

# Komparativna procjena zdravstvenih rizika pri proizvodnji električne energije u raznim energetskekim sustavima

Aleksandar Racz

Zavod za zaštitu zdravlja grada Zagreba, Služba za zdravstvenu ekologiju, Zagreb

## Sažetak

U radu se iznosi pregled komparativnih procjena zdravstvenih rizika kojima je izložena opća populacija od strane različitih tehnologija za proizvodnju električne energije.

Upozorava se na izravne i neizravne utjecaje pri rutinskom radu i u slučaju akcidentnih stanja, a učinci se promatraju kroz kratkoročni, srednjoročni i dugoročni vremenski razmak. Veličina i značaj zdravstvenih rizika sagledavaju se u svim fazama tehnološkog procesa.

Analiziraju se tri skupine tehnologija: (1) one koje kao sirovinu upotrebljavaju fosilna goriva ili biomasu (ugljen, naftu, plin, drvo...), (2) one koja kao sirovinu upotrebljavaju energiju sunca, vode i vjetra te (3) one koje se služe nuklearnim gorivom. Veličina i značaj rizika procjenjuje se za svaku promatranu skupinu tehnologija.

Da bi se mogle usporediti raznovrstne tehnologije, odstupilo se od standardnih zdravstveno-statističkih stopa (mortalitet); kompariralo se s obzirom na broj smrtnih slučajeva po standardnoj jedinici proizvodnje električne energije.

Zaključno, iznose se procjene o zdravstveno-ekološki najprihvatljivijim tehnologijama (hidrocentrale), odnosno upozorava se na zdravstveno vrlo opasne (termoelektrane na ugljen, plin, naftu).

**Ključne riječi:** procjena zdravstvenih rizika, proizvodnja električne energije, tipovi elektrana, zdravstveni rizici

## 1. UVOD

Svrha ovoga rada jest da upozori na bitne elemente o kojima valja voditi računa pri procjenjivanju zdravstvenih rizika koji nastaju pri proizvodnji električne energije.

Studije komparativnih procjena rizika obično donose pregled dostignutog stupnja znanja na određenom području (u ovom slučaju na području procjene zdravstvenih rizika), upozoravaju na relevantne zdravstvene učinke pojedinih tehnoloških sustava za proizvodnju električne energije te, ukoliko je moguće, predočuju rezultate komparativnih analiza veličine i značaja zdravstvenih rizika od različitih sustava za proizvodnju električne energije.

Spoznaje predočene u ovom radu dominantno se temelje na iskustvima, preporukama i zaključcima Internacionalne ekspertne skupine sastavljene na inicijativu IAEA i CEC, a pod vodstvom M. J. Chadwicka (*Stockholm Environmental Institute*; Chadwick i sur., 1992) te na analizi mjerodavne literature.

Pritom se zadržavamo isključivo na zdravstvenim rizicima, svjesni goleme važnosti ekoloških, socioloških, psiholoških, ekonomskih, političkih i drugih mogućih rizika.

## 2. DEFINIRANJE PROBLEMA

Moguće štetne utjecaje na zdravlje od različitih sustava za proizvodnju električne energije možemo uvjetno podijeliti na dvije skupine:

a) **stvarni utjecaji** – nastaju kao neposredna posljedica aktivnosti koje uzrokuju nesposobnost, bolest ili smrt zbog izloženosti ljudskog organizma djelovanju štetnih supstancija koje se ispuštaju kontinuirano ili akcidentno. U ovu skupinu ulaze npr. smrtni slučajevi ljudi izloženih ionizacijskom zračenju ili kemijskim kancerogenima;

b) **neizravni utjecaji** – nastaju kao posljedica slabije prepoznatljivih, odgođenih ili kasnijih učinaka događaja koji naoko izravno ne utječu na ljudsko zdravlje, ali koji u bližoj ili daljoj budućnosti mogu ipak na nj štetno utjecati. U tu skupinu ubrajaju se npr. neizravni utjecaji globalnog zagrijavanja ili kiselih kiša na ljudsko zdravlje. Pri procjenjivanju veličine i značaja zdravstvenih rizika ti se rizici vrlo često zanemaruju ili se ne prepoznaju.

Nadalje, pri provođenju komparativnih studija procjene rizika treba strogo razlikovati zdravstvene rizike od svih drugih mogućih rizika i uspoređivati isključivo unutar zdravstvene tematike.

S obzirom na izvor rizika valja razlikovati:

a) negativne učinke nastale pri normalnom, rutinskom radu;

b) učinke nastale pri neočekivanim, nepredvidljivim situacijama (akcidentna stanja).

Ovisno o duljini ekspozicije, razlikujemo tri skupine rizika:

a) **kratkoročne** (*short term*);

b) **srednjoročne** (*medium term*);

c) **dugoročne** (*long term*).

