki, deli svetil),
- tujki iz plastike (pakirni materiali, tla, zaposleni),
- kamniti delci (gradbeni materiali, tla),
- delci kosti (neustrezna predelava),
- insekti in drugi škodljivci ter njihovi deli in iztrebki (tla, zunanje okolje proizvodnje),
- gumbi, lasje, nohti, kozmetična sredstva, nakit (zaposleni),
- drugi tujki (koščice sadja, lupine oreškov),
- voda (čiščenje in spiranje v tehnoloških postopkih ter kot sestavina izdelkov)

Glede na njihovo naravo lahko delimo fizikalna onesnaževala v tri skupine:

1. mineralni (prst, kamniti delci, prah, kovinski delci, steklo, tkanine, koščki barve itd.),
2. rastlinski (trave, listi, stebla, žitni delci),
3. živalski (insekti, pršice, glodalci itd.).

Posledica zaužitja takega tujka je lahko poškodba zob, ustne votline, grla in drugih delov gastrointestinalnega trakta ter dušenje in krvavitve, lahko pa zaradi prisotnosti škodljive snovi na tujku pride tudi do slabosti in bruhanja. V pogostih primerih je potrebna tudi kirurška odstranitev. Fizikalno onesnaženje izvora različnih živalskih in rastlinskih vrst oz. njihovih delov lahko povzroči hude naknadne infekcije, alergije in zastrupitve.

Med fizikalne dejavnike štejemo tudi onesnaževanje živil z radioaktivnimi elementi, ki oddajajo v okolje radioaktivno sevanje. Najbolj znana radioaktivna elementa kot onesnaževalca okolja sta cezij in stroncij njun izvor pa je različen (naravno okolje, eksplozije nuklearnega orožja, nezgode v jedrskih reakcijah, nepravilno ravnanje z radioaktivnimi odpadki v medicinskih ustanovah, nepravilno izvajanje sicer dovoljenega obsevanja živil z radioaktivnimi elementi, ki je namenjeno zagotavljanju mikrobiološke varnosti živil in preprečevanju zgodnjega kvara). Škodljivo delovanje radioaktivnih snovi je v ionizirajočem sevanju, ki povzroča toksične učinke na vse organe.

Ukrepi za preprečevanje prisotnosti fizikalnih dejavnikov tveganja v živilih

Fizikalna onesnaževala lahko pridejo v živila iz proizvodnje pa tudi na nivoju končnih proizvodov (na primer restavracije itd.). V izogib fizikalnega onesnaženja se

poslužujemo postopkov pregleda, čiščenja in pranja vstopnih surovin, filtriranja uporabljenih tekočin, zaščite polnilcev, linijskih trakov in dvigal, izbiro strojev in naprav, ki so enostavni za čiščenje, vgraditvijo detekcijskih naprav, med popravilom proizvodnih linij oziroma naprav pa poskrbimo za primerno zaščito in nadzor nad morebitnim onesnaženjem.

Poleg omenjenega je pomembna izbira ustreznega dobavitelja, uporaba ustreznih materialov, vizualna kontrola surovin, izdelkov in embalaže, uporaba opreme za odstranjevanje morebitno prisotnih mehaničnih tujkov (magnetni detektorji, sita, filtri), ustrezna delovna obleka in osebna higiena zaposlenih ter ustrezno čiščenje delovnih površin in zaščita prostorov pred insekti in glodalci.

Tveganja za zdravje

Prehrana ljudi vsebuje veliko mutagenih snovi iz različnih virov. Vpliv na nastanek in razvoj raka nima samo vrsta, temveč tudi količina in pogostnost uživanja posameznih sestavin hrane. Hrana pa lahko vsebuje tudi različne snovi, ki so mutagene in karcinogene snovi, kot so mikotoksini in heterociklični amini. Med zdravju tvegane mikotoskine sodijo predvsem aflatoksini, ki so dokazano kancerogeni. Epidemiološke raziskave so pokazale, da aflatoksin B1, ki ga proizvaja *Aspergilus flavus*, lahko povzroča karcinom jeter. Pri preiskovancih, ki so bili izpostavljeni aflatoksinu B1, je bila v hepatomih ugotovljena mutacija tumor supresorskega gena p53. Med možne mutagene aflatoksine sodijo še ohratoksin A in trihoteceni.

Kontaminacija živil s **toksičnimi kovinami** (svinec, arzen, živo srebro, kadmij) predstavlja pomemben dejavnik tveganja za zdravje. Raziskave so pokazale kancerogeni vpliv teh kovin predvsem v smislu poklicne izpostavljenosti. Povzročajo poškodbe DNA in kromosomske aberacije. Nekatere teh kovine že pri zelo nizkih koncentracijah zavirajo popravljanje poškodb DNA. V velikih morskih ribah (tuna, mečarica, morski pes) in mastnih morskih ribah (losos, slanik) se zaradi onesnaženosti okolja lahko nahaja živo srebro v količinah, ki predstavlja tveganje za zdravje, predvsem zarodka in dojenčka. Zato priporočila navajajo njihovo omejevanje v tem obdobju, predvsem tune, ki jo lahko nosečnice in doječe matere zaužijejo do 160 g na teden.

