

1

Kronologija rizika

Procjena i upravljanje rizicima ima dugu i bogatu kronologiju nastanka. Izdvojiti ćemo ovdje samo neke od osnovnih sastavnica te kronologije. Temeljni je izvor opsežna studija koju su na tu temu svojevremeno izradili Covello i Mumpower (*Risk Analysis and Risk Management: An Historical Perspective*). Nastojat ćemo naglasiti da je rizik višedimenzionalna i višedisciplinarna konstrukcija. S jedne strane to mu svojstvo daje stanoviti ekskluzivitet, ali s druge strane predstavlja njegov nemali problem. Naime, u takvim je uvjetima vrlo teško postići konsensuz o bitnim pitanjima koja se odnose na procjenu i upravljanje rizicima, posebice o definiciji rizika i o pitanju društvene prihvatljivosti različitih rizika svakodnevice. Ekonomski, sociološki, epidemiološki, tehnički i druge perspektive različito definiraju rizik, procjenjuju ga na različite načine i pritom primjenjuju vrlo različite metode i tehnike.



6

Kriteriji prihvatljivosti rizika

Pitanje kriterija prihvatljivosti rizika nalazi se u žarištu interesa stručnjaka koji se bave problematikom procjene i upravljanja rizicima, regulatornih tijela iz područja zaštite ljudskog zdravlja i zaštite okoliša, ali i najšire javnosti. U raspravama o toj problematiki velika se težina stavlja na odnos između troškova i koristi od redukcije rizika. Generalno razmatranje ove problematike dovodi do relativno jednostavnog stava: što su kriteriji prihvatljivosti rizika stroži, veća su finansijska sredstva koja je potrebno uložiti u sigurnost.

Kriteriji prihvatljivosti prvenstveno se deriviraju na temelju možebitnih posljedica neželjenog događaja. Sasvim općenito, neželjeni događaj može izazvati čitav spektar posljedica kao što su ljudske žrtve, ozljede i druge zdravstvene tegobe, izravne i neizravne materijalne štete, onečišćenje okoliša i drugo (vidi poglavlje 3.2). Stoga su kao osnovni kriteriji prihvatljivosti rizika odabrani individualni rizik, društveni rizik, prihvatljive materijalne štete i kriteriji koji se odnose na zaštitu okoliša.

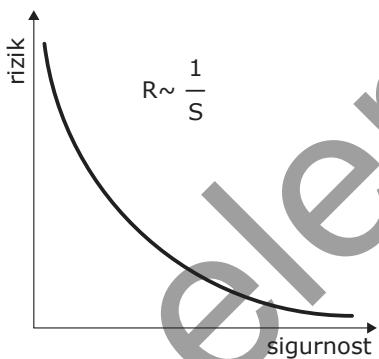
U ovom poglavљу nešto se detaljnije razmatraju kriteriji srednjeg individualnog i društvenog rizika jer je o njima postignut konsenzus na međunarodnoj razini. Što se kriterija vezanih za potencijalne materijalne štete tiče, oni se određuju od procjene

do procjene jer prvenstveno ovise o finansijskim mogućnostima operatera (vlasnika) tehnološkog postrojenja koje se analizira ili korporacije i lokalne društvene zajednice.

Kriteriji prihvatljivosti koji se odnose na zaštitu okoliša prvenstveno su definirani zakonskim aktima koji se bave tom problematikom. Primjerice, zakonskim aktima propisuju se maksimalno dozvoljene koncentracije onečišćujućih tvari u okolišu (zraku, vodi i tlu). Na taj način regulira se problematika zaštite okoliša za slučaj normalnog (rutinskog) pogona tehnološkog postrojenja. Za slučaj akcidentalnih situacija kriterij zaštite okoliša najčešće definira očekivano vrijeme potrebno za obnovu lokalnog ekosustava⁷⁸.