Populacija koja je izložena može se grubo podijeliti na:

a) **radnike** u dotičnom sustavu proizvodnje električne energije (tada govorimo o profesionalnoj izloženosti);

b) **lokalno stanovništvo** (svi oni koji žive u zoni utjecaja dotičnog sustava).

Zdravstveni učinci koji se javljaju pri djelovanju štetnih činitelja mogu – grubo gledano – biti:

a) **fatalni** – riječ je o smrtnim ishodima;

b) **nefatalni** – riječ je o svakom drugom poremećaju zdravlja, osim smrtnog ishoda.

Pritom i jedna i druga skupina posljedica mogu biti:

a) **neposredne** (rezultat izravnog djelovanja);

b) **odgođene** (rezultat kronične, dugotrajne izloženosti štetnom činitelju).

## 3. METODOLOGIJA

Pri procjenjivanju i pokušaju kvantifikacije zdravstvenih učinaka nastalih djelovanjem sustava za proizvodnju električne energije oslanjamo se na tri moguća izvora spoznaje:

a) **analizu ranijih iskustava** i prošlih događaja;

b) **eksperimentalni rad** i pokuse na životinjama, rezultati kojih se potom ekstrapoliraju na čovjeka;

c) predikcijske modele o uzročno–posljedičnim vezama fizikalno–kemijskog agensa i poremećaja koji on izaziva u promatranom sustavu.

Dva su osnovna teorijska modela za procjenu stupnja rizika pri izloženosti niskim dozama štetnog djelovanja, o kakvima je uglavnom riječ u procjeni zdravstvenih rizika od elektroenergetskih postrojenja. Jedan je tzv. *linear no–treshold model*, a drugi *additivity assumption model*, pri čemu se potonji može primjenjivati samo za toksične supstancije koje nalazimo u prirodi, uključujući i radiaktivnost. Budući da epidemioloških podataka i odgovarajućih retrospektivnih i prospektivnih studija nema, zadržavamo se uglavnom na razini eksperimenta i predikcijskih modela. Posljedica toga jest relativno velika nesigurnost pri donošenju zaključaka i predviđanju mogućih budućih zdravstvenih posljedica postojećih – a još više onih tek planiranih – elektroenergetskih objekata. Metodološki gledano, poteškoće nastaju i zbog niza nesigurnosti s kojima se susrećemo pri takvim procjenama:

1) Nedostupnost vjerodostojnih podataka prikupljenih i predočenih u konzistentnom i konkretnom obliku važan je izvor nesigurnosti, jer nema sistematske međunarodne ili nacionalne baze podataka koja bi sadržavala podatke o zdravstvenim učincima nastalim pri proizvodnji i distribuciji električne energije.

2) Neke tehnologije proučavane su relativno dugo u nizu zemalja (termoelektrane), dok su iskustva s nekim drugim tehnologijama kratkotrajna (elektrane na vjetar, solarne...).

3) Znanje o sinergističkim mehanizmima pri nastanku zdravstvenih poremećaja nije dovoljno.

4) Posljedice mogu biti prikrivene, latentne, odnosno mogu se iskazati tek u idućim naraštajima.

5) Nedostaju spoznaje o gornjim granicama odnosa doza–djelovanje.

6) Za niz štetnih faktora, poput ionizirajućeg zračenja ili kemijskih kancerogena, među stručnjacima još uvijek nije potpuno definirano postoji li ili ne postoji »minimalna dopuštena doza« ispod koje poremećaji ne nastaju.

7) Stroge granice između raznovrsnih sustava za proizvodnju električne energije ne mogu se točno odrediti, pa je prema tome, nemoguće potpuno odijeliti štetne zdravstvene učinke koje oni uzrokuju, a što je za uspoređivanje nužno.

8) Nedostaje jedinstveni integrirajući indikator rizika koji bi sadržavao razne elemente i dimenzije zdravstvenih rizika, zajedno s ostalim elementima i dimenzijama rizika, poput socioloških, ekoloških, psiholoških, nego svaki od pojedinih rizika valja zasebno proučavati te uspoređivati sustave samo unutar toga rizika.

9) Spoznaje i iskustva o veličini i značaju zdravstvenih rizika do kojih se došlo proučavajući jednu populaciju mogu se – zbog niza socijalnih, demografskih, kulturnoloških, ekonomskih, političkih i drugih posebnosti – samo uz istaknute ograde ekstrapolirati na predikciju mogućih rizika u nekoj drugoj populaciji.