Med pomembne genotoksične kancirogene spadajo **N-nitrozo spojine**, ki nastajajo pri interakciji sekundarnih amino spojin z nitrozirajočimi dejavniki (dušikovi oksidi). Pomemben vir teh snovi v prehrani so dodani nitrati in nitriti ter segrevanje oziroma sušenje živil v prisotnosti dimnih plinov. Raziskave kažejo povezavo med vnosom N-nitrozaminov (hlapni kancerogeni) in rakom grla, žrela in gastrointestinalnega trakta. Živila, ki pogosto vsebujejo N-nitrozo spojine so živila, ki so jim za obstojnost dodani nitriti/nitrati, dimljena živila (meso, ribe), snovi, ki jih sušijo v dimnih plinih (pivo, viski), soljena živila/hrana, kisana živila/hrana.

Tveganje za nastanek genotoksičnih snovi v hrani/živilih lahko povzroči neustrezna priprava živil/hrane, predvsem kuhanje in priprava hrane pri visokih temperaturah. **Policiklični aromatski ogljikovodiki** (PAH) in **heterociklični amini**, ki nastanejo

pri pečenju mesa, pri visokih temperaturah, so kancerogene snovi. Omenjene snovi nastanejo pri nekaterih tehnoloških postopkih (praženje, dimljenje, sušenje, razsoljevanje, rafinacija). Zelo pomemben vir je pražena ali ocvrta beljakovinsko bogata hrana kot sta meso in ribe. Obstaja pa verjetnost, da gre za sinergistično delovanje maščob v mesu in heterocikličnih aminov. Aminokisline in heksoze reagirajo, pri čemer tvorijo heteroaromatske snovi, nato kondenzirajo s kreatininom in nastajajo imidazo snovi s heterocikličnimi amini. Delež heterocikličnih aminov narašča z naraščanjem temperature. Domnevajo, da heterociklični amini povzročajo genomsko nestabilnost, kar vpliva na povečano občutljivost za delovanje tumorskih promotorjev.

Med PAH je najbolj raziskan kancerogen benzapiren, ki nastane pri nepopolnem izgorevanju organskih snovi. PAH so naravno prisotni v katranu, nafti in premogu, nastajajo pa med obdelavo živil pri visokih temperaturah z odsotnostjo kisika, predvsem pri razgradnji maščob in pri nekaterih tradicionalnih postopkih dimljenja živil. Raziskave na glodalcih so pokazale, da uživanje PAH povzroča raka dojke, želodca, debelega črevesa in limfome. Prav tako obstajajo raziskave, ki potrjujejo povezavo med uživanjem dimljenih živil in rakom želodca. Vir PAH so naslednja živila: jedi, pripravljena na žaru (rdeče meso, perutnina, ribe), suho sadje, rastlinska olja, prekajeno meso, mesni izdelki in ribe, pražena kava.

Pri toplotno obdelavi živil/hrane, ki vsebujejo velik delež ogljikovih hidratov pa nastaja **akrilamid**, ki je potencialno kancerogen. Akrilamid nastane kot stranski produkt asparagina (amino kislina) in reducirajočega sladkorja (glukoza, fruktoza) pri obdelavi živil pri visoki temperaturi. Polimeriziran akrilamid ni toksičen, nevarnost predstavlja le monomer. Količina akrilamida se v živilu povečuje s temperaturo višjo od 120°C in s časom izpostavljenosti povišani temperaturi. Večjo vsebnost akrilamida se nahaja v škrobnatih živilih, ki so bila termično obdelana pri višji temperaturi (cvrenje, pečenje v pečici), medtem, ko akrilamid ni prisoten v živilih, ki so kuhana v vodi in pri nižji temperaturi. Ocvrta in pečena živila (meso, koruzni kosmiči, prepečenec, misliji) vsebujejo do 100 μg/kg akrilamida. Ocvrt in pečen krompir, biskvit, krekerji in prepečenec ter kosmiči vsebujejo od 100 do 1000 μg/kg akrilamida. Čim bolj je barva zapečenja intenzivna, tem več akrilamida je v prisotnega v živilu.

Akrilamid

Akrilamid uporabljajo v kemični industriji za pripravo poliakrilamida, ki se uporablja pri čistilnih napravah za vodo in kanalizacijo ter v papirni industriji. Snov prihaja v telo skozi kožo, preko dihal in se v njem nalaga. Agencija za raziskovanje raka pri Svetovni zdravstveni organizaciji je akrilamid že leta 1994 uvrstila v skupino snovi, ki so potencialno rakotvorne za ljudi. Akrilamid je toksičen za živalsko celico in se veže na hemoglobin, beljakovine in DNK, kar povzroči mutacijo genov in različne aberacije na kromosomih. Mehanizem nastanka mutacij še ni povsem raziskan, vendar se domneva, da se glicidamid, genotoksični metabolit akrilamida, lahko veže na molekulo DNK. In vivo povzroča akrilamid celično transformacijo. Epidemiološke raziskave kažejo potencialno tveganje uživanja živil z visoko vsebnostjo akrilamida za nastanek raka ledvic, mehurja in debelega črevesa.