Problematika kriterija prihvatljivosti rizika usko je povezana s pojmom sigurnosti. Stoga se u nastavku daje kratka analiza odnosa između te dvije varijable.

6.1. Rizik i sigurnost



Slika 6.1. Odnos rizika i sigurnosti

Rizik i sigurnost komplementarni su pojmovi (antonimi). Kvalitativno između njih vrijedi odnos obrnute proporcionalnosti. Taj se odnos standardno prikazuje hiperbolom (slika 6.1). Krivulja na slici sugerira intuitivno očekivanje prema kojemu viša razina rizika implicira nižu razinu sigurnosti. Naravno, vrijedi i obrat, niži rizik implicira veći stupanj sigurnosti.

Rizik je temeljna karakteristika svake aktivnosti. To znači da ne postoji aktivnost u kojoj rizik ne bi bio prisutan⁷⁹. Rizik vezan za pojedinu aktivnost može biti viši ili niži. Ako je taj rizik dovoljno nizak da ga

se može proglašiti prihvatljivim, onda se takvu aktivnost naziva sigurnom. Prema tome, sigurnost treba razumjeti kao kriterij prihvatljivosti rizika. Ako se neku aktivnost proglaši sigurnom, to nikako ne znači da ta aktivnost sa sobom ne nosi stanoviti rizik, međutim u takvome se slučaju rizik smatra prihvatljivim ili pak zanemarivim, a preostali rizici rezidualnim.

⁷⁸ Skandinavske zemlje odlučile su da to očekivano vrijeme maksimalno može iznositi 5 godina.

⁷⁹ Ne postoje absolutno sigurna stanja.

6.2. Srednji individualni rizik

Srednji individualni rizik predstavlja jedan od najznačajnijih indikatora rizika⁸⁰. Definira ga se kao srednju godišnju vjerojatnost da će nezaštićeni pojedinac, stalno prisutan na području utjecaja smrtno stradati zbog učinaka neke opasne aktivnosti kojoj je izložen.

Okvirna metodologija za utvrđivanje kriterija prihvatljivosti srednjeg godišnjeg individualnog rizika prikazana je na donjem histogramu (slika 6.2) koji zorno ocrtava osnovnu ideju tog metodološkog pristupa. Histogram je podijeljen na tri područja i to:

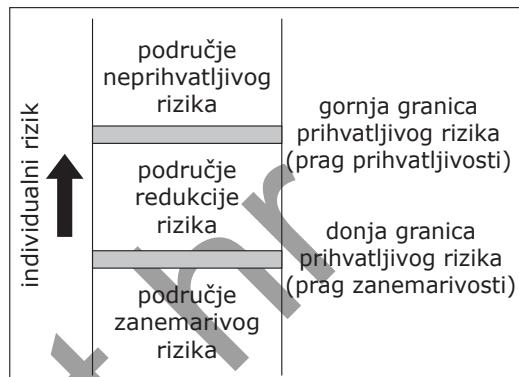
- 1) područje neprihvatljivog rizika
- 2) područje redukcije rizika (ALARA, ALARP, RRA ili TRR područje⁸¹)
- 3) područje zanemarivog rizika.

Upravo navedena tri područja na histogramu razgraničena su s obzirom na dva kriteria. To su donja granica (prag zanemarivog rizika) i gornja granica (prag prihvatljivog rizika)⁸². Pritom je prag zanemarivog rizika postavljen kao ciljana vrijednost dok

⁸⁰ U stručnoj se literaturi definira dosta veliki broj indikatora rizika. Neki od najčešće primjenjivanih su: društveni rizik (SR, engl. *Societal Risk*), stopa smrtnosti u nesreći (FAR, engl. *Fatal Accident Rate*), prosječna stopa smrtnosti (ROD, engl. *Average Rate of Death* ili AFN, engl. *Accident Fatality Number*), potencijalni broj smrtnih slučajeva (PLL, engl. *Potential Loss of Lives*), agregirani indeks rizika (ARI, engl. *Aggregate Risk Index*), ekvivalentni društveni trošak (ESCI, engl. *Equivalent Social Cost Index*), individualni indeks opasnosti (IHI, engl. *Individual Hazard Index*), indeks smrtnosti (MIN, engl. *Mortality Index or Number*) i ekonomski indeks (EI, engl. *Economic Index*).

