

Procjena i upravljanje rizikom od akcidenata istjecanja ugljikovodika u okoliš

Lemić, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:149077>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-27**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij naftnog rudarstva

**Procjena i upravljanje rizikom od akcidenata istjecanja ugljikovodika u
okoliš**

Diplomski rad

Josip Lemić
N383

Zagreb, 2022.

PROCJENA I UPRAVLJANJE RIZIKOM OD AKCIDENATA ISTJECANJA UGLJIKOVODIKA U OKOLIŠ

Josip Lemić

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Rizik predstavlja razinu vjerojatnosti pojave nekog neželjenog događaja. Pojava neželjenog događaja u industriji rezultira štetom po zdravlje, okoliš i imovinu te negativno utječe na reputaciju kompanije. Kao najznačajniji rizik za okoliš, koji se povezuje s aktivnostima koje se provode u naftnoj industriji, pojavljuje se primarni rizik od istjecanja fluida u okoliš. Učestalost naftnih izljeva i ukupna količina izlivena nafte značajno su smanjeni u posljednjih 30 godina, iako je došlo do povećanja tankerskog i cjevovodnog transporta nafte i naftnih derivata. Još uvijek ne postoji univerzalno prihvaćena metodologija za procjenu rizika za okoliš u naftnoj industriji. Zbog jednostavnosti primjene, preporuča se primjena postupka opisanog u ARPEL-ovom dokumentu, u kojem je predstavljen okvir za provođenje procjene rizika od izljeva nafte. Okvir prati šest koraka, a to su redom: planiranje procjene rizika, analiza opasnosti, analiza scenarija vjerojatnosti izljeva, analiza posljedica te karakterizacija i upravljanje rizikom.

Ključne riječi: izljev nafte, akcident, okoliš, procjena rizika, upravljanje rizikom

Diplomski rad sadrži: 60 stranica, 19 slika, 5 tablica i 68 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Karolina Novak Mavar, docentica RGNf-a

Ocjenjivači: Dr. sc. Karolina Novak Mavar, docentica RGNf-a
Dr.sc. Nediljka Gaurina-Međimurec, prof. emerita RGNf-a
Dr. sc. Lidia Hrnčević, red. prof. RGNf-a

Datum obrane: 16. prosinca 2022., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT OF HYDROCARBON LEAKAGE ACCIDENTS IN THE ENVIRONMENT

Josip Lemić

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy,
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Risk represents the level of probability of the occurrence of an unwanted event. The occurrence of an unwanted event in industry results in damage to health, the environment and property, and negatively affects the company's reputation. The main risk for the environment associated with the oil industry is considered to be the primary risk of fluids spill into the environment. The frequency of oil spills and the total amount of oil spilled have decreased significantly over the past 30 years, although the transportation of oil and petroleum products by tankers and pipelines has increased. To date, there is still no generally accepted methodology for environmental risk assessment in the oil industry. Due to the simplicity of application, it is recommended to use the procedure described in the ARPEL document, which provides a framework for conducting an oil spill risk assessment. The framework includes six steps, namely: risk assessment planning, hazard analysis, oil spill likelihood scenario analysis, consequence analysis, and risk characterization and management.

Keywords: oil spill, environment, accident, risk assessment, risk management

Thesis contains: 60 pages, 19 figures, 5 tables and 68 references.

Original in: Croatian

Archived at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Assistant Professor, Karolina Novak Mavar, PhD

Reviewers: Assistant Professor Karolina Novak Mavar, PhD
Professor Emerita Nediljka Gaurina-Međimurec, PhD
Full Professor Lidia Hrnčević, PhD

Date of defense: December 16, 2022, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
University of Zagreb

SADRŽAJ:

POPIS SLIKA.....	I
POPIS TABLICA.....	II
POPIS KORIŠTENIH KRATICA	III
1. UVOD	1
2. IDENTIFIKACIJA OPASNOSTI U NAFTNOJ INDUSRIJI I NJIHOV POTENCIJALNI UTJECAJ NA OKOLIŠ	4
2.1. Opasnosti za okoliš u procesima naftne industrije.....	5
2.2. Posljedice izljeva nafte	7
3. ANALIZA I OCJENA RIZIKA.....	10
3.1. Kvalitativne tehnike analize rizika	12
3.2. Kvantitativne tehnike analize rizika.....	14
3.3. Hibridne tehnike	19
4. STATISTIKA AKCIDENATA ISTJECANJA NAFTE U OKOLIŠ	29
4.1. Statistika akcidenata istjecanja ugljikovodika u okoliš u Republici Hrvatskoj	33
5. KORACI U PROCJENI RIZIKA OD ISTJECANJA UGLJIKOVODIKA U OKOLIŠ.....	36
5.1. Predloženi okvir za provođenje procjene rizika.....	37
5.1.1. Planiranje procjene rizika.....	38
5.1.2. Analiza opasnosti	41
5.1.3. Analiza vjerojatnosti	42
5.1.4. Analiza posljedica	45
5.1.5. Karakterizacija rizika.....	48
5.1.6. Upravljanje rizikom.....	50
6. ZAKLJUČAK.....	52
7. LITERATURA	55

POPIS SLIKA

Slika 1-1. Shematski prikaz cikličkog procesa upravljanja rizicima	2
Slika 3-1. Glavne metode analize i ocjene rizika	10
Slika 3-2. Kvalitativna matrica rizika	16
Slika 3-3. F-N krivulja	17
Slika 3-4. Razine kriterija prihvatljivosti rizika	17
Slika 3-5. Grafički prikaz ljudskih pogrešaka	20
Slika 3-6. Analiza "padajućeg stabla" na primjeru ispuštanja plina iz cjevovoda	22
Slika 3-7. Analiza stabla događaja na primjeru ispuštanja UPP-a u željezničkom ili cestovnom prometu	26
Slika 3-8. Analiza uzroka i posljedice na primjeru puknuća naftovoda	28
Slika 4-1. Broj velikih izljeva nafte iz tankera 1970.-2020.	30
Slika 4-2. Glavni uzroci izljeva nafte u more	31
Slika 4-3. Uzroci velikih izljeva nafte u more	32
Slika 4-4. Izvori izljeva nafte na kopnu	32
Slika 4-5. Uzroci istjecanja ugljikovodika u RH u 2021. godini	34
Slika 4-6. Broj akcidenata istjecanja ugljikovodika preko 1m ³ u INA grupi posljednjih godina	35
Slika 5-1. Koraci provođenja procjene rizika	38
Slika 5-2. Hijerarhija članova tima prilikom procjene rizika	40
Slika 5-3. Raspon mogućih vrijednosti vjerojatnosti za izljev nafte iz proizvodnog pogona ...	44
Slika 5-4. Indeks osjetljivosti koji se koristi u radu s kartama osjetljivosti	47

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Tablica rezultata PRAT metode analize rizika	15
Tablica 3-2. Opis početnih događaja sa slike 3-6.	23
Tablica 5-1. Primjer tablice identifikacije opasnosti	39
Tablica 5-2. Primjena podataka o učestalosti prilikom utvrđivanja vjerojatnosti nastanka izljeva nafte.....	42
Tablica 5-3. Vrijednost rizika kao posljedica kombinacije vrijednosti vjerojatnosti i posljedice	49

POPIS KORIŠTENIH KRATICA

ALARP – Onoliko nisko koliko je razumno izvedivo (engl. *As Low as Reasonably Practicable*)

ARPEL – Udruženje tvrtki za naftu, plin i obnovljivu energiju Latinske Amerike i Kariba (engl. *Association of Oil, Gas and Renewable Energy Companies of Latin America and the Caribbean*)

AZU – Agencija za ugljikovodike

CAPP - Kanadsko udruženje proizvođača nafte (engl. *Canadian Association of Petroleum Producers*)

CCA – Analiza uzroka i posljedice (engl. *Cause Consequence Analysis*)

CREA – Klinička analiza rizika i pogrešaka (engl. *Clinical Risk and Error Analysis*)

DEFRA – Odjel za okoliš, hranu i ruralna pitanja (engl. *Department of Environment, Food and Rural Affairs*)

DMRA – Matrica odlučivanja (engl. *Decision Matrix Risk Assessment Technique*)

ECHA – Europska agencija za kemikalije (engl. *European Chemical Agency*)

ETA – Analiza stabla događaja (engl. *Event Tree Analysis*)

FMEA – Analiza načina i učinaka kvarova (engl. *Failure Modes and Effects Analysis*)

FTA – Analiza padajućeg stabla (engl. *Fault Tree Analysis*)

HAZOP – Analiza rizika i pouzdanosti (engl. *Hazard and Operability Study*)

HEAT – Tehnika analize ljudskih grešaka (engl. *Human Error Analysis Techniques*)

HFEA – Tehnika analize ljudskih faktora (engl. *Human Factor Event Analysis*)

HTA – Analiza zadaća (engl. *Hierarchical Task Analysis*)

ITOPF – Međunarodna udruženje vlasnika tankera protiv zagađenja (engl. *International Tanker Owners Pollution Federation*)

LC₅₀ – Koncentracija otrovne tvari koja će uzrokovati smrt 50% ispitane populacije unutar određenog vremena izloženosti (engl. *Lethal Concentration 50*)

LD₅₀ – Količina otrovne tvari koja će uzrokovati smrt 50% ispitane populacije unutar određenog vremena izloženosti (engl. *Lethal Dose 50*)

LOEC – Najniža koncentracija uočenog učinka (engl. *Lowest Observed Effect Concentration*)

NOEC – Koncentracija bez uočenog učinka (engl. *No Observed Effect Concentration*)

OSRA – Analiza rizika od izljeva nafte (engl. *Oil Spill Risk Analysis*)

P&ID – Dijagrami sustava procesa i instrumenata (engl. *Piping and Instrumentation Diagram*)

PEA – Predvidljivi spoznajni pristup (engl. *Predictive Epistemic Approach*)

PEC – Predviđena koncentracija u okolišu (engl. *Predicted Environmental Concentration*)

PHA – Preliminarna analiza opasnosti (engl. *Preliminary Hazard Analysis*)

PNEC – Predviđena koncentracija bez učinka (engl. *Predicted No-Effect Concentration*)

PRAT – Metoda proporcionalnosti (engl. *Proportional Risk Assessment Technique*)

QADS – Kvantitativna analiza rizika kroz domino scenarij (engl. *Quantitative Assessment of Domino Scenarios*)

QRA – Kvantitativna procjena rizika (engl. *Quantitative Risk Assessment*)

RBM – Metoda održavanja temeljena na riziku (engl. *Risk Based Maintenance*)

RH – Republika Hrvatska

SAD – Sjedinjene Američke Države

SCADA – računalni sustav za sustav za nadzor, kontrolu, mjerenje, prikupljanje podataka i upravljanje procesima (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition*)

SRM – Metoda socijalnog rizika (engl. *Social Risk Management*)

SWIFT – Strukturalna „što ako“ analiza (engl. *Structural What If*)

UPP- Ukapljeni prirodni plin

US-EPA – Američka agencija za zaštitu okoliša (engl. *US Environmental Protection Agency*)

WRA – Težinska analiza rizika (engl. *Weighted Risk Analysis*)