Dejavnik tveganja za zdravje predstavljajo **transmaščobne kisline**. Transmaščobne kisline se naravno pojavljajo v majhnih količinah v maščobi, mlečnih izdelkih in mesu prežvekovalcev oziroma so stranski produkt procesa delnega hidrogeniranja, fizikalnega rafiniranja ali cvrtja tekočih rastlinskih olj z nenasičenimi maščobnimi kislinami (običajno koruznega). V živilih naravnega izvora je delež transmaščobnih kislin v skupnih maščobnih kislinah 2-3%, medtem ko je v industrijskih živilih ta delež tudi do 60%. Sicer je količina in vrsta transmaščobnih kislin, ki nastanejo pri delnem hidrogeniranju, fizikalnem rafiniranju ali cvrtju, odvisna od temperature, tlaka in trajanja hidrogenacije oziroma rafiniranja in cvrtja. Ker transmaščobne kisline zagotavljajo daljšo obstojnost živil, jih pogosto najdemo v margarinah, piškotih, tortah, sladoledih, zamrznjenem krompirju in hitri hrani. Transmaščobne kisline najdemo tudi v živilih, ki so termično obdelana s cvrtjem ali praženjem (nad 150°C), ker nenasičene maščobne kisline z dvojnimi vezmi (na primer v sončničnem olju ali olju iz koruznih kalčkov) pri visokih temperaturah oksidirajo, s tem pa se tvorijo izomere transmaščobnih kislin. Rezultati raziskave so pokazali, da uživanje transmaščobnih kislin, v količini 2-7% dnevnega energijskega vnosa, močno poviša razmerje LDL/HDL, z zmanjšanjem HDL holesterola in povišanjem LDL holesterola, medtem, ko nasičene maščobne kisline povišajo LDL holesterol v krvi.

Transmaščobne kisline v jetrih tekmujejo za iste encimske sisteme, ki sodelujejo pri presnovi esencialnih maščobnih kislin, ki sodijo med pomembne prehranske zaščitne snovi. Znano je, da je aterogeni vpliv transmaščobnih kislin celo 10 krat večji kot vpliv nasičenih maščobnih kislin. Epidemiološke in klinične raziskave so pokazale, da dnevni vnos 4-5 g transmaščobnih kislin poveča možnost nastanka in razvoja bolezni srca in ožilja za 25% v primerjavi s prehrano, ki vsebuje namesto transmaščobnih kislin ogljikohidrate. Obstaja domneva, da transmaščobne kisline povečujejo odpornost na inzulin in s tem povečujejo možnost nastanka sladkorne bolezni tipa II. Transmaščobne kisline niso škodljive le za tiste, ki jih uživajo, temveč tudi za novorojenčke in dojenčke mater s previsokim vnosom škodljivih transmaščob, saj prehajajo v fetus preko placente oziroma v otroka z materinim mlekom. Študije kažejo povezavo med predčasnim porodom in povečanim vnosom transmaščobnih kislin. Vpliv transmaščobnih kislin na nastanek raka še ni znanstveno potrjen. Številne raziskave pa kažejo možno povezavo med transmaščobnimi kislinami in rakom na dojki in debelem črevesju. Prav tako so še vedno v teku raziskave o vplivu le-teh a pojav astme in alergij pri otrocih.

Aditivi v hrani zaradi svoje obsežnosti in specifičnega vpliva pri nastanku raka zahtevajo posebno obravnavo tudi zato, ker njihovo dovoljeno količino v hrani dovoljuje zakonodaja. Raziskave so pokazale, da so imajo nekateri aditivi genotoksične lastnosti. Neustrezna uporaba aditivov predstavlja dejavnik tveganja za nastanek raka. Za zdravje tvegani so predvsem naslednji aditivi, ki spadajo med barvila (Red, Para, Orange II, Sudan I, II, III in IV), ki v državah EU niso dovoljena.

Obvladovanje dejavnikov tveganja za varnost živil

Varnost živil/hrane predstavlja dejavnik tveganja za zdravje tako v nerazvitih kot razvitih deželah. Države zato skušajo z **zakonskimi predpisi** in drugimi ukrepi, ki opredeljujejo pogoje in način notranjega in uradnega nadzora živil, izboljšati varnost hrane in tako obvladovati bolezni, ki so povzročene oziroma se prenašajo s hrano in pitno vodo. V okviru živilske in okoljevarstvene zakonodaje je pozornost namenjena omejevanju in nadzoru uporabe kemičnih sredstev v pridelavi in predelavi živil, kot tudi druge kemične snovi v okolju, ki predstavljajo dejavnik tveganja za neposreden ali posreden prenos v sistem živilske verige.

Slovenska zakonodaja določa pogoje, ki jih morajo izpolnjevati živila, aditivi za živila in izdelki ter snovi, ki prihajajo v stik z živili, da so zdravstveno ustrezni. Ureja tudi zdravstveni nadzor nad proizvodnjo in prometom živil z namenom varovanja zdravja ljudi, zaščite interesov potrošnika, omogočanje nemotenega prometa na notranjem trgu in s tujino, spremljanja zdravstvene ustreznosti živil in izdelkov ter snovi, ki prihajajo v stik z živili ter medresorsko in mednarodno sodelovanje v okviru zdravstvene problematike prehrane in prehranske politike.

Za ustrezno delovanje na področju obvladovanja varnosti živil/hrane v Evropski uniji je pomemben dokument »White Paper on Food Safety«, objavljen leta 2000. Sledila je Regulativa 178/2002/EC Evropskega parlamenta in sveta ter odločitev 97/579/EC, ki je opredelila tudi Evropsko agencijo za varnost hrane - European Food Safety Authority (EFSA).

Po principu regulative evropske zakonodaje je potebna **zagotoviti sledljivost** v vseh stopnjah pridelave, predelave in distribucije za vsa živila, krmo in živali, če so namenjeni za pridelavo hrane. Prav tako je potrebno ustrezno slediti tudi vsem drugim snovem, za katere se pričakuje, da se bodo kakorkoli uporabile v živilih ali krmi.

Pri obvladovanju tveganja, ki so jim živila izpostavljena pri pridelavi oziroma predelavi do končnega izdelka, je potrebno prepoznati vzroke tveganj, oceniti njihov vpliv na varnost živil/hrane in vzpostaviti ustrezne ukrepe. Pri pridelavi in predelavi živil se poslužujemo principov dobre kmetijske prakse, dobre proizvodne prakse, dobre higienske prakse in dobre laboratorijske prakse, ki praviloma vključujejo koncept HACCP sistema.