⁸¹ Razlika između pokrata ALARA (engl. *As Low As Reasonably Achievable*) i ALARP (engl. *As Low As Reasonably Practicable*) sastoji se samo u terminološkoj formulaciji američke i engleske definicije koncepta redukcije rizika. U oba slučaja radi se o pristupu koji postavlja zahtjev da se rizik reducira onoliko koliko se to razumno može postići uvažavajući optimalni stupanj zaštite, ekonomske i socijalne aspekte te redukcije. U stručnoj literaturi to se područje ponekad naziva i RRA područjem (engl. *Risk Reduction Area*) ili područjem tolerabilnog rizika (TRR, engl. *Tolerable Risk Region*). Pritom je važno naglasiti da se rizik treba smatrati tolerabilnim (podnošljivim), ako i samo ako je njegova redukcija nepraktična, odnosno ako njegova redukcija zahtijeva takve ljudske, tehničke i finansijske resurse koji su u disproporciji s koristima koje je tom redukcijom moguće ostvariti.

⁸² Termini koji se često susreću u stručnoj literaturi za opis granica prihvatljivosti rizika su *De Manfestis Level* (gornja granica) i *De Minimis Level of Risk* (donja granica).



Slika 6.2. Histogram prihvatljivosti rizika

prag prihvatljivog rizika predstavlja maksimalno dozvoljeni rizik koji je u zakonodavnim aktima u većem broju europskih država etabliран као zakonsко ограничење.

Općenito je prihvaćено да prag zanemarivog srednjeg individualnog rizika od utjecaja kancerogenih tvari iznosi 10^{-6} y^{-1} (jedan smrtni slučaj godišnje u populaciji od 1 000 000 stanovnika). Takav stav zagovaraju WHO (World Health Organization), EPA (Environmental protection Agency, SAD) ali i veliki broj drugih poznatih svjetskih institucija i regulatornih tijela koji se bave poslovima iz područja zaštite ljudskog zdravlja i zaštite okoliša.

Isti prag zanemarivog rizika odnosi se i na utjecaje industrijskih aktivnosti. Takav konsenzus je postignut na temelju stava prema kojemu prosječni godišnji rizik od prijevremene smrti pojedinca iz stanovništva, a uzrok smrti može biti bilo koja sva-kidašnja aktivnost, iznosi oko 10^{-4} y^{-1} . Stoga je postavljen generalni zahtjev da doprinos tome riziku od industrijskih i drugih aktivnosti s opasnim tvarima (tzv. dodatni rizik) smije najviše iznositi 1 % od prosječnog godišnjeg rizika. Drugim riječima, predloženo je da prag zanemarivog srednjeg individualnog rizika od industrijskih aktivnosti treba iznositi $10^{-4} \times 10^{-2} = 10^{-6} \text{ y}^{-1}$.

Vrlo sličan, makar ponešto složeniji pristup razvio je i HSE (Health and Safety Executive, Velika Britanija) koji izdvaja sljedeće četiri granične vrijednosti za srednji individualni rizik:

- 1) 10^{-3} y^{-1} – još uvijek prihvatljivi rizik za profesionalca na radnom mjestu
- 2) 10^{-4} y^{-1} – maksimalno prihvatljivi rizik za pojedinca iz stanovništva od nenuk-learnih postrojenja
- 3) 10^{-5} y^{-1} – maksimalno prihvatljivi rizik za pojedinca iz stanovništva od utje- caja nuklearnih postrojenja
- 4) 10^{-6} y^{-1} – prag zanemarivog rizika.