1. UVOD

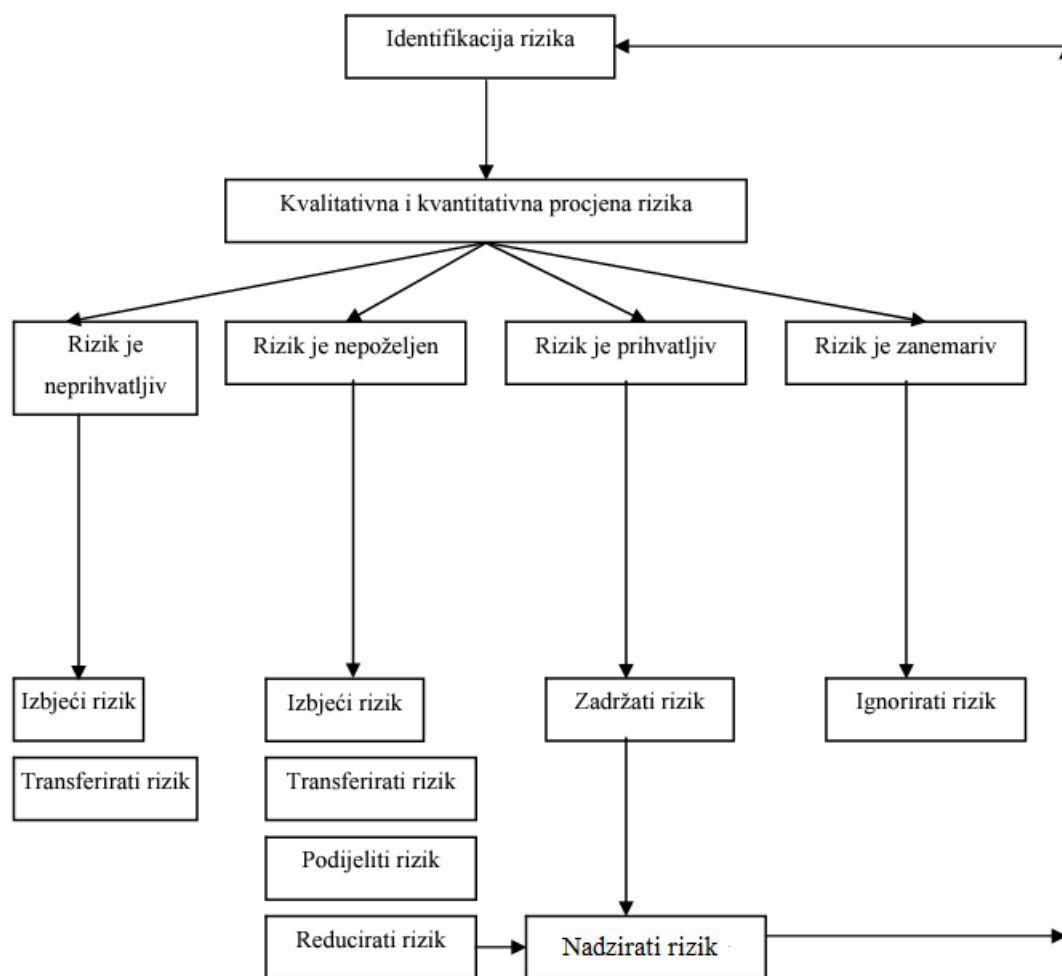
Rizik predstavlja razinu vjerojatnosti pojave nekog neželjenog događaja (Jolma et al., 2014). Pojava neželjenog događaja u industriji rezultira štetom po zdravlje, okoliš i imovinu te negativno utječe na reputaciju kompanije. Primarna zadaća poslodavca je osigurati sigurnost na radnom mjestu, što je moguće kroz smanjenje učestalosti pojave neželjenih događaja. Također, poslodavac je dužan definirati opasnosti na svakom pojedinom radnom mjestu, procijeniti pripadajuće rizike te educirati radnike o potencijalnim izvorima opasnosti i pripadajućim mjerama prevencije. Budući da se rizik ne može u potpunosti eliminirati, najbolje rješenje je implementacija sustavnog pristupa kod upravljanja rizikom.

Upravljanje rizicima predstavlja skup koordiniranih aktivnosti za upravljanje i nadzor organizacije s obzirom na utvrđene rizike. Obuhvaća procese procjene i obrade rizika te postupanje s rezidualnim rizikom, odnosno rizikom koji je preostao nakon obrade rizika.

Sam proces procjene rizika sastoji se od (Kletz, 1999):

- identifikacije,
- analize,
- vrednovanja rizika.

Identifikacija rizika podrazumijeva procese pronalaženja, prepoznavanja i opisivanja rizika te predstavlja temelj svake procjene rizika. Analizom rizika određuje se njegov značaj i utvrđuju se mjere koje je potrebno provesti kako bi se rizik zadržao u granicama prihvatljivog. Značaj rizika definira se prema ozbiljnosti utjecaja, tj. težini posljedica, kao i vjerojatnosti njegove pojave. Vrednovanje rizika podrazumijeva proces usporedbe rezultata analize rizika s postavljenim kriterijima, kako bi se odredila prihvatljivost. Ako rizik nije prihvatljiv potrebno je modificirati sustav s ciljem smanjenja jednog ili drugog parametra (Kletz, 1999). Shematski prikaz cikličkog procesa upravljanja rizicima prikazuje Slika 1-1.



Slika 1-1. Shematski prikaz cikličkog procesa upravljanja rizicima (Cerić i Marić, 2011)

Aktivnosti koje se provode u naftnoj industriji predstavljaju potencijalni rizik za okoliš (Gaurina-Međimurec et al., 2015). U kontekstu procjene rizika od istjecanja ugljikovodika u okoliš, rizik se može izraziti kao kombinacija vjerojatnosti da će se istjecanje dogoditi i veličine posljedica tog istjecanja (Etkin et al., 2017). Vjerojatnost pojave istjecanja i veličinu posljedica istog karakterizira određeni stupanj nesigurnosti, što dovodi do neizvjesnosti u određivanju konačne vrijednosti rizika. Vjerojatnost određenog scenarija istjecanja nafte u okoliš obično se procjenjuje na temelju povijesnih podataka o akcidentima koji su se dogodili u određenom dijelu industrije (Abascal et al., 2015).

Izljev ugljikovodika definiran je kao događaj u kojem se tekući ugljikovodici ispuštaju slučajno ili s namjerom tijekom relativno kratkog vremena te ne uključuje događaj u kojem ugljikovodici sporo cure tijekom dugog vremenskog razdoblja, niti uključuje operativne izljeve

dopuštene međunarodnim ili nacionalnim propisima (Hrnčević, 2016). Izljev tekućih ugljikovodika u okoliš moguć je kako u fazi istraživanja ugljikovodika, tako i u fazi njihovog pridobivanja, skladištenja, transporta, ali i prerade, distribucije i korištenja naftnih derivata. Zbog visoke biološke aktivnosti i visoke koncentracije organskih tvari, izljevi sirove nafte i naftnih derivata mogu biti od velike opasnosti za ekosustave, koji se nakon toga vrlo teško oporavljaju. Posjedovanje plana i programa sanacije te uspostava suradnje s vladom i drugim organizacijama pokazalo se ključnim u slučaju velikih izljeva.

Iako ne postoji opće prihvaćena metodologija za procjenu rizika od istjecanja nafte u okoliš, konvencionalne metode za analizu rizika (kvalitativne, kvantitativne i hibridne tehnike) na raspolaganju su i predstavljaju učinkovit alat svima koji se susreću s ovom problematikom. Postupak procjene rizika od istjecanja nafte u okoliš prilikom obavljanja naftno-rudarskih aktivnosti analizirali su brojni autori (Dziubinski et al., 2006; Fingas, 2011; Matanović et al., 2014; Gaurina-Međimurec et al., 2015; Etkin et al., 2017). S obzirom na stupanj nesigurnosti koji prati rizike od pojave neželjenog događaja kod provođenja naftno-rudarskih procesa, različite kvantitativne i kvalitativne metode koje se predlažu u navedenim referencama, u funkciji su optimizacije postupka upravljanja rizikom kod izljeva nafte.

Ovaj diplomski rad daje pregled statističkih podataka vezanih uz ekološke akcidente u naftnoj industriji. Kroz opseg i trendove, analizira utjecaje naftne industrije na okoliš te daje pregled izvora onečišćenja u naftnoj industriji. Također, daje pregled i analizu metoda koje je moguće koristiti kod procjene rizika od akcidenta istjecanja ugljikovodika u okoliš prilikom obavljanja naftno-rudarskih aktivnosti. Detaljno, uz specifikaciju pojedinih koraka koje je potrebno provesti u svrhu provođenja procjene rizika, obrađuje metodu opisanu u dokumentu naslova *Guidlines Oil Spill Risk Assessment and Management*, izdanom od strane Udruženja kompanija za naftu, plin i obnovljivu energiju Latinske Amerike i Kariba (engl. *Association of Oil, Gas and Renewable Energy Companies of Latin America and the Caribbean, ARPEL*). Zbog svoje prikladnosti i jednostavnosti primjene, metoda se preporuča kod provođenja preliminarnih procjena.

2. IDENTIFIKACIJA OPASNOSTI U NAFTNOJ INDUSRIJI I NJIHOV POTENCIJALNI UTJECAJ NA OKOLIŠ

Proces upravljanja rizicima započinje identifikacijom opasnosti, zatim slijedi analiza i vrednovanje rizika, odgovor rizicima te na kraju praćenje i kontrola rizika. Identifikacija opasnosti smatra se najvažnijim korakom u analizi rizika, jer se smatra da ono što nije identificirano, nije niti vrednovano i ne može biti ublaženo ili umanjeno. Identifikacija opasnosti može se postići korištenjem različitih tehnika, kao npr. (Matanović et al., 2014):

- popis akcidenata i opasnosti,
- sigurnosni pregledi i provjere,
- preliminarna analiza opasnosti,
- analiza načina i učinaka kvarova (engl. *Failure Modes and Effects Analysis, FMEA*),
- analiza rizika i pouzdanosti (engl. *Hazard and Operability Study, HAZOP*),
- strukturalna „što ako“ analiza (engl. *Structural What If, SWIFT*).

U naftnoj industriji najčešće se koriste tehnike *SWIFT* i *HAZOP* zbog svoje jednostavnosti, ali i zbog toga što su primjenjive u svim fazama kroz koje prolaze rudarski objekti i postrojenja (projektiranje, operativna faza, razmatranje modifikacija, prije napuštanja (dekomisije)). *HAZOP* metoda je studija opasnosti i operativnosti čija je svrha identificirati opasnosti i probleme u dizajnu procesa te kojoj je cilj ubrzana procjena posljedica i učestalosti događaja. Počeci *HAZOP* analize vežu se uz potrebe procesne industrije u Engleskoj, a njena praktična primjena započela je šezdesetih godina prošlog stoljeća, kroz nadogradnju "što ako" analize. *HAZOP* analiza je induktivna analitička tehnika, koju su autori Rohm i Haas usavršili i primijenili u pilot studiji iz 1977. godine u svrhu analize rizika kod provođenja poljoprivrednih aktivnosti (Radosavljević, 2008). Logika u primijenjenoj analizi omogućila je detekciju mehanizma nastanka vrlo ozbiljnih incidentnih situacija, kao i identifikaciju i generiranje operativnih mogućnosti za poboljšanje sigurnosti, kvalitete i funkcionalnosti proizvodnih procesa (Radosavljević, 2008).