Postopki **dobre kmetijske prakse** vključujejo dobro kmetijsko prakso pri gnojenju (zmanjševanje tveganja za onesnaževanje kmetijskih tal in voda z ostanki hranil, varovanje naravnih virov pred potencialnim kmetijskim onesnaženjem, dopuščanje gospodarne kmetijske pridelave) in dobro kmetijsko prakso varstva rastlin ob uporabi fitofarmacevtskih sredstev.

Da bi dosegli namen in cilje dobre proizvodne prakse, je potrebno zagotoviti, da je vsaka proizvodna serija v skladu s specifikacijo kakovosti iz dovoljenja za promet v **celotnem roku** uporabnosti, da je kakovost vsake proizvedene serije enaka izhodni seriji. Preprečiti je potrebno napake, ki lahko vplivajo na kakovost, varnost in

učinkovitost vsake proizvedene serije, zagotoviti stabilnosti v roku uporabe ter enakovredno upoštevati pomen vseh faz v proizvodnji za doseganje kakovosti izdelka (pridelava živil, pakiranje, postopki skladiščenja, vzorčenje, kontrola kakovosti).

Principi **dobre higienske prakse** se nanašajo na preprečevanje in omejevanje onesnaženj z nezaželenimi mikroorganizmi, preprečevanje in omejevanje širjenja nezaželenih mikroorganizmov, preprečevanje nezaželenega razmnoževanja mikroorganizmov ter preprečevanje nedopustnega preživetja mikroorganizmov oziroma prisotnost njihovih metabolitov.

Za doseganje osnovnih zahtev **dobre laboratorijske prakse** je potrebno zagotoviti ustrezno organiziranost in usposobljeno osebje, ustrezne prostore, naprave, materiale in reagente ter preskusne sisteme. Prav tako so za učinkovitost pomembni standardni operativni postopki, izvajanje študije, poročanje o rezultatih študije ter shranjevanje in hranjenje zapisov ter materialov študije.

Kadar je živilo že izven kontrole začetnega nosilca živilske dejavnosti in v kolikor ta presodi, da to živilo/hrana, ki ga je pridelal, predelal, uvozil ali prodajal, ni v skladu z zahtevami o varnosti živil/hrane, mora takoj sprožiti postopek za umik tega živila iz prometa ter o tem obvestiti pristojne organe. Kadar pa je živilo/izdelek že pri potrošniku, mora nosilec živilske dejavnosti obvestiti potrošnike o razlogih za umik živila, po potrebi pa že prodane izdelke od potrošnikov odpoklicati, v primeru, da drugi ukrepi ne zadoščajo za doseganje visoke ravni varovanja zdravja.

HACCP – analiza tveganja in nadzor kritičnih kontrolnih točk (Hazard Analysis and Critical Control Point System)

HACCP opredeljuje aktivnosti v okviru posebnega pristopa, ko najprej ugotovijo in ocenijo dejavnike tveganja pri posameznih postopkih proizvodnje in prometa z živili. Določiti je potrebno tudi tista kritična mesta pri ravnanju z živili, kjer je mogoče te dejavnike tveganja tudi izmeriti oziroma preveriti. Nato opredelijo še, postopke za zmanjševanje tveganja ter načine, kako preveriti učinkovitost ukrepanja na posameznih kritičnih točkah (organoleptični preskus, mikrobiološke, kemične, fizikalne preiskave).

HACCP sistem predstavlja najuspešnejšo metodo za zagotavljanje varnosti živil in s tem posredno tudi za preprečevanje bolezni, ki se prenašajo z živili.

Faze uvajanja HACCP

1) ***pregled obstoječega stanja (tehnična ustreznost, izvajanje postopkov, dokumentacija)***
2) ***izdelava terminskega načrta in dokumentacije (navodila, obrazci ter plani čiščenja, vzdrževanja, izobraževanja ipd., opisi živil, diagrami poteka procesa)***
3) ***izvedba analiza tveganja (analizo tveganja izvedemo za posamezno živilo ali skupino živil),***
4) ***priprava HACCP načrta:***
   - determinacija kritičnih kontrolnih točk v procesu in determinacija mejnih vrednosti za te točke,

- izdelava načrta spremljanja, nadzora in obvladovanja kritičnih kontrolnih točk,
- določitev korektivnih ukrepov v primeru odstopanj od mejnih vrednosti,

5) ***vzpostavitev in vodenje dokumentacije vseh procesov glede na njihovo uporabo in z upoštevanjem posodabljanja,***
6) ***verifikacija vzpostavljenega HACCP sistema (dokazovanje učinkovitosti in validiranosti sistema HACCP).***

V zasnovi je HACCP enostavna metoda, ki so jo razvili v šestdesetih letih v ZDA, ko so pripravljali hrano za astronavte. Temelji na preventivnem pristopu, ker vnaprej predvidi potencialne nevarnosti in jih skuša s posebnimi ukrepi v postopkih ravnanja z živili odpraviti. Ker se razmere v proizvodnji in obdelavi živil nenehno spreminjajo, pa HACCP sistem ni nekaj statičnega, pač pa je živ sistem, ki ga moramo ves čas vzdrževati in dopolnjevati.