#### 4. NEKI MOGUĆI ŠTETNI ZDRAVSTVENI UČINCI NASTALI PRI PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE RAZLIČITIM TEHNOLOGIJAMA

S obzirom na bitno različite zdravstvene učinke koje uzrokuju, tehnologije proizvodnje električne enrgije mogu se podijeliti na tri velike skupine:

**SKUPINA A** kao sirovinu uzima velike količine fosilnog goriva ili biomase (ugljen, naftu, plin, drvo ili neki drugi oblik biomase), pri sagorijevanju kojih se stvaraju razmjerno velike količine plinovitih i/ili krutih otpadaka koji ugrožavaju zdravlje stanovništva – opće populacije i profesionalno ugroženih.

**SKUPINA B** kao »sirovinu« uzima energiju vjetera, sunca ili vode, za čije je iskorištavanje potreban velik prostor ili pak izgradnja vrlo skupih postrojenja kako bi se izvorna energija pretvorila u električnu. Otpadni i nusproizvodi uvjetno su zanemarivi, a rizik za populaciju gotovo isključivo nastaje kao posljedica mogućih akcidenata poput požara, rušenja brana itd.

**SKUPINA C** za proizvodnju električne energije uzima nuklearno gorivo, kojega u Zemljinoj kori ima vrlo malo. Rizici za populaciju ocjenjuju se pri rutinskom radu kao vrlo mali, dok je potencijalni izvor opasnosti još uvijek neriješen problem trajnog zbrinjavanja radioaktivnog otpada. Međutim, nesigurnosti pri procjenjivanju rizika u ovoj skupini tehnologije najveće su, i to stoga što su naša iskustva s upotrebom nuklearne energije vrlo kratkotrajna (tek četrdesetak godina), a veličinu i značaj zdravstvenih rizika teško je gledati zbog toga što se učinci javljaju odgođeno, u nekoliko naraštaja. Postoji i opravdana nesigurnost u vjerodostojnost dosadašnjih iskustava, jer najnovija epidemiološka istraživanja provedena u Velikoj Britaniji upozoravaju drukčije zdravstvene posljedice od onih očekivanih po modelima predikcije.

Pri procjenjivanju veličine i značaja zdravstvenih rizika pojedinih tehnologija potrebno je, prema uputama IAEA, proučavati cjelokupan tehnološki proces dobivanja električne energije (*fuel cycle*), koji sadrži niz procesa: dobivanje goriva; prijevoz goriva; skladištenje i čuvanje; obradbu ili preradbu goriva; pretvorbu goriva; prijevoz i distribuciju proizvedene električne energije do konačnih potrošača. Pritom se u krug uključuje i proces zbrinjavanja i iskorištavanja otpada koji nastaje u cjelokupnom procesu. Smatra se da bi procjenjivanje zdravstvenih rizika sagledavanjem samo jednoga izdvojenog segmenta cijeloga ovog procesa bila metodološka pogreška (npr. uspoređivanje rizika samo u procesu pretvorbe goriva), pa je u ovom radu primijenjeno sagledavanje cjelokupnog *fuel cyclea*.

Da bi se zdravstveni rizici od različitih tehnologija mogli uspoređivati valja je odstupiti od uobičajenog iskazivanja fatalnih rizika kao stope mortaliteta (broj umrlih u godinu dana na 100.000 izloženih), odnosno iskazivanje nefatalnih rizika kao stope morbiditeta (broj oboljelih u godinu dana na 100.000 izloženih). Umjesto da se smrtni slučajevi iskazuju na 100.000 izloženih, IAEA predlaže iskazivanje broja fatalnih (smrtnih) slučajeva u odnosu na »standardnu jedinicu proizvodnje električne energije«. Kao jedinica uzima se broj smrtnih slučajeva godišnje po proizvedenom GW električne energije i označuje se kao *No of deaths per 1 GW(e)*.

## SKUPINA A:

### A) zdravstveni rizici pri korištenju ugljena

Predikcijski model prikazan u studiji UNEP-a (UNEP, 1985) polazi od pretpostavke da se koristimo ugljenom koji sadrži 2% sumpora i 9% pepela te da se ugljen spaljuje u termoelektrani snage 1000 MW, iz koje se plinovi otpuštaju bez prethodnog odsum-

poravanja. Visine dimnjaka u modelu iznose 305 m, pri čemu u krugu od 80 km živi 2.200.000 stanovnika.

Tako postavljen model pokazuje da se – grubo gledano – mogu razlikovati dvije skupine izložene populacije: radna i opća, i to u svim fazama ciklusa (kopanju, prijevozu i spaljivanju ugljena u TE). Interes ovoga rada zadržava se na sagledavanju rizika za opću populaciju, pa će on biti temeljito prikazan. Ilustracije radi, u analizi zdravstvenih rizika pri korištenju ugljena prikazat će se i mogući rizici u radnoj populaciji, kojima su vrlo srodni i rizici radne populacije u ostalim ciklusima goriva.