Glavni cilj *SWIFT* metode je određivanje mogućih problema u sustavu, odnosno detektiranje najrizičnijih dijelova sustava, kao i posljedica koje bi se mogle pojaviti. Ova metoda se najčešće koristi u industriji prilikom razmatranja rizika vezanih uz promjenu opreme i radnih metoda

(Radosavljević, 2008)

2.1. Opasnosti za okoliš u procesima naftne industrije

Tijekom provođenja naftno-rudarskih aktivnosti identificirano je više onečišćivača koji predstavljaju prijetnju okolišu, odnosno njegovim sastavnicama (zrak, tlo, voda i biološka raznolikost), bilo slučajnim, namjernim ili dopuštenim ispuštanjem (Fingas, 2011):

- isplaka,
- različite vrste kemikalija i aditiva koji se koriste u tehnološkim procesima istraživanja i pridobivanja ugljikovodika,
- ugljikovodici,
- slojna voda,
- tehnološke i oborinske vode,
- emisije štetnih plinova,
- muljevi i talozi iz spremnika,
- ostali generirani otpad i dr.

Utjecaj aktivnosti naftne industrije na okoliš kreće se od vrlo niskog do vrlo visokog, ovisno o vrsti aktivnosti, primijenjenim tehnikama sprječavanja i kontrole onečišćenja te osjetljivosti okoliša u kojem se te aktivnosti provode. Najraširenija i najopasnija posljedica utjecaja aktivnosti naftne industrije je zagađenje, koje je zbog prisutnosti i rukovanja štetnim tvarima, potencijalno povezano sa svim aktivnostima u svim fazama proizvodnje nafte i plina, od istraživanja do rafiniranja. U ranim fazama istraživanja (zračna snimanja i seizmička istraživanja) sve aktivnosti su privremene i kratkoročne, a glavni onečišćivači tijekom seizmičkih operacija su buka i otpad, koji su uglavnom niske razine i volumena (Fingas, 2011). Izrada bušotine obično traje od nekoliko tjedana do jednog ili nekoliko mjeseci, ovisno o dubini bušotine i problemima koji se mogu pojaviti tijekom bušenja. Glavni onečišćivači tijekom bušenja su isplaka i krhotine probušenih stijena. U osnovi postoje tri vrste isplaka koje se koriste za čišćenje kanala tijekom bušenja, a to su: isplake na bazi vode, isplake na bazi ulja te isplake na bazi sintetičkih spojeva. U praksi se najčešće koriste isplake na bazi vode zbog niže cijene i jednostavnog sastava. Glavne komponente u isplaci na bazi vode su glina (najčešće bentonit) i

voda, koje čine ovu vrstu isplake, u usporedbi s druge dvije, ekološki najprihvatljivijom (Hrnčević, 2016). Isplake na bazi ulja prvenstveno se sastoje od dizelskog ulja, dok se sintetičke isplake baziraju na sintetičkim spojevima (npr. esteri, eteri, olefini,..). S obzirom na sastav, isplake na bazi vode su najmanje toksične, a isplaka na bazi ulja najviše toksične. Većina aditiva koji se dodaju u isplaku radi poboljšavanja njenih svojstava mogu biti opasni (npr. aditivi na bazi kroma koji se koriste kao inhibitori korozije, deflokulanti, dispergatori, masti za podmazivanje i dr.). U pravilu, isplake sadrže određeni udio neželjenih komponenti, od kojih su najistaknutiji teški metali (barij iz barita, živa i kadmij iz primjesa u baritu, olovo iz masti za podmazivanje navoja, krom za smanjenje viskoznosti), soli i ugljikovodici koji su štetni za okoliš (Reis, 1996).

Proizvedena slojna voda je, prema količini, glavna vrsta otpada koja nastaje tijekom pridobivanja ugljikovodika, a sadrži anorganske soli, teške metale, krute tvari, namjenski dodane kemikalije (inhibitori korozije, sredstva za uklanjanje kamenca, biocidi, disperzanti, razbijači emulzija, kiseline) i ugljikovodike (Rana, 2008). Količina proizvedene slojne vode ovisi o vrsti ugljikovodika (nafta ili plin), vrsti ležišta i o primijenjenoj metodi proizvodnje (primarne, sekundarne i tercijarne metode proizvodnje), a varira tijekom životnog vijeka proizvodnih polja (volumen pridobivene slojne vode se povećava prema kraju životnog vijeka polja). U praksi se pridobivena slojna voda prvo obradi, a zatim utiskuje u ležište, za potrebe održavanja ležišnog tlaka ili trajnog odlaganja. U nekim slučajevima, nakon obrade, pridobivena slojna voda se izravno ispušta u površinsko vodno tijelo (Rana, 2008). U slučaju izljeva ili curenja neobrađene slojne vode, zbog prisutnih ugljikovodika i soli, ista može predstavljati prijetnju kopnenim i vodenim ekosustavima (Hrnčević, 2016). Prilikom obrade vode i nafte koriste se: biocidi, inhibitori kamenca, inhibitori korozije, razbijači emulzije, surfaktanti, koagulanti, flokulanti, antipjenušavci, depresanti stiništa te inhibitori parafina (AZU, 2022). U procesu obrade plina koriste se inhibitori stvaranja hidrata, sredstva za uklanjanje sumporovodika, ugljikovog dioksida i žive te sredstva za dehidraciju (AZU, 2022). Osim slojne vode, u fazi eksploatacije ugljikovodika nastaju i druge vrste otpada i to: muljevi iz spremnika, apsorbensi, filtarski materijal, zaštitna odjeća onečišćena opasnim tvarima, metalna ambalaža koje sadrži opasne krute porozne materijale te otpad koji nastaje tijekom pročišćavanja i transporta prirodnog plina (AZU, 2022).

Primarne izvore emisija onečišćujućih tvari u zrak u naftnoj industriji predstavljaju procesi spaljivanja i pročišćavanje plinova, izgaranje goriva, fugitivne emisije te emisije čvrstih čestica. Emisije štetnih plinova javljaju se u različitim rasponima, u svim fazama cjelokupnih naftnih aktivnosti, a moguće ih je podijeliti na (Hrnčević, 2019):

- emisije izgaranja, koje uključuju izgaranje goriva u energetske jedinice i spaljivanje plinova,
- emisije iz odzračivanja (engl. *venting*), koje uključuju ispuštanje plinova kroz ispušne otvore zbog sigurnosnih razloga,
- fugitivne emisije, koje uključuju emisije uglavnom metana i drugih hlapivih organskih spojeva iz opreme pod tlakom zbog propuštanja kroz ventile, cijevne spojeve ili mehaničke brtve.

Djelatnosti naftne industrije karakterizira visoka mogućnost izljeva ili curenja fluida, ponajviše ugljikovodika. S obzirom na specifičnu vrstu djelatnosti, većina ekoloških onečišćenja se odnosi na slučajne izljeve i curenja tijekom proizvodnje i transporta. Aktivnosti istraživanja i proizvodnje nafte i plina posebno su rizične s obzirom na opasnosti koje mogu rezultirati istjecanjem ugljikovodika u okoliš. Do istjecanja ugljikovodika u okoliš može doći uslijed erupcije (tijekom bušenja, opremanja, proizvodnje, održavanja), ali i ostalih istjecanja nafte ili plina u procesima proizvodnje, sabiranja, pripreme za transport, transporta te skladištenja. Iako je potencijal za onečišćenje okoliša znatno ozbiljniji u "*upstream*" sektoru, u rafinerijama, naftnim terminalima te distribucijskim mrežama također postoji potreba za nadzorom i zaštitom okoliša. U rafinerijama se provodi praćenje emisija iz procesa izgaranja, praćenje kvalitete okolnog zraka, praćenje kvalitete vode, analiza uzoraka tla te praćenje vrste metala u tragovima (Harrison, 2020).

2.2. Posljedice izljeva nafte

Izljevi nafte predstavljaju najveću opasnost za okoliš te će u nastavku teksta biti dan pregled posljedica izljeva nafte. Svaki izljev nafte jedinstven je događaj u smislu utjecaja i šteta, jer se događa pod različitim okolnostima, u smislu vrste i količine nafte, vremenskih uvjeta i uvjeta na lokaciji te u različitim ekosustavima. Izlivena nafta uvelike varira u svom sastavu, od sirove nafte do proizvoda rafiniranja. Nakon ispuštanja u okoliš nafta je podvrgnuta brojnim

promjenama u sastavu, a time i promjenama fizikalnih i kemijskih svojstava. To je poznato kao starenje nafte, a taj proces uključuje: isparavanje, emulgiranje, disperziju, otapanje, oksidaciju i biorazgradnju (Hrnčević, 2016). Većina ovih procesa ima važnu ulogu u smanjenju koncentracije izlivena nafte u okolišu. Određivanje utjecaja izljeva nafte je vrlo složeno, a utjecaj izlivena nafte na okoliš često se prikazuje kao umnožak količine, toksičnosti i izloženosti (Hrnčević, 2016).

Količina (volumen izlivena nafte) i izloženost mogu se relativno lako odrediti, međutim, problem leži u toksičnosti. Naime, toksičnost se definira kao stupanj do kojeg je tvar sposobna oštetiti izloženi organizam (Fingas, 2011). Određivanje toksičnosti nafte prilično je kompleksno zbog činjenice da nafta nije jedna tvar, već složena mješavina. Znatno je teže odrediti toksičnost kemijske smjese nego čiste kemikalije, jer svaka komponenta pokazuje vlastitu toksičnost, a komponente mogu međusobno djelovati i proizvesti pojačane ili smanjene učinke. Ugljikovodici koji se najčešće povezuju s toksičnim učincima su aromatski ugljikovodici. U ovoj skupini postoje ugljikovodici koji se sastoje od jednog ili više benzenskih prstenova. Monociklički aromatski ugljikovodici uključuju takozvane *BETEX* spojeve (benzen, toluen, etil benzen i ksilen), koji su vrlo hlapljivi i relativno topljivi u vodi. *BETEX* spojevi se uglavnom nalaze u lakim sirovim naftama i lakim naftnim proizvodima. Ugljikovodici, koji se sastoje od višestrukih benzenskih prstenova, poznati su kao policiklički aromatski ugljikovodici. Ovi spojevi identificirani su kao kancerogeni, mutageni i teratogeni (Rana, 2009).

Toksičnost se očituje kroz akutne i kronične učinke koji se međusobno razlikuju u vremenskom rasponu manifestacije toksičnog učinka nakon izlaganja organizma toksičnoj tvari. Naime, akutni toksični učinci manifestiraju se u kratkom vremenskom razdoblju u odnosu na životni vijek organizma, dok će za kronične učinke trebati mnogo više vremena da budu vidljivi. Standardne mjere akutne toksičnosti su LD50 (miligram otrovne tvari po kilogramu tjelesne težine) ili LC50 (ppm, mg/l) što označava koncentraciju otrovne tvari koja će uzrokovati smrt 50% ispitane populacije unutar određenog vremena izloženosti (Hrnčević, 2019). U procjeni mogućih učinaka tvari i rizika koji tvar predstavlja za okoliš, osim LC50, postoji nekoliko drugih izraza kojima se izražava koncentracija tvari, kao što su predviđena koncentracija u okolišu (engl. *Predicted Environmental Concentration*, *PEC*), predviđena koncentracija bez učinka (engl. *Predicted No-Effect Concentration*, *PNEC*), koncentracija bez uočenog učinka (engl. *No Observed Effect Concentration*, *NOEC*) i najniža koncentracija uočenog učinka (engl.