HACCP sistem vzdržujemo s pomočjo učinkovite strokovne delovne skupine, izvajanjem predvidenih ukrepov ter s stalnim preverjanjem stanja in z vizualnimi mesečnimi pregledi. Potrebne so analize tveganja, izobraževanja in usposabljanja zaposlenih, obveščanje o novostih na področju zakonodaje, ter redna verifikacija HACCP sistema.

Sledljivost in izsledovanje v proizvodnji živil

Sledljivost opredeljuje mednarodna organizacija za standardizacijo kot spodobnost slediti zgodovino in lokacijo ter uporabo kateregakoli predmeta (surovine, polizdelka ali izdelka) preko ustrezno beleženih označevalcev. Cilji sledenja so povečanje varnosti živil/hrane, identifikacija potencialnih virov onesnaženja, olajšanje postopka odpoklica in obvladovanje zdravstvenih tveganj pri uporabi živilskih izdelkov. Po tem principu moramo v živilsko prehranski oskrbovalni verigi torej slediti vsem materialom in surovinam, ki so bili uporabljeni, vsem procesom proizvodnje, vsem zaposlenim, ki so vpleteni v procese in končnemu izdelku.

Sledljivost je torej osnova za zagotovitev učinkovitega delovanja pridelovalcev, predelovalcev in rejcev z namenom doseganja ustrezne varnosti živil/hrane in za učinkovito ugotavljanje in obvladovanje tveganj. Zaradi različnih odstopanj in neželenih dogodkov v proizvodnji pa se vse pogosteje vključuje tudi pojem izsledovanje, ki poteka obratno od smeri sledenja in se uporablja ob umiku določenega izdelka iz prometa, kadar se odkrijejo nepravilnosti. Izsledovanje predstavlja sposobnost ugotoviti izvor določene enote in/ali serije izdelka s pomočjo dokumentov, ki so nastali do trenutnega stanja oz. točke. Izsledovanje pa je uspešno le s pomočjo ustrezno beleženih označevalcev (identifikatorjev), ki jih predstavljajo ustrezno izbrani biomarkerji (zapis DNK, fingerprint kemijskih komponent), ali pa primerno izbrane oznake (nalepke, obešanke), ki spremljajo predmet (žival, izdelek) v živilsko prehranski oskrbovalni verigi.

TLA

Tla so naravni vir, potreben za pridelavo hrane, industrijskih surovin in pridobivanje energetskih virov, pa tudi naravna vrednota, ki jo varujemo kot naravno dediščino. Kot naravni vir, naravna vrednota in kot nosilec prostora, so za obstoj in razvoj človeštva nenadomestljiva. Ohranitev tal pred fizičnim uničenjem in onesnaževanjem ter ohranitev ravnovesja med tlemi in ostalimi deli ekosistema je danes ena pomembnih aktivnosti v razvitem svetu. Gospodarjenje s tlemi mora zagotoviti ohranjanje naravnih značilnosti tal in omogočiti ustrezno raven življenja človeka. Cilj gospodarjenja je torej zagotoviti ravnovesje med naravnimi danostmi tal in ukrepi za ustrezno življenje človeka. Trajnostni razvoj zahteva ohranitev in varovanje vseh funkcij tal v kopenskih ekosistemih, tako naravnih kakor grajenih (antropogenih), saj so poškodbe tal oziroma spremembe v tleh pogosto neobnovljive. Ohranjanje in varstvo kmetijskih tal in gozda sta dolgoročnega strateškega pomena za ohranjanje plodnega potenciala tal in proizvodno/reprodukcijske sposobnosti gozdov.

Tla vzdržujejo ravnotežje med mrtvo in živo naravo. Odlikuje jih velika samočistilna sposobnost, mnogo večja kot jo imata voda in zrak, kar ima z vidika varstva okolja izreden pomen. Kakovostna tla so kadar:

- imajo sposobnost razgrajevati snovi, kot so odmrli ostanki rastlinskega in živalskega izvora, živalski ali človeški izločki in ostanki sredstev za varstvo rastlin ter druge snovi, ki jih vračamo kot sekundarne snovi v naravni obtok snovi,
- optimalno sprejemajo, zadržujejo in oddajajo vodo; omogočajo nemoteno rast negojenih in gojenih rastlin,
- vsebujejo zadostno količino humusa,
- niso zbita,
- niso izpostavljena eroziji.

Onesnaženje tal

S stališča vnašanja in akumulacije snovi in energije so tla del ekosistema, ki vneseno energijo ali snovi najdlje zadržuje, in sicer bistveno dlje kakor zrak in tudi veliko dlje kakor voda ali živi organizmi. Onesnaženje tal je tudi veliko težje ugotoviti kakor onesnaženje vode ali zraka. Snovi, vnesene v tla, zelo dolgo zadržujejo svoje specifične lastnosti in vplivajo na skupnost živih organizmov. O onesnaženju govorimo takrat, ko se v tleh pojavijo snovi, ki v količini in obliki niso značilne za tla in jih tla s svojo puferno sposobnostjo niso več sposobna »nevtralizirati«, zato lahko nevarne snovi prehajajo v rastline ali podtalnico. S tem vstopajo posredno ali neposredno v prehransko verigo človeka in živali. Onesnaženih tal ljudje ne

zaznamo tako hitro kot onesnažen zrak ali vodo, vendar smo posledicam onesnaženih tal dolgoročno izpostavljeni. Zato je ugotavljanje onesnaženosti tal in spremljanje sprememb stanja tal prav tako pomemben kot skrb za pitno vodo in čist zrak.