Radna populacija izložena je ovim rizicima:

a) u fazi kopanja rudače:

- smrtne nesreće u rudnicima – od zarušavanja, eksplozija, požara ili od alata;
- ozljede kao posljedica obradbe materijala;
- »bolest rudara«, koja obuhvaća čitav niz oboljenja nastalih kao posljedica izloženosti prašini, poput pneumokonioze, silikoze, bronhitisa;
- »vibracijska bolest« kao posljedica upotrebe vibrirajućih alata koji dovode do bolova u kostima, zglobovima i mišićima, bursitisa, Reynauldova sindroma.

Broj smrtnih slučajeva u profesionalnoj populaciji procjenjuje se u ovoj fazi pri površinskom kopu na: neposrednih smrti 0.123 i kasnijih smrti 0.24.

Opća populacija u ovoj fazi nije izložena štetnim rizicima.

b) U fazi transporta neposredna smrtnost posljedica je prometnih nesreća. U općoj populaciji rizik se kreće od 0.37 do 0.54 (željeznički promet) 0.6–2.4 (cestovni promet) i 0.07–0.28 (morski promet). Vidi se da je cestovni promet daleko najopasniji za opću populaciju.

U profesionalnoj populaciji rizik iznosi 0.014–1.23, ovisno o prijevozu: željeznicom, cestovnom ili morskom.

c) Pri samoj proizvodnji električne energije u TE. Neposredni zdravstveni rizik opće populacije prije svega posljedica je izloženosti emisijama štetnih plinova nastalih u fazi konverzije, a to su: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>x</sub>, policikličke organske tvari, leteće čestice, prašina, teški metali i radionuklidi. Kao posljedica izloženosti ljudskog organizma tim faktorima nastupa trovanje, rak i bolesti dišnih putova.

Nadalje, zbog kasnijeg *taloženja* nekih ispuštenih spojeva poput teških metala i radionuklida ili njihova ispiranja oborinama dolazi do **neizravnih zdravstvenih rizika** uslijed zagađivanja podzemnih i površinskih voda, što ujedno zagađuje i dostupne izvore pitke vode.

Na isti način zagađuje se i tlo, što posredno štetno djeluje na zdravlje stanovništva, jer nataložene čestice (npr. teški metali) mogu ući u lanac prehrane preko biljaka ili životinja (meso, mlijeko, jaja) i konačno se skupljati u ljudskom organizmu.

U neizravne zdravstvene rizike ubrajamo i moguće nesreće, npr. zbog klizanja tla uslijed odlaganja otpadnih produkata nastalih u procesu proizvodnje električne energije.

Radnici u TE izloženi su iritacijskom djelovanju prašine i u njih se javlja bronhitis, azbestoza, pneumokonioza. Izloženi su djelovanju buke, pa se s njom u vezi javljaju oštećenja sluha, kao i trajna opasnost od ozljede.

Neposredni rizik procjenjuje se u rasponu od 0.03 do 0.44.

Poseban su problem mogući neizravni zdravstveni učinci nastali kao posljedica globalnih klimatskih promjena na Zemlji uzrokovanih uništavanjem ozona i global-

nim zagrijavanjem (efekt staklenika), što je izravno povezano s ispuštanjem  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_x$  i drugih štetnih plinova iz termoelektrana.

WHO vidi posredne zdravstvene učinke prije svega u trima pojavama (WHO, 1985):

- a) u toplinskom stresu kojem će biti izložene osjetljive populacijske skupine (djeca i starije osobe),
- b) u regrutiranju velikog broja izbjeglica koji napuštaju svoj dom zbog gladi (*environmental refugees*),
- c) u alteracijama u vektorima koji prenose bolesti (komarci, štakori) i ponovnom izbijanju endemičnih bolesti (npr. malarije).

Zbrajajući sve navedene posredne zdravstvene učinke na opću populaciju, dolazi-mo do 0–77 smrtnih slučajeva pri proizvodnji električne energije u TE.

Sličnu računicu napravili su Morris i sur. (1979), procjenjujući rizik na 1.7 prenatalnih smrti po 1 TE godišnje na 1.000.000 stanovnika.

## B) Zdravstveni rizici pri korištenju nafte i njezinih derivata

Uzimajući kao gorivo naftu i njezine derivata, rizici za opću populaciju javljaju se u fazi prijevoza i same proizvodnje električne energije u TE na tekuća goriva.

Modeli upotrijebljeni u studijama Huberta (1981), Blacka i Neihausa (1980) te Mietinnena (1976) procjenjuju da pri visini dimnjaka TE od 85 m štetnim utjecajima biva izloženo 163.500 ljudi u radijusu od 20 km, odnosno 908.100 ljudi u radijusu od 100 km. Modelirana maksimalna transportna udaljenost procjenjuje se na 400 km.