Lowest Observed Effect Concentration, LOEC) Ukoliko *PEC* premašuje *PNEC* postoji rizik štete za okoliš proporcionalno omjeru *PEC/PNEC* koji predstavlja mjeru vjerojatnosti da će do štete doći (INCHEM, 1999).

Nafta može utjecati na organizme na mnoge načine, a njen utjecaj je ovisan o načinu izloženosti (fizička izloženost, gutanje, apsorpcija, adsorpcija ili kroz hranidbeni lanac), mjestu izloženosti (vodena površina, obala, kopno), osjetljivosti organizma, potencijalu oporavka organizma. Vrijeme potrebno da se organizam ili ekosustav oporavi od onečišćenja kreće se od nekoliko dana do nekoliko godina. Najčešće posljedice izloženosti organizama izljevu nafte su gubitak staništa, promjene u načinu hranjenja i reproduktivnog ponašanja te opće promjene u ponašanju. Onečišćenje tla naftom ili naftnim derivatima rezultirat će promjenama nekih svojstava tla (sorpcijska svojstva, reakcijska svojstva tla...), promjenama mikrobne raznolikosti tla, onemogućenim transportom vode i hranjivih tvari, poremećajem omjera ugljika i dušika, prijelazom iz oksidacije u redukciju. Teško je utvrditi potpuni opseg utjecaja i posljedica naftnog izljeva u morskom okolišu jer su, uz složenost procesa starenja, mnogi fizički i biološki procesi u morskom i obalnom okolišu još nedovoljno poznati. Najvažniji čimbenici koji utječu na toksičnost ugljikovodika u vodenom okolišu su salinitet i temperatura vode (Rana, 2009).

3. ANALIZA I OCJENA RIZIKA

Tehnike analize i ocjene rizika moguće je grupirati u tri kategorije: kvalitativne, kvantitativne te hibridne (Slika 3-1). Kod odabira metoda savjetuje se započeti procjenu rizika s kvalitativnim pristupom te u slučaju potrebe dodatnih detalja potrebno je prijeći na kvantitativne metode.



Slika 3-1. Glavne metode analize i ocjene rizika (prema Orszulik, 2008)

Kvalitativne tehnike analize rizika temelje se na iskustvu procjenjivača, bez uvođenja matematičkih relacija te uključuju liste s pitanjima i parametrima procesa, u svrhu provjere dizajna ispravnog rada i kvarova. U kvalitativne tehnike ubrajaju se analiza „što ako“ (engl. „*What if*“), sigurnosne provjere (engl. *Checklist Analysis*), analiza zadaća (engl. *Task Analysis*), analiza rizika i pouzdanosti (engl. *Hazard and Operability Study, HAZOP*), preliminarna analiza opasnosti (engl. *Preliminary Hazard Analysis, PHA*) i relativno rangiranje (*Dow Mond* metoda) (Kontogiannis, 2003).

Kvantitativne metode analize rizika temelje se na numeričkoj procjeni vrijednosti vjerojatnosti i posljedica na temelju tzv. SMART parametara (S-specifičan (engl. *specific*), M-mjerljiv (engl. *measurable*), A-dostupan (engl. *available*), R-relevantan (engl. *relevant*) i T-pravovremen (engl. *timely*). U kvantitativne metode se ubrajaju: metoda proporcionalnosti (engl. *Proportional Risk Assessment Technique, PRAT*), matrica odlučivanja (engl. *Decision Matrix Risk-Assessment technique, DMRA*), metoda socijalnog rizika (engl. *Social Risk Management, SRM*), kvantitativna metoda procjene rizika (engl. *Quantitative Risk Assessment, QRA*), kvantitativna analiza rizika kroz domino scenarij (engl. *Quantitative Assessment of Domino Scenarios, QADS*), klinička analiza rizika i pogrešaka (engl. *Clinical Risk and Error Analysis, CREA*), predvidljivi spoznajni pristup (engl. *Predictive, Epistemic Approach, PEA*), težinska analiza rizika (engl. *Weighted Risk Analysis, WRA*) te analiza načina i učinaka kvarova (engl. *Failure Modes and Effects Analysis FMEA*) (Matanović et al., 2014).

Hibridne tehnike kombiniraju elemente kvalitativnih i kvantitativnih tehnika. U hibridne tehnike se ubrajaju: tehnika analize ljudskih grešaka (engl. *Human Error Analysis Techniques, HEAT*), tehnika analize ljudskih faktora (engl. *Human Factor Event Analysis, HFEA*), analiza na osnovi "padajućeg stabla" (engl. *Fault-Tree Analysis, FTA*), analiza "stabla događaja" (engl. *Event Tree Analysis, ETA*), metoda održavanja temeljena na riziku (engl. *Risk Based Maintenance, RBM*), te analiza uzroka i posljedice (engl. *Cause Consequence Analysis, CCA*) (Matanović et al., 2014).

3.1. Kvalitativne tehnike analize rizika

Kvalitativne tehnike analize rizika se koriste za kvantificiranje rizika povezanog s određenom opasnošću. Uključuju analitičku procjenu, ali strogo ovise o procjenjivačevoj sposobnosti interpretacije rizika. U nastavku teksta opisane su najčešće korištene kvalitativne tehnike.

Liste provjere (engl. *Checklist Sheet*) predstavljaju osnovnu kvalitativnu metodu koja uključuje popis pitanja ili radnih listova. Koristi se za utvrđivanje izvora rizika, bez zalaženja u tehničke pojedinosti, s ciljem definiranja onih sustava koji predstavljaju značajni rizik. Potom se, za utvrđene visokorizične sustave, koristi neka detaljnija metoda. Rezultat ove analize je popis izvora rizika i procjena vjerojatnosti pojave akcidenta. Najvažniji dio u implementaciji ove metode je iskustvo i stručnost ispitivača pa o tome najviše ovisi kvaliteta analize rizika ovom metodom (Matanović et al., 2014).

Analiza „što ako“ (engl. „*What if*“) služi za utvrđivanje izvora rizika odgovaranjem na pitanje kakav bi bio učinak niza neočekivanih događaja. Utvrđuje one rizike koji bi mogli imati ozbiljne posljedice. Sastoji se od niza pitanja koja bi trebala biti postavljena od strane iskusnog tima ispitivača o komponentama sustava koji se nadzire. Primarni cilj ove metode je odrediti potencijalne probleme u sustavu, odnosno utvrditi potencijalne izvore rizika i predvidjeti njihove posljedice. Rezultati također ovise i o kvaliteti tima eksperata. Ova tehnika se često koristi u industriji kako bi se sagledali rizici vezani uz promjenu opreme i radnih postupaka (Matanović et al., 2014).

Sigurnosne provjere (engl. *Checklist Analysis*) se odnose na različite procedure pripremljene za inspekcijski nadzor instalacija, procesa i postrojenja. Revizori pregledavaju, verificiraju implementaciju i funkcionalnost pristupa korištenog pri dizajniranju sustava, kontroli provođenja operacija, kao i u primijenjenim mjerama sigurnosti. Rezultat ove analize je lista preporuka o sigurnosnim mjerama, procedurama, mogućim poboljšanjima u pripremljenosti operatera pri izvođenju radova (Reniers et al., 2005; Matanović et al., 2014).

Analiza zadaća (engl. *Hierarchical Task Analysis, HTA*) se prvenstveno koristi u procesu identifikacije međudjelovanja sustava i uključenog osoblja. Rezultat analize je model zadaća.

Analizira se proces i djelovanje pojedinaca u procesu s obzirom na njihove radne zadatke. Prilikom provođenja ove analize sakupljaju se podaci o aktivnostima i utjecaju zaposlenika u odnosu na potrebe sustava. Grafičkim prikazima rezultata moguće je usporediti potrebe sustava i sposobnost izvođača, a sve u cilju uspostavljanja njihove kompatibilnosti (Matanović et al., 2014). Metodu su prvi su opisali Annett i Duncan (1967), a kontekst u kojem se prvobitno koristila je bio trening sustava i zaposlenika. Kasnije postaje pristup koji se često primjenjuje, prije svega u kontroli industrijskog procesa (Kontogiannis, 2003).

Analiza rizika i pouzdanosti (engl. *Hazard and Operability Study, HAZOP*) bazira se na sustavnom pristupu identifikaciji i dokumentaciji rizika. Metoda se temelji na dijagramima sustava procesa i instrumenata (engl. *Piping and Instrumentation Diagram, P&ID*) (Duhon & Cronin, 2015). Svrha *HAZOP* analize je identificirati odstupanja i opasnosti u dizajnu procesa, a za moguća odstupanja od normalnih uvjeta koristi se niz ključnih riječi:

- „NIŠTA“- negacija namjere,
- „VIŠE NEGO“- kvantitativno povećanje,
- „MANJE NEGO“- smanjenje,
- „DIO OD“- samo dio namjere je ispunjen,
- „DOBRO KAO“- nešto izvan projekta,
- „INVERZNO“- logička suprotnost projektu,
- „DRUGO“- potpuna zamjena/izmjena.

Preliminarna analiza opasnosti (engl. *Preliminary Hazard Analysis, PHA*) identificira i rangira svaku potencijalnu opasnost prema mogućim uzrocima i posljedicama. Sadrži popis preporuka ili zaštitnih mjera koje treba primijeniti u određenoj situaciji. Sam naziv upućuje na činjenicu da se ova metoda najčešće nadograđuje izvođenjem dodatnih analiza, a u fokusu analize su opasne tvari (Vamanu et al., 2016).

Relativno rangiranje (engl. *Dow Fire and Explosion Index (Dow F&EI) and Mond Index*) se koristi za utvrđivanje izvora rizika od požara i eksplozije. Pretpostavlja razvrstavanje različitih dijelova postrojenja za obradu kemikalija prema riziku. Postupak započinje podjelom postrojenja na manje jedinice, a potom se definira faktor materijala za prisutnu opasnu tvar koji ovisi o toplini izgaranja. Zatim se dodjeljuju negativni bodovi onim dijelovima procesa koji

moгу doprinijeti nesreći, odnosno pozitivni bodovi za sigurnosne sustave koji mogu ublažiti posljedice nesreće. Relativno rangiranje je najčešće korištena metoda koja se primjenjuje u procesnim industrijama, gdje se skladište, transportiraju ili obrađuju zapaljivi ili reaktivni agensi. Također, gubici uzrokovani požarom ili eksplozijom mogu se ekonomično i učinkovito procijeniti korištenjem ove metode, a uz to, metoda predstavlja jednostavan alat za korištenje prilikom procjene opasnosti od požara i eksplozije u kemijskim procesnim industrijama koji koriste dostupne parametre, kao što su tlak, temperatura i energija kemijskih tvari. Relativnim rangiranjem mogu se identificirati i prioriteti upravljanja i održavanja, a gubici procijenjeni ovom metodom mogu poslužiti kao osnova za određivanje troškova osiguranja od eksplozije i požara (Nezamodini et al., 2017).