Viri emisij v tla

Z intenzivno industrializacijo in kmetijsko proizvodnjo, pa tudi zaradi gostega prometa in poselitve, so plodna tla in gozdovi utrpeli veliko škode. Slabšanje proizvodne sposobnosti tal pospešujejo onesnaženo ozračje in onesnažene površinske vode. Pri intenzivnem kmetijstvu prihaja pogosto do preobremenjevanja tal s hranili (na primer z nitrati, deloma s fosfati) in sredstvi za uničevanje škodljivcev (pesticidi). Neugodno vpliva tudi fizikalna degradacija tal zaradi uporabe težke mehanizacije. Pomemben vir vnosa škodljivih snovi v tla so neurejena odlagališča komunalnih in industrijskih odpadkov, blato čistilnih naprav ter onesnažena voda, zlasti, kadar je namenjena za namakanjeoziroma ko pride do poplavljanja.

Najpogosteje se tla onesnažijo preko zraka. Različne emisije nevarnih snovi v zrak potujejo po zraku v plinasti, tekoči ali trdni obliki in v odvisnosti od vremenskih razmer padejo nazaj na površino. Tipičen primer takšnega onesnaževanja so industrijske imisije, plini in prašni delci iz termoelektrarn, dimni plini iz individualnih kurišč ter emisije iz prometa. Nekatere od naštetih snovi ogrožajo naše zdravje ter delujejo toksično neposredno na rastline. Posledica onesnaževanja preko zraka so onesnažena tla in vegetacija, ne samo lokalno, ampak tudi v večji oddaljenosti od vira onesnaževanja. To je ***razpršeno onesnaževanje*** in je najpogosteje vzrok za onesnažena tla s težkimi kovinami in nekaterimi organskimi spojinami v okolici industrijskih in urbanih središč.

Tla se lahko onesnažujejo tudi z neposrednim vnašanjem škodljivih snovi, ki jih vsebujejo mineralna gnojila in pesticidi (herbicidi, insekticidi). Tudi sredstva za varstvo rastlin pred boleznimi in škodljivci se lahko akumulirajo v tleh, čeprav jih nanašamo na rastline.

Poleg razpršenega onesnaževanja poznamo tudi ***točkovno onesnaževanje*** tal. Običajno je mesto onesnaženja mnogo bolj onesnaženo kot pri razpršenem onesnaženju, vendar so posledice praviloma le lokalne. Primer točkovnega onesnaženja so neurejena odlagališča komunalnih in industrijskih (zlasti nevarnih) odpadkov.

Točkovno onesnaževanje tal lahko povzroči tudi odlaganje blata greznic, komunalnih in drugih čistilnih naprav, kompostiranih odpadkov ter rečnih in jezerskih muljev in sedimentov, kadar vsebujejo preveč škodljivih snovi. Prav tako se tla lahko onesnažijo z odpadno vodo, s komunalnimi odplakami (neustrezna kanalizacija) ali preko onesnaženih vodotokov.

V zvezi z onesnaženjem tal uporabljamo tudi izraz ***linijsko onesnaževanje***, katerega tipičen primer je onesnaževanje tal vzdolž cest in železnic. Izvor je znan,

intenziteta onesnaževanja pa je odvisna od vrste in gostote prometa. Na obseg onesnaženja bistveno vplivajo meteorološki dejavniki in relief.

Najpomembnejše škodljive snovi, ki povzročajo onesnaženje tal in lahko pomembno poslabšajo fizikalne, kemične in biotične lastnosti tal, so:

- nevarni odpadki,
- posebni odpadki (kompostirane odpadne snovi, gošče komunalnih in drugih čistilnih naprav, gošča iz greznic),
- gnojnica in gnojevka,
- škodljive snovi, ki se emitirajo v zrak in nato usedajo na tla,
- pesticidi,
- mineralna gnojila.

Učinki onesnaženosti tal na zdravje

Onesnaženje tal ima velik vpliv na kvaliteto vegetacije. Zaradi kompleksnosti vplivov sicer ni možna enostavna korelacija med koncentracijo škodljivih snovi v zemlji in v rastlinah, vendar pa je nesporno, da te snovi preko uživanja živil rastlinskega in tudi živalskega izvora človeka obremenjujejo in načenjajo njegovo zdravje.

Tla predstavljajo naravni filter za meteorne vode, ki se ob prehodu skozi tla obogatijo z minerali in pridobijo vse lastnosti kvalitetne pitne vode. Vsako onesnaženje tal se zato odrazi tudi na kvaliteti pitne vode, s tem pa spet vpliva na zdravje človeka.

Vpliv kontaminranih tal na zdravje je lahko posledica:

- zaužitja zemlje ali druge kontaminirane snovi, kar je najbolj verjetno pri majhnih otrocih,
- pitja vode, ki je onesnažena zaradi onesnažene zemlje na vodozbirnem območju,
- inhalacije prahu, ki vsebuje nevarne snovi,
- uživanja sadja in zelenjave, ki je zrasla na kontaminirani zemlji,
- uživanje živil živalskega izvora, če so živali prekomerno obremenjene s škodljivimi snovmi, ki so jih vnesle preko hrane,
- stika kože s onesnaženo zemljo (zlasti, kadar je zemlja onesnažena z organskimi snovmi, ki so topne v maščobi).

Visoke koncentracije škodljivih snovi v tleh lahko vodijo do resnih posledic za zdravje, ki se običajno pojavijo kmalu po izpostavljenosti. Taki primeri so sorazmerno redki.