Glavni zdravstveni rizici u fazi prijevoza posljedica su mogućih nesreća i procje-njuju se na 0.005, odnosno 0.0008, u prijevozu brodovima, 0.1 u željezničkom prijevozu i 1.0 u cestovnom prijevozu.

Izravni zdravstveni rizici u fazi proizvodnje električne energije posljedica su izloženosti emitiranim  $\text{SO}_2$ , CO i  $\text{NO}_x$ , policikličkim organskim spojevima i ugljiko-hidratima, zbog čega se javljaju bolesti dišnog trakta, trovanja i rak. Daljnji mogući rizici jesu mogućnost izbijanja požara i eksplozija.

Neizravni zdravstveni rizici slični su neizravnim rizicima pri upotrebi ugljena, s tim što se javljaju mogućnosti specifičnog onečišćenja tla i vode ispuštanjem nafte pri eksploataciji (bilo *off shore* ili *onshore*) ili u prijevozu što dovodi do zagađivanja izvora pitke vode.

Izračunati rizici kreću se u rasponu od 0 do 13 (UNEP, 1985), odnosno 6.0–24.1 (Hubert i sur., 1981) te 1.1–7.5 (Black i Neihaus, 1980), ovisno o autoru.

## C) Zdravstveni rizici pri korištenju prirodnog plina

Rizici za opću populaciju ponovno se javljaju u fazi prijevoza i iznose 0.2 (Black i Neihaus, 1980). Ovdje su u prvom redu posljedica izloženosti  $\text{NO}_x$  kao glavnom štetnom proizvodu sagorijevanja, ali su vidno manji nego pri sagorijevanju ugljena, odnosno nafte, i iznose 0.001 (Morris i sur., 1979) ili 0.0025–0.017 (Black i Neihaus, 1980).

## D) Zdravstveni rizici pri korištenju nekih drugih goriva

Pri upotrebi treseta (*peat cycle*) rizici u fazi prijevoza kreću se u rasponu od 0.90 do 1.4, dok su u fazi proizvodnje 0.9–1.9 (Lautraski i sur., 1982).

Pri upotrebi *tar sands cycle* neizravni zdravstveni rizici u fazi proizvodnje procjenjuju se od 0 do 13 (UNEP, 1985) i objašnjavaju se izloženosti opće populacije kancerogenim i toksičnim česticama u fazi proizvodnje, kao i mogućim indirektnim zdravstvenim posljedicama zagađivanja pitke vode.

## SKUPINA B:

Procjena rizika pri upotrebi tehnologije iz ove skupine (korištenje sunčeve energije, vjetra, plime i oseke, termalnih i geotermalnih izvora) zasniva se na puno nesigurnijim podacima i mnogo je slabije obrađena u literaturi.

Procjenjuje se da se pri iskorištavanju geotermalnih izvora zdravstveni rizici pripisuju prije svega toksičnim emisijama u vodu i zrak, kao i toksičnom mulju koji zaostaje nakon upotrebe fluida. Glavni štetni čimbenici jesu  $H_2Si$  i Hg, a rizik se procjenjuje na 0.33 (Layton i sur., 1981).

Pri upotrebi biomase (drveta) rizici se procjenjuju na 1.8 (UNEP, 1985), a pripisuju se visokim emisijama lebdećih čestica i  $SO_2$  (vrijednosti kojih su niže nego pri upotrebi ugljena ili nafte), kao i emisijama policikličkih organskih čestica (2.8). Poseban je problem upotreba pesticida, herbicida i gnojiva, koji mogu biti izravan (trovanje) ili neizravan (zagađivanje vode) izvor zdravstvenih rizika.

Pri korištenju vodenog potencijala rizici se procjenjuju u rasponu od 0.2 do 2.8, a pripisuju se mogućim poplavama nakon izlivanja i prelijevanja voda iz akumulacije, mogućem klizanju tla te skupini rizika koje nastaju zbog povećanog razmnažanja vektora koji prenose bolesti.

Iskorištavanje vjetra kao izvora energije za pretvaranje u električnu energiju još nije dovoljno istraženo, a iskustva su presiromašna da bi se rizik mogao izračunati. Upozorava se na važan problem buke kao najznačajnijeg izvora štetnih utjecaja na zdravlje opće populacije.

Poseban su problem tehnologije koje spaljuju otpad, i to zbog mogućeg otpuštanja  $H_2S$ ,  $CO_x$ ,  $NO_x$  i čestica prilikom spaljivanja, uključujući čitav niz toksičnih supstancija poput dioksina, dibenzofurana, klorovodične kiseline, koji se posebice javljaju ako se spaljuje PVC materija. Moguća su zagađenja vode živom, kadmijem i ostalim teškim metalima, a poseban je problem visokotoksični otpad koji ostaje nakon spaljivanja a valja ga trajno deponirati.