3.2. Kvantitativne tehnike analize rizika

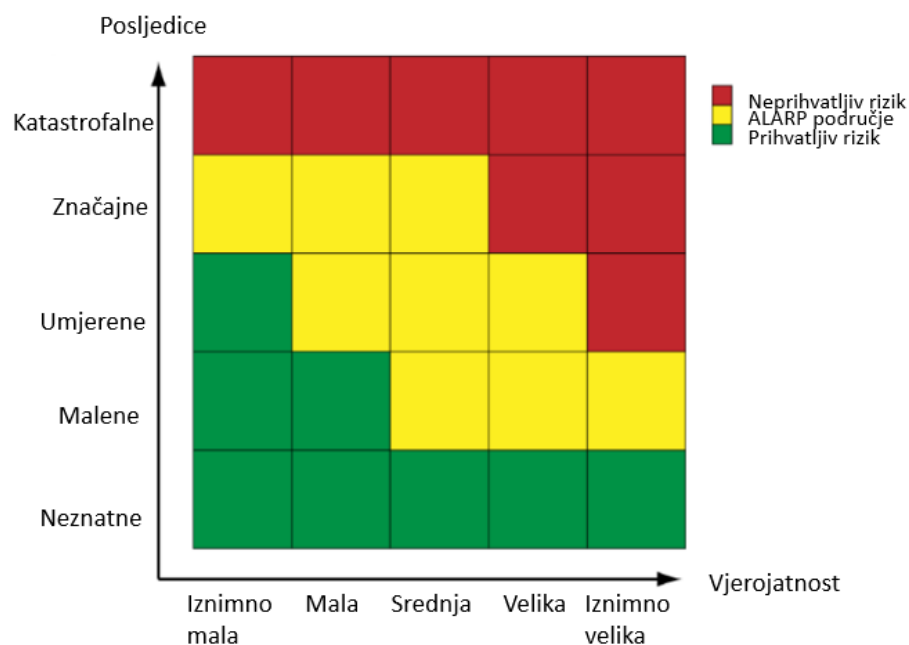
Kvantitativne tehnike analize rizika su u najširoj upotrebi (čine preko 65% korištenih metoda). Temelje se na brojčanim vrijednostima vjerojatnosti pojave akcidenta, ranjivosti sustava i posljedica, odnosno utjecaja neželjenog događaja. Kao rezultat dobiva se brojčana vrijednost rizika.

Metoda proporcionalnosti (engl. *Proportional Risk Assessment Technique, PRAT*) izračunava rizik korištenjem jednadžbe koja uključuje parametre poput potencijalnih posljedica nesreće, vjerojatnosti pojave nesreće i moguće izloženosti. Rizik je umnožak faktora vjerojatnosti, ozbiljnosti i izloženosti, a svakom faktoru moguće je dodijeliti vrijednost u intervalu od 1 do 10, tako da se rizik izražava vrijednošću na skali od 1 do 1000 (Tablica 3-1.).

Tablica 3-1. Tablica rezultata PRAT metode analize rizika (prema Supciller & Abali, 2015)

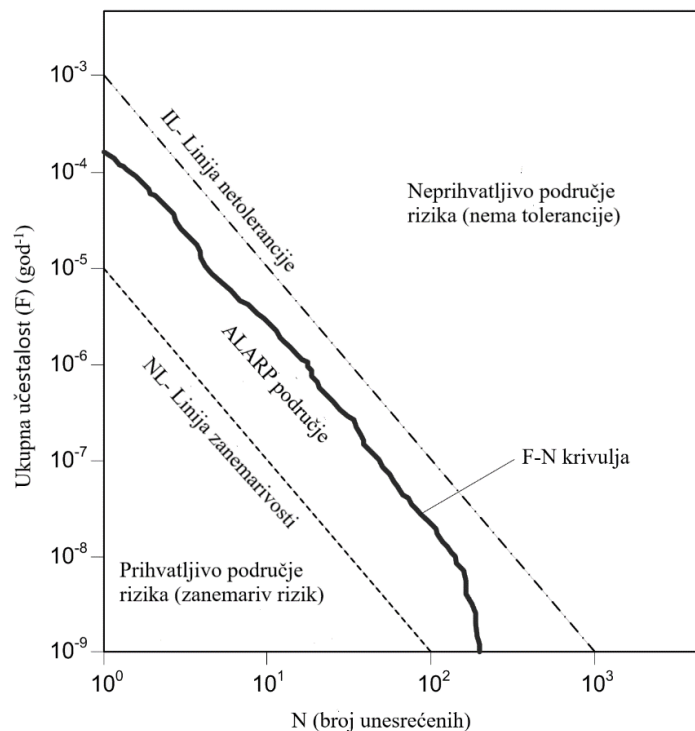
Vrijednost Rizika (R)	Razina žurnosti potrebnih radnji
700-1000	Hitno djelovanje
500-700	Djelovanje unutar jednog dana
300-500	Djelovanje unutar jednog mjeseca
200-300	Djelovanje unutar jedne godine
<200	Djelovanje nije nužno, ali je potreban nadzor

Matrica odlučivanja (engl. *Decision Matrix Risk-Assessment technique, DMRA*) omogućava kvantitativan i kvalitativan prikaz umnoška vjerojatnosti i ozbiljnosti akcidenta pri određivanju rizika (Vamanu et al., 2016). Posljedice se izražavaju kroz izgubljene živote, ozljede, izgubljen novac ili materijal, a učestalost se izražava s obzirom na vrijeme (tjedno, mjesečno ili godišnje). Konačna razina rizika prikazuje se pomoću matrice rizika, na apscisu se nanosi učestalost događaja, a na ordinatu ozbiljnost posljedica (Slika 3-2.)



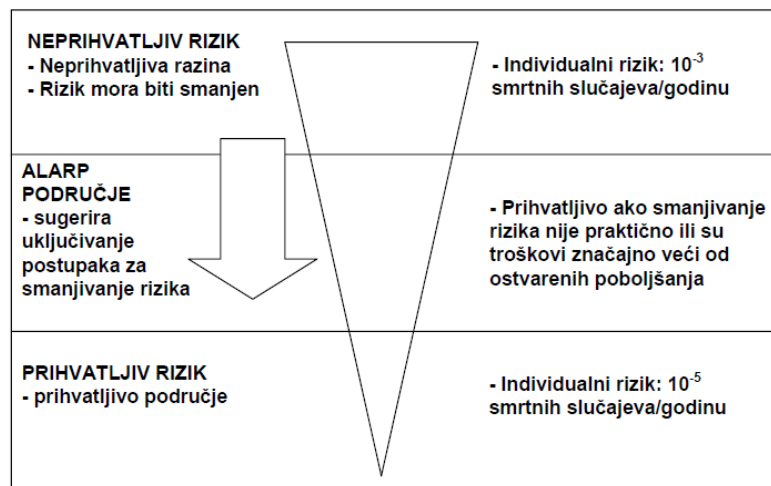
Slika 3-2. Kvalitativna matrica rizika (prema Vamanu et al., 2016)

Metoda socijalnog rizika stavlja u odnos učestalost scenarija i posljedice scenarija (broj unesrećenih) te se prezentira kao „F-N“ krivulja (Slika 3-3). Dijagram prikazuje i linije tolerancije. Smještaj F-N krivulje između ovih linija znači da je tehnički sustav prihvatljiv sa socijalnog aspekta. Smanjenje rizika, ako je potrebno, može se odrediti korištenjem *ALARP* (engl. *As low as reasonably practicable*) načela. Okvir prikazan na slici 3-4. podijeljen je na tri područja. Gornja razina prikazuje područje neprihvatljivog rizika, odnosno područje bez tolerancije, osim u posebnim okolnostima. U tom su području mjere za smanjenje rizika bitne. *ALARP* područje (onoliko nisko koliko je razumno izvedivo) ili područje tolerancije dozvoljava odluku o primjeni mjera za smanjenje rizika u skladu s troškovima i koristi. Razumno praktično područje se dobije na način da se dovedu u odnos količina rizika i uloženi trud, novac i vrijeme za smanjenje rizika. Ukoliko se pokaže da je smanjenje rizika zanemarivo u odnosu na uloženi trud, tada mjere nisu praktične. Prihvatljivo područje predstavlja stanje koje ne zahtijeva primjenu mjera za ublažavanje rizika (Guan & Jiao, 2013).



Slika 3-3. F-N krivulja (prema Amir-Heidari et al., 2014)

Pojedinačni kriteriji s obzirom na rizik razlikuju se po zemljama. Za radnike je maksimalni prihvatljivi rizik do 10^{-3} smrtnih slučajeva kroz godinu, a široko prihvaćen je 10^{-6} kroz godinu, dok za lokalno stanovništvo raspon je od 10^{-4} do 10^{-6} smrtnih slučajeva kroz godinu (Duhon & Cronin, 2015).



Slika 3-4. Razine kriterija prihvatljivosti rizika (Saari, 2009)

Kvantitativna metoda procjene rizika (engl. *Quantitative Risk Assessment, QRA*)

razvijena je kako bi se omogućila procjena rizika od velikih eksplozija popraćenih požarima. Temelji se na izračunima koji se izvode za odabir odgovarajućeg scenarija, a koristi se i metodologija i alati za procjenu posljedica. Alati se provjeravaju i mijenjaju u skladu s vrednovanjem na temelju iskustva, stvarnih mjerenja i rezultata ispitivanja (Vamanu et al., 2016).

Kvantitativna analiza rizika kroz domino scenarij (engl. *Quantitative Assessment of Domino Scenarios, QADS*) pretpostavlja da se primarni uzrok nesreće širi te uzrokuje pojavu više sekundarnih događaja, što u konačnici rezultira težim posljedicama od onih koje bi nastale iz samog primarnog događaja. U analizi je potrebno istražiti i odrediti primarni scenarij akcidenta, a zatim uočiti i odrediti učinke širenja negativnih posljedica. Također, potrebno je analizirati i druge povezane scenarije, koji se mogu pojaviti uz primarni akcident (Matanović et al., 2014).

Klinička analiza rizika i pogrešaka (engl. *Clinical Risk and Error Analysis, CREA*) provodi se određivanjem indeksa rizika, koji je rezultat umnoška vjerojatnosti pojave rizika i ozbiljnosti posljedica, s uključenim postotkom pogreške, a cijela metoda se temelji na dostupnim podacima i ocjenama stručnjaka (Vamanu et al., 2016).

Predvidljivi spoznajni pristup (engl. *Predictive, Epistemic Approach, PEA*) daje mogućnost kombiniranja stvarnih podataka i subjektivnih informacija za predviđanje akcidentnih situacija, a štete od izvanrednih situacija mogu se predvidjeti determinističkim ili probabilističkim analitičkim pristupom (Vamanu et al., 2016).