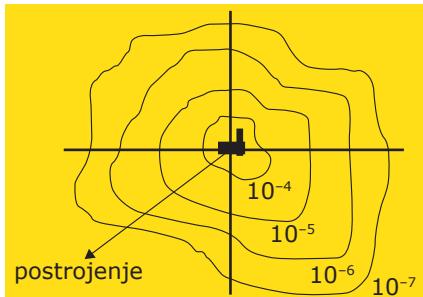
6.2.1. Procjena srednjeg individualnog rizika

Izraz za procjenu srednjeg individualnog rizika ima sljedeći oblik:

$$IR_{sr} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_{Si} \times N_{Si} \quad (6.1)$$

gdje N predstavlja ukupan broj osoba izloženih utjecaju industrijske aktivnosti dok umnožak $f_{Si} \times N_{Si}$ predstavlja frekvenciju neželjenog scenarija Si i broj osoba izloženih utjecaju tog neželjenog scenarija.

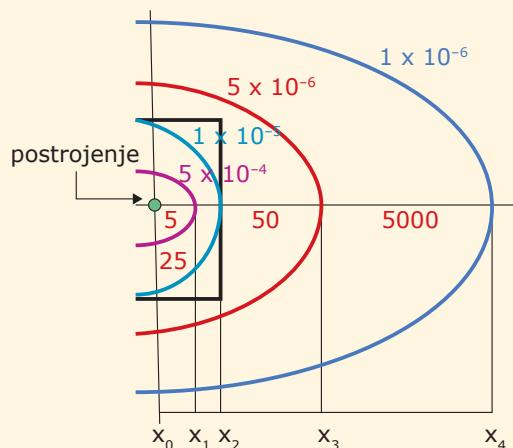
U svrhu procjene srednjih godišnjih individualnih rizika uobičajeno je procijeniti zone ugroženosti oko tehnološkog postrojenja, odnosno prostornu raspodjelu rizika. Prostorna raspodjela rizika (izoplete⁸³ ili konturne krivulje rizika) jedna je od najčešćih grafičkih vizualizacija rizika. Izoplete su krivulje koje spajaju točke istih vrijednosti rizika (slika 6.3). Najčešće su to točke istih srednjih individualnih rizika.



Slika 6.3. Konturne krivulje rizika (izoplete)

Primjer 6.1. – Srednji godišnji individualni rizik

U postrojenju je zaposleno 30 djelatnika (5 djelatnika uobičajeno boravi u prostoru $x_0 - x_1$ dok njih 25 uobičajeno boravi unutar prostora $x_1 - x_2$). U neposrednoj blizini postrojenja ($x_2 - x_3$) nalazi se 10-ak obiteljskih kuća (stalno je nastanjeno 50 osoba). Na nešto udaljenijem prostoru ($x_3 - x_4$) smješteno je naselje od 5000 stanovnika. Potrebno je procijeniti srednji godišnji individualni rizik za djelatnika i za pojedinca iz javnosti. Prostorna raspodjela rizika oko postrojenja prikazana je na donjoj slici.



Primjenom relacije (6.1) za srednji godišnji individualni rizik koji se odnosi na djelatnike u postrojenju, dobiva se sljedeće:

$$\begin{aligned} IR_{sr} &= \frac{1}{30} [(5 \times 10^{-4} + 10^{-5} + 5 \times 10^{-6}) \times 5 + (10^{-5} + 5 \times 10^{-6} + 10^{-6}) \times 25] \\ &= \frac{1}{30} (5,16 \times 10^{-4} \times 5 + 1,6 \times 10^{-5} \times 25) = \frac{2,98 \times 10^{-3}}{30} \approx 10^{-4} \text{ y}^{-1}. \end{aligned}$$

Primjenom relacije (6.1) za srednji godišnji individualni rizik koji se odnosi na stanovnike, dobiva se sljedeće:

$$IR_{sr} = \frac{1}{5050} [(5 \times 10^{-6} + 10^{-6}) \times 50 + 10^{-6} \times 5000] = \frac{5,3 \times 10^{-3}}{5050} \approx 10^{-6} \text{ y}^{-1}.$$

Budući da granica prihvatljivog srednjeg godišnjeg individualnog rizika za djelatnike u postrojenju iznosi 10^{-4} y^{-1} , a granica zanemarivog rizika za stanovnike 10^{-6} y^{-1} , može se smatrati da postrojenje o kojemu je riječ generira prihvatljive rizike i za djelatnike i za lokalno stanovništvo.