## SKUPINA C:

U skupinu C uključeni su različiti tipovi postrojenja koja upotrebljavaju nuklearna goriva. Pritom se misli na:

- a) LWR – lakovodne reaktore;
- b) HTR – visokotemperaturne reaktore;
- c) FBR – brze oplodne reaktore.

Rizici za populaciju javljaju se u cjelokupnom procesu (*nuclear cycle*), a propisuju se izloženosti niskim dozama radioaktivnosti iz *stockpilea* i rutinskoj ventilaciji pri proizvodnji električne energije te radijaciji u fazi reprocesiranja i skladištenja otpada.

U fazi iskorištavanja rudače rizik se procjenjuje na 0.05 (UNEP, 1985); u fazi procesiranja na 0.015–0.1; u fazi prijevoza na 0.021 (Hubert i sur., 1981); u fazi proizvodnje električne energije na 0.0004 (Hubert i sur., 1981), ali i na 0.04 (Halbritter, 1982); u fazi reprocesiranja na 0.1 (Halbritter, 1982); u fazi odlaganja otpada na 0.00002–0.01.

Poseban su problem moguće izloženosti visokim dozama zračenja u slučaju akcidenta.

Međutim, neka iskustva unatrag nekoliko godina upućuju na statistički dokazanu pojavu povećane incidencije krvnih malignih bolesti u djece u dobi do 4 godine koja žive u radijusu od 10 km od središta nekih nuklearnih postrojenja, a zabilježena su na nekim mjestima u Velikoj Britaniji (Openshaw i sur., 1988; Roman i sur., 1987; Urquhart i sur., 1986; Cook–Mozaffari, 1987). To se poglavito odnosi na pojavu akutne limfatičke leukemije (ALL) u Engleskoj i Walesu (Cook–Mozaffari, 1987).

Pokazatelji izneseni u navedenim studijama bacaju novo svjetlo na ocjenjivanje veličine i značaja zdravstvenih rizika pri proizvodnji električne energije u NE, jer su oni rezultat istraživanja na polju ekološke epidemiologije (*environmental epidemiology*) i kao takvi imaju veću težinu od podataka i procjena dobivenih kompjutorskim modelima predikcije. Valja istražiti i dokumentirati je li uočena povećana incidencija ALL u skupini djece u dobi do 4 godine doista nastala pri rutinskom radu, *lege artis* operirane kontrolirane tehnologije, a pod utjecajem minimalnih rutinskih emisija, ili je ipak riječ o neotkrivenim akcidentnim emisijama.

Posebno su neistraženi posredni i odgođeni učinci akcidentnih situacija pri upotrebi NE za dobivanje električne energije. Iako je izravna posljedica havarije NE u Černobilu 1986. godine 31 neposredna smrt, kalkulacije kasnijih (odgođenih) smrtnih slučajeva variraju do kataklizmičkih predviđanja od nekoliko stotina tisuća umrlih. Zasad je još nepoznato kakvi će biti zdravstveni učinci kao posljedica neposredne evakuacije oko 130.000 tisuća ljudi iz okolice reaktora, kao i zdravstvene posljedice zagađivanja velikih površina.

## 5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Nakon iznošenja pojedinačnih procjena zdravstvenih rizika pri proizvodnji električne energije različitim tehnologijama, prikazat ćemo rezultate komparativne procjene zdravstvenih rizika na temelju nekoliko studija, od kojih je studija Fritzschea (1989) teorijski najpotpunija. U njoj se kao indikator zdravstvenih rizika primjenjuje ranije upotrebljavan indeks: »broj smrtnih slučajeva/GW«. Istim indeksom služile su se i neke druge komparativne studije (UNEP, 1981; CEPH, 1981; Ferguson, 1981; UNEP, 1985), a kadkada su se upotrebljavali i indeksi poput »broja izgubljenih radnih dana za vrijeme života« (Chadwick, 1992).

Fritzscheova studija pokazala je da su neposredni, direktni zdravstveni rizici najviši pri proizvodnji električne energije u TE na ugljen, zatim slijede TE na plin te one u kojima se kao gorivo upotrebljava nafta i njezini derivati. Rizici pri nuklearnoj opciji niži su 10–100 puta nego pri opcijama na kruta goriva (prema Fritzscheu), i to kako LWR, tako i kod HTR i FBR tipu reaktora. Između njih nalaze se rizici nastali pri pretvaranju energije vjetra, vode, biomase te solarne energije u električnu.

Konkretno, akutni rizik, izražen u broju smrtnih ishoda/GW, iznosi za cikluse:



1. ugljena	0.1-1
2. plina	0.01-0.1-0.3
3. nafte	0.01-0.1
4. solarne energije	0.1-1
5. vjetra	0.01-0.1
6. voda	0.001-0.01
7. LWR	0.001-0.01
8. HTR	0.001-0.01
9. FBR	0.001-0.01.