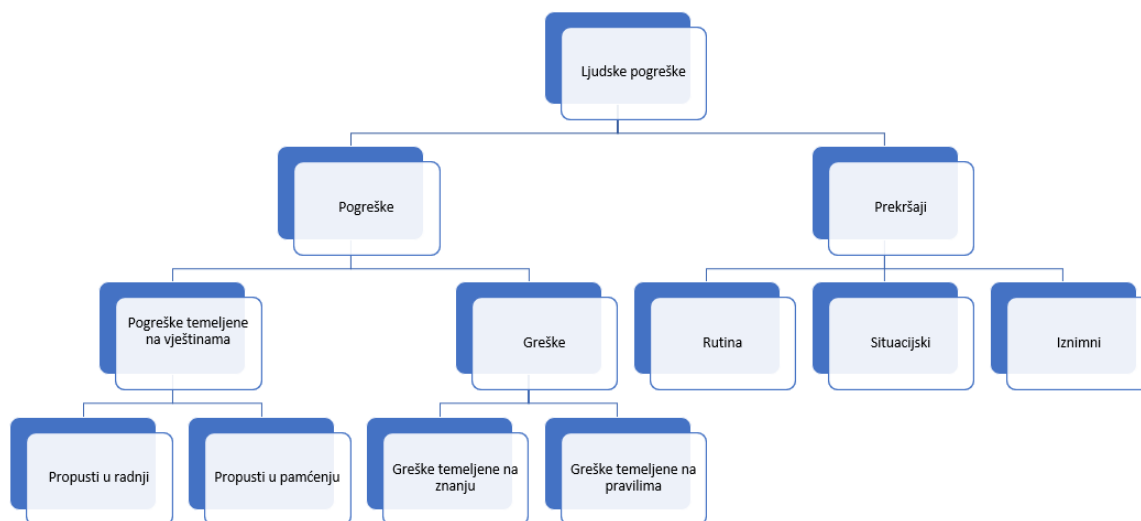
Težinska analiza rizika (engl. *Weighted Risk Analysis, WRA*) omogućuje međusobno uspoređivanje pojedinih rješenja za postizanje određenih ciljeva, temeljenih na težinskom razvrstavanju. Analiziraju se tehnički, ekološki, ekonomski, politički i društveni aspekti. Određuju se pojedinačni pokazatelji s pripadajućim težinskim vrijednostima, a sve u skladu s pojedinačnom važnosti pokazatelja u ukupnoj procjeni. Zatim se svaki pokazatelj u pojedinim rješenjima ocjenjuje prema valjanosti u odnosu na ciljeve. Konačna vrijednost pojedinih rješenja dobije se sumiranjem težina i ocjena svih pokazatelja, a najprimjerenije rješenje je ono koje postigne najveću konačnu vrijednost (Matanović et al., 2014).

Analiza načina i učinaka kvarova (engl. *Failure Modes and Effects Analysis, FMEA*) daje sustavni i tablični prikaz rezultata evaluacije uzroka i učinaka zabilježenih, odnosno poznatih vrsta kvarova opreme ili komponenti na godišnjoj razini (Matanović et al., 2014). Cilj ove metodologije je omogućiti organizacijama da predvide kvar već tijekom faze projektiranja identificiranjem svih mogućih kvarova u samom dizajnu ili tijekom operativne faze procesa. Razvijena 1950-ih, *FMEA* je bila jedna od prvih strukturiranih metoda poboljšanja pouzdanosti te je i danas još uvijek vrlo učinkovita metoda za smanjenje mogućnosti kvara. Predstavlja strukturirani pristup otkrivanju potencijalnih kvarova koji mogu postojati unutar dizajna proizvoda ili procesa te se samim time dijeli na dvije kategorije: Dizajn *FMEA* i Procesna *FMEA*. Dizajn *FMEA* istražuje mogućnost kvarova proizvoda, skraćenog životnog vijeka proizvoda te sigurnosne i regulatorne probleme. Procesna *FMEA* otkriva kvar koji utječe na kvalitetu proizvoda, smanjenu pouzdanost procesa, nezadovoljstvo kupaca i opasnosti po sigurnost ili okoliš. *FMEA* je jedan od mnogih alata koji se koriste za otkrivanje kvara u najranijoj mogućoj točki dizajna proizvoda ili procesa (Mascia et al., 2020). Otkrivanje greške rano u razvoju proizvoda pomoću ove tehnike omogućuje višestruke izbore za smanjenje rizika te niže troškove. U konačnici, ova metodologija je učinkovita u ranom prepoznavanju i ispravljanju grešaka u procesu, čime se izbjegavaju moguće neugodne posljedice. *FMEA* analiza se primjenjuje prilikom dizajniranja novog proizvoda ili procesa, ali također i prilikom planiranja izvođenja postojećeg procesa na drugačiji način, odnosno, prilikom poboljšavanja kvalitete za određeni proces. Osim toga, preporučljivo je povremeno provoditi *FMEA* tijekom cijelog životnog vijeka procesa. Kvaliteta i pouzdanost moraju se konstantno ispitivati i poboljšavati kako bi se postigli optimalni rezultati (Mascia et al., 2020).

3.3. Hibridne tehnike

Tehnika analize ljudskih grešaka (engl. *Human Error Analysis Techniques, HEAT*) ili **Tehnika analize ljudskih faktora** (engl. *Human Factor Event Analysis, HFEA*) uvedene su jer je prepoznato da ljudska pogreška ima veliki doprinos nesrećama u industriji. Procjenjuje se da je više od 85% nesreća uzrokovano ljudskim faktorom. Uobičajene greške kod ljudskih aktivnosti su pogreške i prekršaji (Slika 3-5.). Razlozi ljudskih pogrešaka mogu biti: promjene u sastavu tima u skladu s poslovima koji se obavljaju, promjene u razini vještina potrebnih za

obavljanje poslova, promjene u sustavu komuniciranja te promjene uvjeta u okolini koje mogu negativno utjecati na radne sposobnosti osoblja itd.



Slika 3-5. Grafički prikaz ljudskih pogrešaka (prema Shappell, 2000)

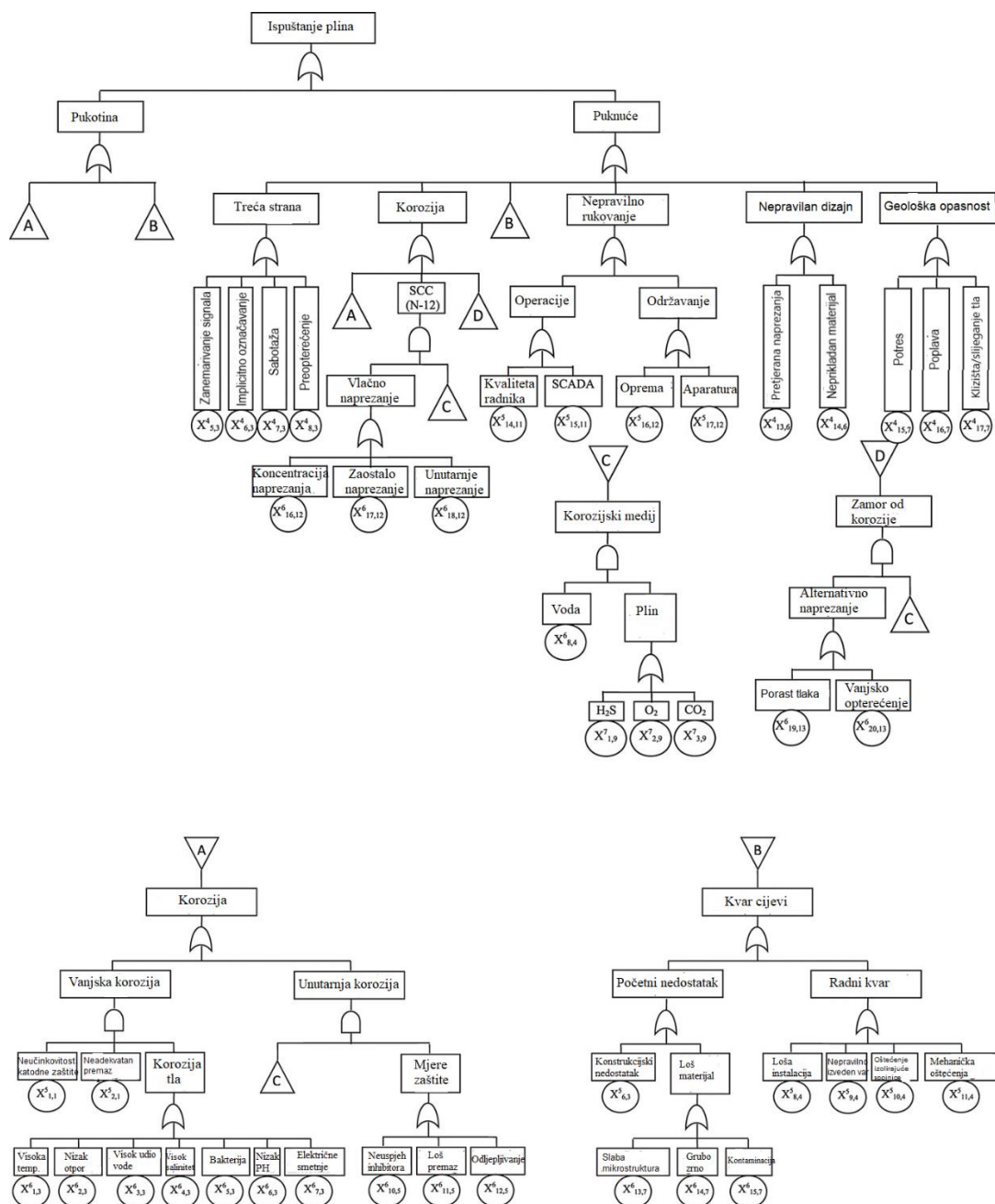
Kvalitativna analiza u stablu događaja identificira moguće ishode inicijalnog događaja, dok kvantitativna analiza procjenjuje vjerojatnost ili učestalost događaja ishoda za stablo. Kvantitativna analiza stabla događaja koristi jasne vjerojatnosti događaja za procjenu vjerojatnosti ili učestalosti ishoda događaja (Ferdous et al., 2011). U praksi je teško dobiti precizne procjene vjerojatnosti događaja, jer su u većini slučajeva te procjene rezultat ograničenog znanja stručnjaka, nepotpunih informacija, podataka loše kvalitete ili nepotpunog tumačenja mehanizma kvara. Ovi neizbježni problemi unose nesigurnosti u hibridne tehnike te čine cijeli proces analize rizika manje vjerodostojnim za donošenje odluka (Ferdous et al., 2009). U općoj taksonomiji glavna podjela nesigurnosti je na aleatorne (slučajne) i epistemičke (Ayyub & Klir, 2006). Aleatorna nesigurnost je nesigurnost koju model ne može smanjiti neovisno o znanju i količini dostupnih podataka (Agarwal et al., 2004). S druge strane, epistemička nesigurnost je nesigurnost u strukturu modela i parametre modela, gdje dolazi do neznanja koje se može smanjiti uz više informacija (Agarwal et al., 2004). Za opisivanje nesigurnosti u ulaznim podacima i njihovo širenje kroz stabla događaja tradicionalno se koriste pristupi temeljeni na vjerojatnosti kao što su Monte Carlo simulacije (Bae et al., 2004). Ovaj pristup zahtijeva dovoljno empirijskih informacija za izvođenje funkcija vjerojatnosti ulaznih

podataka koje općenito nisu dostupne (Wilcox & Ayyub, 2003). Kao alternativna koristi se stručno znanje ili prosudba, posebno kada je prikupljanje podataka teško ili vrlo skupo (Rosqvist et al., 2003).