⁸³Naziv je deriviran na temelju analogije s izobarama (spajaju točke jednakog srednjeg atmosferskog tlaka) i izohipsama (spajaju točke iste nadmorske visine).

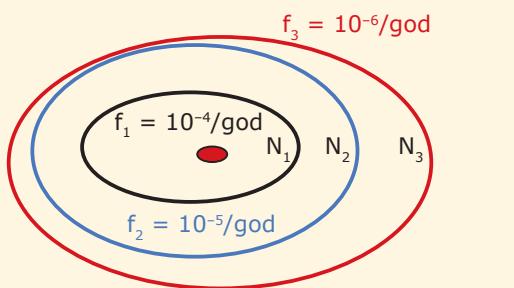
Srednji godišnji individualni rizik kao indikator rizika vrlo se često koristi za potrebe prostornog planiranja. Takav pristup prostornom planiranju proizlazi iz zahtjeva postavljenih u direktivi Seveso III (Direktiva Europske komisije o kontroli opasnosti od velikih nesreća koje uključuju opasne tvari). Na donjoj slici može se zorno uočiti kako se vrijednosti srednjeg individualnog rizika od 10^{-4} , 10^{-5} i 10^{-6} y^{-1} koriste kao kriteriji u svrhu prtornog uređenja i urbanizacije u Velikoj Britaniji.

	(10^{-4})	(10^{-5})	(10^{-6})
izvor rizika			
buffer zona	manufaktura, skladišta i otvoreni prostor (parkirališta, golf igrališta i drugo)	poslovni prostori i prve obiteljske kuće	rezidencijalno područje sa svim pratećim sadržajima

Slika 6.4. Primjena rizika u prostornom planiranju

Primjer 6.2. – Prostorno planiranje

Na slici je prikazana prostorna raspodjela rizika oko industrijskog postrojenja. Raspodjela okolno naseljenog stanovništva je kako slijedi: $N_1 = 20$ osoba, $N_2 = 40$ i $N_3 = 80$. Potrebno je procijeniti srednji godišnji individualni rizik za stanovnika i provjeriti u kojoj su mjeri zadovoljeni kriteriji prihvatljivosti.



Primjena relacije (6.1) za srednji godišnji individualni rizik daje sljedeće:

$$IR_{sr} = \frac{1}{140} [10^4 \times 20 + 10^{-5} \times (20 + 40) + 10^{-4} \times (20 + 40 + 80)] = 2 \times 10^{-5} \text{ y}^{-1}$$

što je za red veličine veći godišnji individualni rizik od kriterija prihvatljivosti (10^{-6} y^{-1}). Očigledno je da populaciju N_1 treba preseliti, odnosno pridružiti je populaciji N_2 i tako postići buffer-zonu unutar izoplete 10^{-4} kako je to sugerirano na slici 6.4. U tom će slučaju srednji godišnji individualni rizik za stanovnika iznositi kako slijedi:

$$IR_{sr} = \frac{1}{140} (10^{-5} \times 40 + 10^{-6} \times 140) = 4,3 \times 10^{-6} \text{ y}^{-1}.$$

Također, ako bi se na isti način preselilo populaciju N_2 , kriterij prihvatljivosti srednjeg godišnjeg individualnog rizika bio bi zadovoljen. Ovdje valja napomenuti da kompletne troškove preseljenja stanovništva treba snositi vlasnik (operator) industrijskog postrojenja.