Indirektni (odgođeni, kasni) rizik čini se da je najveći za TE na ugljen i naftu (1-10-?). Nešto je niži za TE na plin i LWR (0.01-0.1), dok su kasni rizici u HTR i FBR zasad procijenjeni kao vrlo niski (0-0.001), ali je procjena veoma nesigurna.

Spoznaje o kasnijim štetnim zdravstvenim rizicima pri upotrebi vodenog potencijala jednako su nesigurne kao i procjene akutnih rizika, ne čini se da se kreću u granicama od 0.001 do 0.01, dakle vrlo niskima.

Tablica 1 izrađena je prema Fritzscheovu sumarnom *TOTAL FATALITIES RATES/GW* za četiri glavna tehnološka sustava i vrlo je grubi zaključak navedenoga (Chadwick, 1992; Fritzsche, 1989).

Tablica 1

IZVOR	RIZIK OPĆE POPULACIJE	
	NEPOSREDNI	ODGOĐENI
Ugljen	0.1-1.0	2.0-6.0
Nafta	0.001-0.1	2.0-6.0
Plin	0.2	0.004-0.2
LWR	0.001-0.01	0.005-0.2

Još jednom napominjemo da je riječ o procjeni rizika pri normalnom, rutinskom radu s najboljom dostupnom tehnologijom (*best available technology*), isključujući akcidentne situacije i uglavnom zanemarujući posredne nedovoljno proučene zdravstvene rizike nastale kao posljedica posrednog zagađivanja okoline (klimatske promjene, kisele kiše, zbrinjavanje radioaktivnog otpada...). Čini se da su unatoč izraženim ogradama, s gledišta zdravstvene ekologije, prema procijenjenoj veličini i značaju zdravstvenih rizika najprihvatljivije hidroelektrane. Iza njih su po prihvatljivosti tehnologije nuklearne opcije, poput FBR.

Kao najneprihvatljivije u ovom trenutku čine se sa zdravstvenog gledišta TE na ugljen. Primjera radi, TE na ugljen snage 4.000 MW godišnje troši 14 milijuna tona ugljena. Sagorijevanjem ugljena pri proizvodnji električne energije oslobađa se 60% od ukupne emisije SO<sub>2</sub> i 30% ukupne emisije NO<sub>x</sub>. Podizanje dimnjaka iznad 250 m dovelo je do širenja ispuštenog SO<sub>2</sub> na udaljenost veću od 1000 km (Chadwick, 1992).

Deponiranjem konverzijom nastalih sulfat-iona SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dolazi do zakiseljavanja tla, rijeka, jezera, podzemnih voda. Zakiseljavanje jezera npr. mobilizira neke teške meta-

le, poput aluminija, i dovodi do njegova uključivanja u prehrambeni lanac i možebitnog ulaska u ljudski organizam. Postoje radovi koji višak aluminija u organizmu povezuju s Alzheimerovom bolešću (Chadwick, 1992). Na taj način ponovno se zatvara krug s pojavom još jednoga posrednog, odgođenog negativnog zdravstvenog učinka što ga izazivaju TE na ugljen, a koji se uglavnom zanemaruje.

## LITERATURA:

- Black, S. C. i Neihaus, F. (1980). **Comparison of risks and benefits among different energy systems**. Dordrecht: Reidel.
- Chadwick, M. J. i sur. (1992). Comparative environmental and health effects of different energy systems for electricity generation. IAEA: **Key Issues paper No. 3**.
- Cook-Mozaffari, P. J. (1987). **Cancer incidence and mortality in the vicinity of nuclear installation, England and Wales 1950-1980**. London: HM Stationary Office.
- Ferguson, R. A. D. (1981). **Comparative Risk of Electricity Generating Fuel Systems in U. K.** The Energy Centre, Un. of Newcastle-upon-Tyne, Petre Peregimus, Stevenage.
- Fritzsche, A. F. (1989). The health risks of energy production. **Risk analysis**, 9(4):565-577.
- Halbritter, G. i sur. (1982). **Contribution to a comparative EIA of the use of coal and nuclear energy for electricity generation in the FRG**. Vienna: IAEA.
- Hubert P. i sur. (1981). **Les impacts sanitaires et ecologiques de la production d'électricité**. Fontenay-aux-Roses - Rep CEPN No 34-3.
- Lautraski, R. V. i sur. (1982). **A comparative assessment of the health impacts of coal fired, peat fired and nuclear power plants**. Vienna: IAEA.
- Layton, D. W. i sur. (1981). **Health and Environmental Effects Document on Geothermal Energy**. Livermore, CA: L L Laboratory - Rep. UCRL-53232.
- Miettinen, I. i sur. (1976). Risk-benefit evaluation of nuclear power plant sites. **Ann. Nucl. Energy**, 3.
- Morris, S. i sur. (1979). Cool conversion technology: Some health environmental effects. **Science**, 206:654-662.
- Openshaw, S., Craft, A. W., Charlton, M. i Birch, J. M. (1988). Investigation of leukemia cluster by use of a geographical analysis machine, **Lancet**, 6. febr. 1988, 272-273.
- Roman, E. i sur. (1987). Childhood leukemia in the West Berkshire and Basingstoke and North Hampshire District Health Authorities in relation to nuclear establishment in the vicinity. **British Medical Journal**, 294:597-602.
- UNEP (1981). **Environmental Impact of Production and use of Energy**. Nairobi: UNEP.
- UNEP (1985). **The environmental impacts of production and use of energy**. Nairobi: UNEP - Rep. ERS-14-85.
- Urquhart, J., Cutler J. i Burke, M. (1986). Leukemia and Lymphatic cancer in young people near nuclear installations, **Lancet**, i, 166.
- WHO (1990). **Potential health effects of climate change**. Geneve: WHO - Rep. WHO/PEP/90.10.