Raziskave so pokazale, da predstavlja vnos nekaterih škodljivih snovi v telo znatno tveganje za zdravje tudi v primeru, ko so koncentracije teh snovi sorazmerno nizke, vendar pa je čas izpostavljenost dolgotrajen. Še posebej velja to za snovi, ki se v telesu akumulirajo, kot so na primer kadmij, svinec in živo srebro ali poliklorirani bifenil (PCB). Zaradi nizke stopnje izločanja teh snovi iz organizma, pride lahko, tudi ob uživanju nizkih koncentracij, do pomembne akumulacije v organizmu, kar vodi v patološke spremembe. Za prebivalstvo, ki ni poklicno izpostavljeno, predstavljata hrana in pijača zelo pomemben vir škodljivih snovi.

Primer

Otroci, ki so se igrali v jahalnih arenah v Missouriju (USA) v zgodnjih 70-ih so bili izpostavljeni industrijskim odpadkom pomešanimi z odpadnimi olji, ki so jih razpršili po tleh za preprečevanje dviganja prahu. Otroci so razvili simptome kot so: glavobol, bolečine v trebuhu, krvavenje iz nosu, izguba telesne teže in pojav kemično izzvanih aken. Drugi primer je iz province Jinzu na Japonskem. Tu so se pri nekaterih ženah pojavile hude deformacije skeleta, ki so jih spremljale močne bolečine. Vzrok temu je bilo uživanje riža, ki je zrasel na območju, ki je bilo zelo onesnaženo s kadmijem. Do onesnaženja s kadmijem je prišlo, ker so namakali polje z vodo, v katero so se stekale odpadne vode iz industrijskega kompleksa.

Trdne odpadne snovi

Odpadki, ki nastajajo med proizvodnjo in potrošnjo, imajo pomembno vlogo pri onesnaževanju tal, še zlasti, kadar je njihova količina velika in ravnanje z njimi ni ustrezno. Posledice neustreznega ravnanja z odpadki, so dolgoročne in jih ne zaznamo takoj in neposredno. Lahko jih samo predvidevamo.

Učinki odpadkov na zdravje so odvisni od načina odlaganja, higienskih pogojev ter od geografskih in hidrometeoroloških razmer na določenem območju. Najpogostejši so:

- Širjenje nalezljivih bolezni. Neurejeno odlagališče odpadkov privablja in ugodno vpliva na rast populacije glodalcev in insektov, ki so prenašalci povzročiteljev nalezljivih bolezni in predstavljajo resno grožnjo zdravju prebivalstva.
- Onesnaženje vodnih virov. Izcedne vode iz odlagališča prodirajo v podtalnico. V primeru, da je ta podtalna voda v stiku z virom pitne vode, obstaja nevarnost okužbe s povzročitelji nalezljivih bolezni.
- Nevarnost eksplozije in požara. Metan, ki se sprošča na zemeljskih odlagališčih je eksploziven in naselja v območju teh odlagališč so v nevarnosti zaradi širjenja metana, pa tudi eksplozij in požarov.

- Hrup. Hrup, ki ga povzroča pobiranje in odvažanje odpadkov deluje moteče in ima negativni vpliv na zdravje zaposlenih.
- Smrad. Neprijeten vonj, ki ga širijo razpadajoči odpadki sam po sebi ni škodljiv, deluje pa moteče tistim, ki živijo v bližini odlagališča. Odlagališče je težko sprejemljivo tudi zaradi videza, saj moti estetsko podobo pokrajine. V primeru, ko se odpadki ne prekrivajo sproti z inertnim materialom, prihaja zaradi vetra tudi do raznosa odpadkov na širše območje.
- Ogroženo je zdravje zaposlenih pri ravnanju z odpadki. Emisije v zrak iz kompostarn in pri sortiranju odpadkov, predstavljajo veliko tveganje za zdravje zaposlenih. Obstaja tudi nevarnost poškodbe z ostrimi okuženimi predmeti (HIV, virus hepatitisa B in C).

Količina in struktura odpadkov se spreminja glede na stopnjo razvitosti posamezne družbe. Preglednica 11-5 prikazuje količine komunalnih odpadkov na prebivalca v določenih okoljih.

Preglednica 11-5: Tipične količine komunalnih odpadkov na prebivalca

Vrsta države	**Količina odpadkov na prebivalca (kg/dan)**
Razvite države	0,8 do 3,0
Države v razvoju	0,5 do 0,8
Nerazvite države	0,3 do 0,6

Vir: WHO-PEH

Da z odpadki v bodoče ne bo mogoče več ravnati na tak način kot doslej, je medtem jasno že vsem. V razvitih okoljih, kjer je problematika odpadkov posebej pereče, tako zaradi količine odpadkov, kot tudi zaradi pomanjkanja ustreznega prostora za odlaganje, je sprejeta dolgoročna usmeritev na področju ravnanja z odpadki, ki temelji na naslednjih načelih:

- doseči je treba precejšnje zmanjšanje količin odpadkov, boljšo učinkovitost virov in premik k bolj trajnostnim vzorcem proizvodnje in porabe;
- znatno je treba zmanjšati količine odpadkov, namenjenih za odlaganje, in količine proizvedenih nevarnih odpadkov, da bi se izognili emisijam v zrak, vodo in tla;
- spodbujati je treba ponovno rabo odpadkov in nameniti je treba prednost predelavi ter zlasti recikliranju

odpadkov tako, da se količina odpadkov za odlaganje pomembno zmanjša;

- spodbujati je treba uporabo energije izobnovljivih virov, to je iz odpadkov biološkega izvora.