6.2.2. Pregled srednjih individualnih rizika

Primjeri nekih od srednjih godišnjih individualnih rizika kojima je pojedinac uobičajeno izložen prikazani su u Tablici 6.1. Ti su rizici sistematizirani s obzirom na profesiju, neke elemente životnog stila pojedinca, rekreativne aktivnosti i na rizike koji dolaze iz okoline mjesta stanovanja.

Tablica 6.1. Primjeri srednjih godišnjih individualnih rizika

IR_{sr} (y^{-1})	profesija	životni stil	rekreacija	okoliš
10^{-2}	kaskader	–	–	–
10^{-3}	vozač automobilskih utrka	pušenje cigaret	padobranac planinar vozač motornih sanjki	–
10^{-4}	vozač kamiona vatrogasac miner farmer policajac	teški alkoholičar nezgoda u stanu ili kući	kanuist vozač automobila sportski avijatičar	pozadinsko zračenje
10^{-5}	inženjer bankar agent za osiguranje	alkoholičar upotreba kontracepcije požar u stanu ili kući	skijaš	onečišćenje vode za piće stanovanje nizvodno od brane
10^{-6}	–	cijepljenje medicinska dijagnostika (x-zračenje)	ribar	stanovanje pored nuklearne elektrane
10^{-7}	–	ishrana (jedan odrezak na žaru dnevno) (x-zračenje)	–	uragan tornado udar groma ugriz bijesne životinje ili insekta

6.2.3. Cjeloživotni rizik

Nerijetko se, naročito u analizama rizika od kronične izloženosti niskim dozama opasnih tvari (kancerogenih, radioaktivnih i toksičnih), procjenjuje cjeloživotni rizik na pojedinca (engl. *lifetime risk*). Cjeloživotni rizik definira se kao vjerojatnost da će zdravi pojedinac zbog kronične izloženosti nekoj opasnosti smrtno stradati prije isteka njegovog očekivanog životnog vijeka (engl. *life expectancy*). Pritom se u kalkulacijama najčešće računa s prosječnim očekivanim životnim vijekom pojedinca od 70 godina⁸⁴. Kada je u pitanju procjena zdravstvenog rizika od kronične izloženosti niskim dozama kancerogenih tvari, cjeloživotni rizik se iskazuje u jedinici LCP (engl. *Lifetime Cancer Probability*).

Odnos između cjeloživotnog (LR) i srednjeg godišnjeg individualnog rizika (IR_{sr}) određen je sljedećom relacijom:

$$LR = 1 - (1 - IR_{sr})^{ED} \quad (6.2)$$

u kojoj parametar ED označava vrijeme izloženosti (engl. *Exposure Duration*) koje se iskazuje u godinama.

Primjer 6.3. – Cjeloživotni i individualni rizik

Srednji individualni rizik konstantan je na godišnjoj razini i iznosi 10^{-7} y^{-1} . Pojedinac je tome riziku izložen tijekom razdoblja od 70 godina. Potrebno je odrediti cjeloživotni rizik.

Primjena relacije (6.2) za rezultat daje sljedeće:

$$LR = 1 - (1 - 10^{-7})^{70} = 7 \times 10^{-6} \text{ LCP.}$$

Budući da je u primjeru zadani srednji individualni rizik za red veličine ispod praga prihvatljivosti, onda to značiti da je odgovarajući cjeloživotni rizik također prihvatljiv.

Ako je poznat cjeloživotni rizik, onda se jednostavnom transformacijom relacije (6.2) može odrediti vrijednost odgovarajućeg srednjeg individualnog rizika. Ta relacija ima sljedeći oblik:

$$IR_{sr} = 1 - (1 - LR)^{\frac{1}{ED}}. \quad (6.3)$$

⁸⁴U državama članicama EU-a parametar LE procijenjen je na 77 do 80 godina. Procjena svjetskog prosjeka iznosi oko 62 godine.