Analiza na osnovi "padajućeg stabla" (engl. *Fault-Tree Analysis, FTA*) može se predstaviti kao kombinacija grafičkog i matematičkog modela koji omogućuje prikaz najkritičnijih elemenata sustava s obzirom na kvarove i izražavanje njihove vjerojatnosti. Analiza je prikazana kroz vizualizaciju međuovisnosti različitih elemenata koji mogu dovesti do akcidenta. Glavni (vršni) događaj (nešto neželjeno) je početna točka. Predstavljen je pravokutnikom i mora biti detaljno opisan. Kroz različito grananje s obzirom na interaktivnost elemenata sustava, identificiraju se i rangiraju mogući uzroci opasnosti. Elementi sustava, procesa i uvjeti opisani su pomoću logičkih vrata putem mogućnosti "I" ili "ILI" (Cheliyan et al., 2017). Sustav potom analiziraju osobe koje razumiju odnose i međuovisnost elemenata sustava koji mogu uzrokovati vršni događaj. Glavni događaj početna je točka analize, a njegova pojava je uzrokovana događajima iz niže razine, koji se također pojavljuju kao rezultat događaja iz još niže razine, što u konačnici definira oblik obrnutog razgranatog dijagrama (Slika 3-6.). Logička vrata "I" se koriste kada sve naznačene komponente ili uvjeti mogu doprinijeti postojanju vršnog događaja. Logička vrata "ILI" znače da samo jedan od dijelova sustava, ukoliko ne funkcionira dobro, može dovesti do glavnog događaja. Osnovne greške ili događaji koji dovode do glavnog događaja su prikazani krugom. Ostali simboli koji se koriste su romb, koji predstavlja nerazvijeni događaj te trokut, koji predstavlja točku prijenosa (Yuhua et al., 2015).

Na slici 3-6. prikazana je analiza padajućeg stabla kod ispuštanja prirodnog plina iz plinovoda, koja kroz događaje niže razine vodi do početnog događaja. Do puknuća, zbog kojeg je došlo do ispuštanja plina, može doći zbog utjecaja treće strane, korozije, nepravilnog rukovanja, kvara cijevi, nepravilnog dizajna te geološke opasnosti (pojava klizišta). Utjecaj treće strane moguć je kroz sabotazu, zanemarivanje, preopterećenje. Korozija se dijeli na unutarnju i vanjsku koroziju. Vanjska korozija nastaje u slučaju lošeg premaza, loše katodne zaštite te zbog utjecaja temperature, bakterija, vode, saliniteta i niskog pH. Unutarnja korozija posljedica je utjecaja korozijskog medija i neadekvatnih mjera zaštite. Do nepravilnog rukovanja može doći u slučaju pogreške radnika prilikom operacija te u slučaju kvara opreme. Greške u cjevovodima dijeli se na početne nedostatke (konstrukcijski nedostaci ili nekvalitetni

materijal) te na operativni kvar nastao zbog lošeg zavarivanja, postavljanja te mehaničkih oštećenja. U konačnici je uvijek prisutna opasnost od poplave, požara i geoloških opasnosti. U nastavku teksta navedeni su svi pripadajući osnovni događaji koji mogu dovesti do neželjenog događaja ispuštanja plina iz plinovoda



Slika 3-6. Analiza "padajućeg stabla" na primjeru ispuštanja plina iz cjevovoda (prema Shahriar et al., 2012)

Tablica 3-2. Opis početnih događaja sa slike 3-6. (prema Shahriar et al., 2012)

SIMBOL	NAZIV	OPIS
$X^4_{5,3}$	Zanemarivanje signala	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijed ignoriranja znakova
$X^4_{6,3}$	Implicitno označavanje	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijed nepravilnog označavanja
$X^4_{7,3}$	Sabotaža	Rizik od oštećenja cijevi uslijed sabotaže
$X^4_{8,3}$	Preopterećenje	Rizik od oštećenja cijevi uslijed preopterećenja
$X^4_{13,6}$	Pretjerana naprezanja	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijed razvoja abnormalnih naprezanja kao posljedica nepravilnog dizajna
$X^4_{14,6}$	Neprikladan materijal	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijed uporabe neprikladnog materijala
$X^4_{15,7}$	Potres	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijed potresa
$X^4_{16,7}$	Poplava	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijed poplave
$X^4_{17,7}$	Klizišta/slijeganje tla	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijed pojave klizišta ili slijeganja površine okolnog područja
$X^5_{1,1}$	Neučinkovitost katodne zaštite	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijed korozije zbog neučinkovitosti katodne zaštite
$X^5_{2,1}$	Neadekvatan premaz	Rizik od kvara cijevi zbog korozije cijevi uslijed loše izvedenog antikorozivnog premaza
$X^5_{6,3}$	Konstruktivski nedostatak	Rizik od oštećenja cjevovoda zbog nedostataka u konstrukciji
$X^5_{8,4}$	Loša instalacija	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijede loše ugradnje
$X^5_{9,4}$	Nepravilno izveden var	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijed lošeg zavarivanja cijevi

$X^5_{10,4}$	Oštećenje izolirajuće spojnice	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijed korozijom oštećene izolirajuće spojnice
$X^5_{11,4}$	Mehanička oštećenja	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijed mehaničkog oštećenja cijevi
$X^5_{14,11}$	Kvaliteta radnika	Nedostatak znanja, iskustva i obrazovanja radnika
$X^5_{15,11}$	SCADA (engl. <i>Supervisory control and data acquisition</i>)	Mogućnost lošeg rada zbog neadekvatne nadzorne kontrole i prikupljanja podataka
$X^5_{16,12}$	Oprema	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijed lošeg održavanja opreme
$X^5_{17,12}$	Aparatura	Rizik od oštećenja cjevovoda uslijed zbog lošeg održavanja cijevne aparature
$X^6_{1,3}$	Visoka temperatura	Mogućnost korozivnosti tla zbog visoke temperature
$X^6_{3,3}$	Visok udio vode	Visoki omjer vode u tlu dovodi do korozivnosti tla
$X^6_{4,3}$	Visok salinitet	Mogućnost korozivnosti tla zbog većeg sadržaja soli
$X^6_{5,3}$	Bakterije	Otkazivanje cijevi uslijed korozije zbog mikrobnog djelovanja bakterija
$X^6_{6,3}$	Nizak pH	Razina pH može utjecati na topljivost proizvoda korozije u tlu
$X^6_{13,7}$	Slaba mikrostruktura	Rizik od oštećenja materijala cijevi zbog slabe mikrostrukture materijala cijevi
$X^6_{14,7}$	Struktura materijala (grubo zrno)	Rizik od oštećenja cjevovoda zbog loše strukture materijala cijevi
$X^6_{15,7}$	Kontaminacija	Rizik od kvara cijevi zbog kontaminacije metala
$X^6_{16,12}$	Koncentracija naprezanja	Mogućnost razvoja vlačnog naprezanja zbog koncentracije naprezanja
$X^6_{17,12}$	Zaostalo naprezanje	Mogućnost razvoja vlačnog naprezanja zbog zaostalog naprezanja

$X_{18,12}^6$	Unutarnje naprezanje	Mogućnost razvoja vlačnog naprezanja zbog velikih unutarnjih naprezanja
$X_{19,13}^6$	Porast tlaka	Mogućnost razvoja vlačnog naprezanja uslijed porasta tlaka
$X_{20,13}^6$	Vanjsko opterećenje	Mogućnost razvoja vlačnog naprezanja uslijed vanjskog opterećenja
$X_{1,9}^7$	H ₂ S	Prisutnost H ₂ S koji izaziva H ₂ S koroziju
$X_{2,9}^7$	O ₂	Prisutnost O ₂ koji izaziva O ₂ koroziju
$X_{3,9}^7$	CO ₂	Prisutnost CO ₂ koji izaziva CO ₂ koroziju

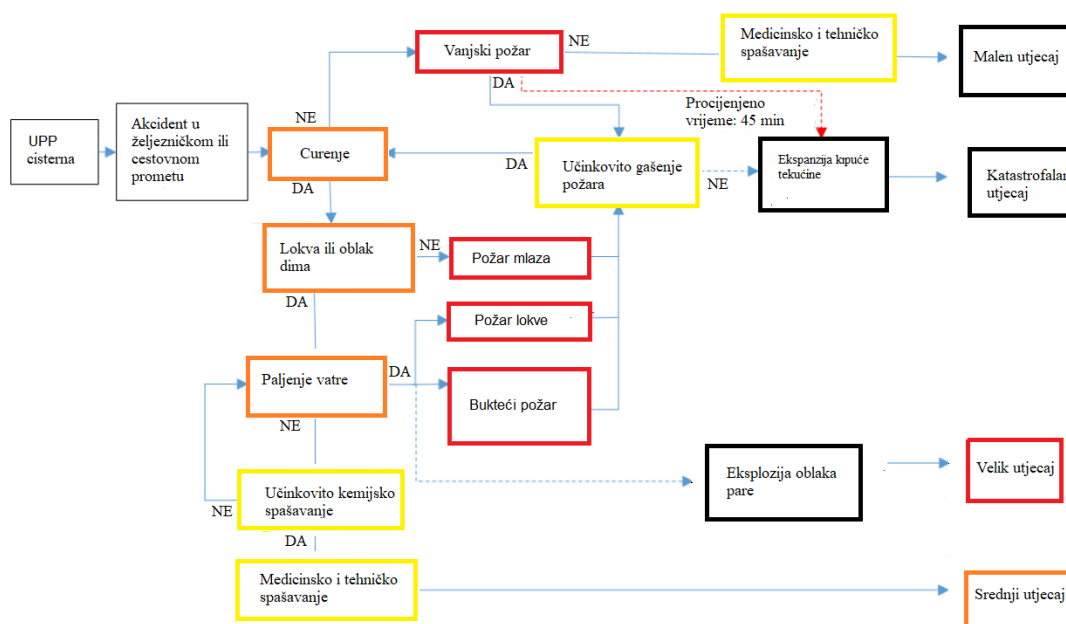
Analiza "stabla događaja" (engl. *Event Tree Analysis, ETA*) koristi stablo odlučivanja za logički razvoj i vizualizaciju modela koji vodi od početnog, tj. osnovnog događaja do ishoda. Analiza počinje prvotnim događajem te raste poput stabla kako se broj događaja slijeda povećava. Svi događaji su također vremenski povezani, jer je slijed događaja važan kao i kod ostalih hibridnih tehnika. Rezultati mogu biti kvalitativni opisi problema koji nastaju iz kombinacije događaja potaknutih početnim događajem. Također, moguća je kvantitativna procjena učestalosti događaja uz različite sekvence kvarova. Uz to, moguće je pripremiti i listu preporuka za smanjenje rizika u fazi projektiranja, izgradnje ili u samom operativnom sustavu (Matanović et al., 2014).

Na slici 3-7. prikazana je analiza stabla događaja u kojem je početni događaj ispuštanje ukapljenog prirodnog plina (UPP)-a iz cisterne prilikom akcidenta u željezničkom ili cestovnom prometu. Početni događaj se grana poput stabla, ovisno o tome je li došlo do istjecanja, a nakon toga ponovno se grana, ovisno o tome da li je došlo do zapaljenja i pojave nekog oblika požara.