## COMPARATIVE ASSESSMENT OF HEALTH RISKS FROM THE ELECTRIC POWER PRODUCTION IN VARIOUS POWER SYSTEMS

Aleksandar Racz

Town of Zagreb Institute for the Health Protection, Health Ecology Dept, Zagreb

### Summary

The work is giving a survey of comparative assessments of health risks the general population is exposed to by different technologies of electric power production.

The direct as well as indirect impacts on the routine activities and accidents are pointed to, the effects have been considered over short-term, middle-term and long-term intervals. The size and significance of health risks are studied in all the phases of the technological process.

The group of technologies have been analyzed: 1) the ones using fossil fuels or biomass (coal, oil, gas, lumber...), 2) the ones using sun, wind and water as sources for power production, 3) the ones using nuclear fuels. The size and significance of the risks are assessed for every one of the studied groups of technologies.

For the sake of the comparison of various technologies the standard health-statistical rates (mortality) have been abandoned and comparison has been made with regard to the number of deaths per standard unit of the production of electric power.

The work has been concluded with the assessments of health and environmentally most acceptable technologies (hydro-power plants) as well as with the pointing to the health dangerous ones (thermo power plants using coal, gas or oil fuels).

**Key words:** electric power production, health risks, health risk assessment, types of power plants

## VERGLEICHENDE BEWERTUNG DER GESUNDHEITSRISIKEN BEI DER ERZEUGUNG DER ELEKTRISCHEN ENERGIE IN VERSCHIEDENEN ENERGETISCHEN SYSTEMEN

Aleksandar Racz

Institut für Gesundheitsschutz der Stadt Zagreb, Dienst für Gesundheitsökologie, Zagreb

### Zusammenfassung

In dem Text wird ein Überblick der vergleichenden Bewertung der Gesundheitsrisiken dargelegt, denen die allgemeine Bevölkerung durch verschiedene Technologien zur Erzeugung der elektrischen Energie ausgesetzt ist.

Es wird auf direkte und indirekte Einflüsse bei der Routinearbeit und im Falle eines Ausnahmestandes hingewiesen, und die Wirkungen werden kurzfristig, mittelfristig und langfristig beobachtet.

Die Größe und Bedeutung der Gesundheitsrisiken werden in allen Phasen des technologischen Prozesses betrachtet.

Drei Gruppen von Technologien werden analysiert: (1) diejenigen, die als Rohstoff Fossiltreibstoffe oder Biomasse verwenden (Kohle, Erdöl, Gas, Holz...), (2) diejenigen, die als Rohstoff die Sonnen-, Wasser- und Windenergie verwenden, und (3) diejenigen, die Atomenergie verwenden. Die Größe und Bedeutung des Risikos werden in jeder einzelnen der betrachteten Gruppen von Technologien bewertet.

Wegen der Vergleichsmöglichkeiten der verschiedenartigen Technologien würde von den standardgemässen gesundheitsstatistischen Rate abgewichen, so dass der Vergleich mit Rücksicht auf die Zahl der Todesfälle pro Standardeinheit der Erzeugung der elektrischen Energie gemacht wurde.

Zum Schluss werden die Bewertungen der gesundheitlich-ökologisch akzeptabelsten Technologien (Wasserkraftwerke), bzw. es wird auf die gesundheitlich sehr gefährlichen Technologien (Kohle-, Gas- und Erdölkraftwerke) hingewiesen.

**Grundaussprüche:** Arten von Kraftwerken, Bewertung der Gesundheitsrisiken, Erzeugung der elektrischen Energie, Gesundheitsrisiken