Količine *komunalnih* odpadkov, ki jih jepotrebno odložiti na odlagališču odpadkov, je mogoče zmanjšati z ustreznim ločevanjem posameznih vrst odpadkov ter zagotovitvijo njihove snovne in energetske izrabe. Ločeno zbiranje nevarnih komponent pa zmanjšuje nevarnostni potencial, ki ga predstavljajo odpadki v okolju.

Preglednica 12-5 Struktura komunalnih odpadkov

TIPIČNA SESTAVA KOMUNALNIH ODPADKOV: 1999 v % teže						
DRŽAVA	**papir**	**plastika**	**steklo**	**kovine**	**organski**	**ostlo**
Indija	**7**	**1**	**1**	**1**	**49**	**41**
Nepal	**7**	**< 0,5**	**1**	**5**	**67**	**20**
Kitajska	**2**	**0,5**	**0,5**	**0,5**	**16**	**80,5**
Velika Britanija	**29**	**7**	**10**	**8**	**25**	**21**
ZDA	**38**	**8**	**7**	**8**	**25**	**14**
Japonska	**38**	**11**	**7**	**6**	**32**	**6**
Belgija	**30**	**4**	**8**	**4**	**45**	**9**
Francija	**31**	**10**	**12**	**6**	**25**	**16**
Grčija	**22**	**11**	**4**	**4**	**49**	**10**
Španija	**20**	**7**	**8**	**4**	**49**	**12**
Čehoslovaška	**10**	**6**	**8**	**6**	**7**	**63**
Madžarska	**22**	**6**	**6**	**5**	**-**	**61**
Poljska	**10**	**10**	**12**	**8**	**38**	**22**
Švica	**28**	**14**	**3**	**3**	**27**	**25**
Slovenija-Celje*	**25**	**21**	**3**	**20**	**19**	**12**

Vir: WHO, Local authorities, health and environment: Contaminated Land
****Podatki strukture komunalnih odpadkov, ki jih zberejo v Centru za ravnanje z odpadki v Celju.***

Učinkovito in za družbo sprejemljivo ravnanje z odpadki zahteva veliko število ukrepov in dejavnosti, ki so med seboj tesno povezani in se dopolnjujejo. Postavljene cilje je mogoče doseči ob najširšem razumevanju vpliva problematike odpadkov na razvoj ter ob soglasju najširše javnosti pri umeščanju objektov in naprav v prostor.

Izkušnje okolij, kjer so uspeli uveljaviti tak način ravnanja z odpadki, ki je sprejemljiv za okolje in prebivalstvo, kažejo, da je nujno potrebno izdelati primerne zakonske osnove ter uveljaviti temeljne ekonomske principe, kot na primer: uvedba dajatev za imetnike – povzročitelje odpadkov, višji stroški odlaganja odpadkov, olajšave v primeru uvajanja rešitev v smislu zmanjševanja odpadkov, sofinanciranje predelave odpadkov ipd., kar spodbuja snovno in energetsko izrabo odpadkov ter zmanjševanje njihove škodljivosti z razstrupljanjem ter kemičnim, termičnim oziroma biološkim stabiliziranjem.

Poti za dosego ciljev ustreznega ravnanja z odpadki

Za dosego v sodobnem svetu uveljavljenega načina ravnanja z odpadki je potrebno tudi v Sloveniji:

- Zagotoviti najvišjo stopnjo ločevanja odpadkov na izvoru (v gospodinjstvih in gospodarstvu). Posebno pomembno je ločeno zbiranje nevarnih snovi, odpadkov, ki predstavljajo sekundarne surovine ter biomase;
- Dodatno sortirati odpadke na odlagališču, da se izločijo nevarni odpadki in odpadki, ki predstavljajo sekundarne surovine;
- Zbrane biološke odpadke kompostirati;
- Sekundarne surovine posredovati uporabnikom;
- Začasno skladiščiti nevarne snovi iz gospodinjstev na predpisan način v objektih na odlagališču. Njihova dokončna odstranitev je odvisna od vrste odpadka (sežiganje, nevtralizacija, vračanje proizvajalcu);
- Ustrezno ravnanje z industrijskimi odpadki;
- Ustrezno ravnanje z nevarnimi odpadki, ki nastanejo med industrijsko proizvodnjo (nevtralizacija, ponovna uporaba v proizvodnem procesu, termična obdelava, odlaganje v posebni, nepropustni embalaži na ustreznem mestu).

POGLABLJANJE-VIRI INFORMACIJ

Sevanje	http://www.irpa.net/ http://www.iaea.org/ http://www.who.int/ http://www.forum-ems.si http://www.inis.si http://www.icnirp.de http://www.uvps.gov.si/ http://www.ursjv.gov.si/
Zrak	http://www.who.nl/ http://themes.eea.eu.int/ http://www.sigov.si/mop/ http://www.epa.gov/epahome/resource.htm http://www.arso.gov.si
Voda	http://www.who.dk/ http://themes.eea.eu.int/ http://www.sigov.si/mop/ http://www.epa.gov/epahome/resource.htm
Živila	http://www.efsa.europa.eu/ http://www.who.int/topics/food_safety/en/ http://www.who.int/topics/foodborne_diseases/en/ http://www.mkgp.gov.si/si/delovna_podrocja/varna_hrana/ http://www.mz.gov.si/si/zakonodaja_in_dokumenti/veljavni_predpisi/varnost_in_zdravstvena_us http://www.fao.org/ag/agn/agns/foodsafety_en.asp http://www.haccpalliance.org/sub/index.html
Tla:	http://themes.eea.eu.int/ http://www.sigov.si/mop/ http://www.epa.gov/epahome/resource.htm