Prilikom većih izlivanja, zrak ne može prenijeti dovoljno topline kako bi došlo do isparavanja UPP-a, već dio izlivenog UPP-a formira lokvu. U slučaju izvora zapaljenja u blizini lokve UPP-a te ukoliko je koncentracija para UPP-a između donje i gornje granice zapaljenja, tada može doći do zapaljenja para te u konačnici požara lokve i buktećeg požara. Požar mlaza definira se kao zapaljen mlaz plina ili raspršene tekućine čiji oblik je ponajviše određen uvjetima ispuštanja (Klobas et al., 2017). Požari mlaza su karakteristični za ispuštanja plinova ili

kondenzata iz visokotlačne opreme kao što su visokotlačne pumpe, cjevovodi i sl. Požar mlaza može nastati i kod ispuštanja tekućine pod tlakom koja sadrži otopljeni plin dok će na otvorenom prostoru UPP izgarati relativno sporo (Klobas et al., 2017).

Na slici 3-7. narančasti okviri prikazuju točke odluke, a žuti okviri učinkovite mjere odgovora na hitne situacije. Ovi elementi stabla su uvjetni i ovise o odlukama i izvedbama tijekom provođenja analize rizika. Pune linije prikazuju vjerojatniji scenarij toka, dok isprekidane linije sugeriraju manje vjerojatan razvoj. Crvena točkasta linija prikazuje malo vjerojatnost visokog podscenarij utjecaja (Zweglinski, 2022). Svaka kombinacija toka scenarija završava generaliziranom procjenom potencijalnog utjecaja. Veličina rizika ovisit će o brojnim faktorima, u slučaju neučinkovitog gašenja požara i ekspanzije kipuće tekućine može doći do katastrofalnih posljedica, s druge strane u slučaju učinkovitog medicinskog i tehničkog spašavanja utjecaj na zdravlje i okoliš može se svesti na srednji i malen.

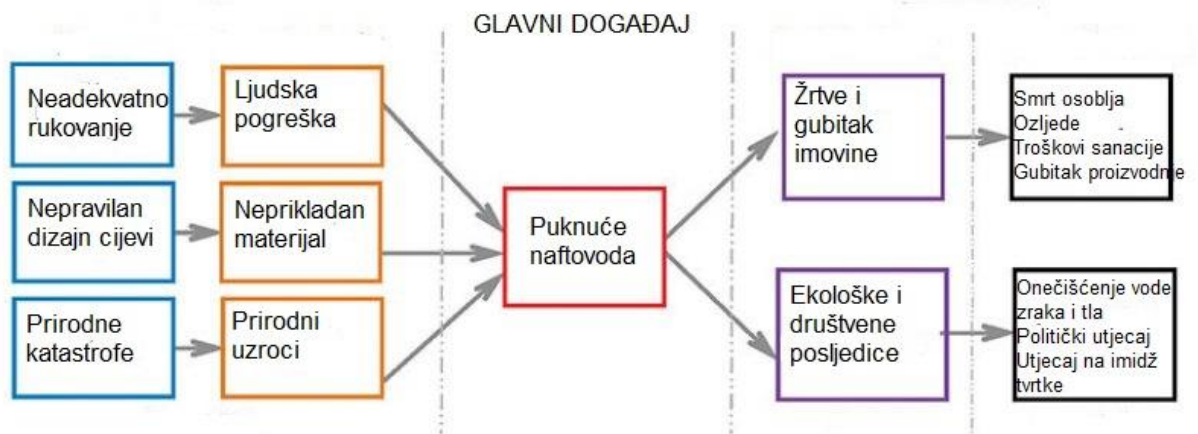


Slika 3-7. Analiza stabla događaja na primjeru ispuštanja UPP-a u željezničkom ili cestovnom prometu (prema Zweglinski, 2022)

Metoda održavanja temeljena na riziku (engl. *Risk Based Maintenance, RBM*) također je kombinacija kvalitativnih i kvantitativnih tehnika te predstavlja metodologiju za razvoj zadataka održavanja na temelju profila rizika imovine. Metode koje se koriste za kreiranje zadataka održavanja ovise o vrsti kvara opreme. Oprema je objekt održavanja, a različitu opremu koja se koristi u naftnim ili plinskim postrojenjima, kao i svaki njen dio, karakterizira različita razina rizika. Oprema visokog rizika zahtijeva više pažnje u usporedbi s opremom niskog rizika. Stoga

je prvi korak selekcija srednje i visokorizične opreme koja će se detaljno analizirati, a detaljna analiza ima za cilj razviti zadatke održavanja koji su tehnički izvedivi (Priyanta et al., 2021). Kvantitativni opis proizlazi iz kvalitete izrađene studije posljedica, a na temelju tih procjena utvrđuje se vjerojatnost pojave kvara. Sve kompanije koje upravljaju postrojenjima za obradu nafte i plina moraju imati strategiju održavanja imovine. Primijenjene strategije održavanja uvažavaju pravila, propise i kodekse relevantne za određenu vrstu opreme. Strategije održavanja se ponekad temelje i na preporukama dobavljača. Metoda se sastoji od tri modula. Prvi modul služi za određivanje mogućih nefunkcionalnosti opreme te se podaci unose u jednostavne matrice rizika. Predstavlja proces provjere temeljen na riziku koji služi za definiranje prioriteta u smislu koji dio opreme treba dalje analizirati korištenjem odgovarajuće metodologije. Matrica rizika također se široko koristi za određivanje razine kritičnosti opreme. Kritična razina se određuje na temelju razine redundancije i posljedica ako sustav, podsustav ili oprema zakažu (Priyanta et al., 2021). Rizik, koji predstavlja kritičnost opreme, određuje se kombinacijom razine vjerojatnosti i razine posljedica. Drugi modul analizira posljedice i kriterije prihvatljivosti, a u trećem modulu se planira održavanje uz razmatranje uključenih čimbenika rizika (Vamanu et al., 2016).

Analiza uzroka i posljedice (engl. *Cause Consequence Analysis, CCA*) uzima u obzir niz događaja koji se razvijaju iz kritičnog događaja. Analiza se može izraziti kvalitativno, kvantitativno ili na oba načina, prema definiranim ciljevima analize. Logički dijagram pruža kvalitetnu vizualizaciju razvoja, od mogućih uzroka do različitih posljedica kritičnog događaja. Ova metoda se uglavnom primjenjuje u fazi projektiranja (Vamanu et al., 2016). Poput *FTA* analize, analiza uzroka i posljedice koristi grafički prikaz za prepoznavanje potencijalnih uzroka neželjenog događaja. Uključuje kvantitativne podatke o vjerojatnosti pojavljivanja tih događaja primjenom logičkih vrata. Analiza uzroka i posljedica pruža kvantitativne rezultate u obliku ponderiranja i vjerojatnosti te nudi dobar okvir za identificiranje i procjenu vjerojatnosti putanje i vjerojatnosti sekvencijskih događaja (Ortmeier et al., 2005). Na slici 3-8. prikazana je analiza uzroka i posljedice. U sredini dijagrama nalazi se glavni događaj, u ovom slučaju puknuće naftovoda. S lijeve strane glavnog događaja prikazani su mogući uzroci koji su doveli do tog događaja, dok su s desne strane prikazane moguće posljedice glavnog događaja.



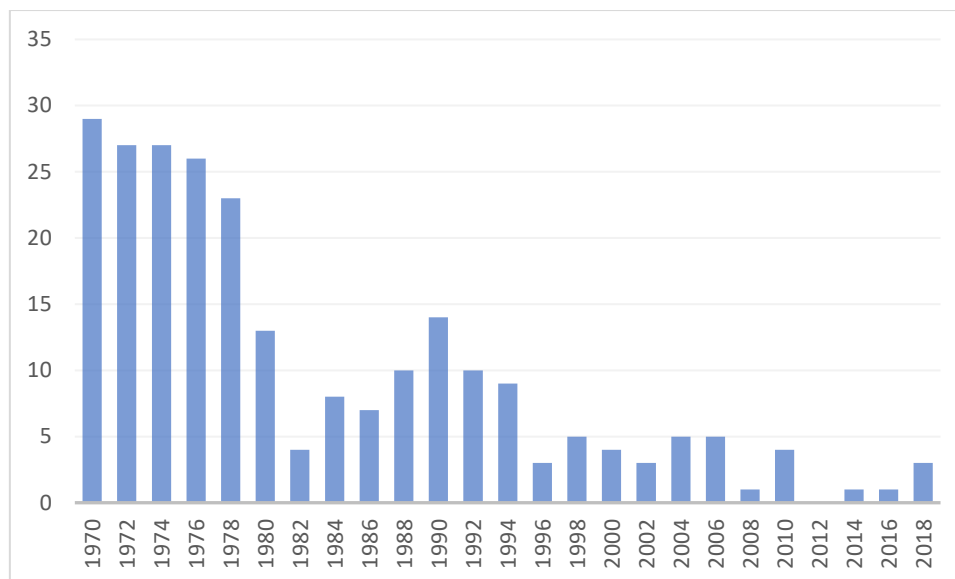
Slika 3-8. Analiza uzroka i posljedice na primjeru puknuća naftovoda
(prema Dawotola et al., 2012)

4. STATISTIKA AKCIDENATA ISTJECANJA NAFTE U OKOLIŠ

Gledajući u prošlost, zabilježene ekološke nesreće koje su se dogodile tijekom aktivnosti naftne industrije prvenstveno su povezane s izljevom sirove nafte ili naftnih derivata na kopno, ili češće u more. Prema Međunarodnoj federaciji vlasnika tankera protiv zagađenja (engl. *International Tanker Owners Pollution Federation.*, *ITOPF*) izljevi nafte općenito se dijele prema veličini u tri kategorije: izljevi manji do 7 tona, izljevi od 7 do 700 tona te izljevi veći od 700 tona (ITOPF, 2013). Čak i uz primjenu najboljih praksi, uz značajnu upotrebu nafte i naftnih derivata u svakodnevnom životu, može se očekivati česta pojava izljeva nafte i naftnih derivata različitih omjera, u rasponu od nekoliko litara do nekoliko tisuća tona. Većina izljeva je relativno mala i uzrokuje lokalizirane utjecaje, ali povremeno dolazi do velikih izljeva koji uzrokuju značajne ekološke i socioekonomske štete. Šteta uzrokovana izljevom nafte nije nužno proporcionalna veličini izljeva. Sama lokacija i vrsta izlivena nafte igraju ključnu ulogu u određivanju stupnja ekološke i socioekonomske štete. Naravno, što je veća količina izlivena nafte, to je veća pozornost javnosti, veći utjecaj, ali i veća baza podataka o događaju (Hrnčević, 2016).

Većina izljeva nafte iz tankera je relativno mala (72% izljeva je od 0,003 do 0,03 t ili manje) s udjelom od 0,4% u ukupnoj količini izlivena nafte. Najveći izljevi nafte čine 0,1% incidenata, ali uključuju 60% ukupne količine izlivena nafte (Fingas, 2011). Većina najvećih izljeva nafte povezana je s transportom nafte tankerima ili cjevovodima.

Pojave izljeva nafte i ukupna količina izlivena nafte značajno su se smanjile u posljednjih 30 godina, posebice u proteklom desetljeću, unatoč tome što je došlo do povećanja pomorskog i cjevovodnog transporta nafte i naftnih derivata. Prosječan broj velikih izljeva nafte u svijetu (većih od 700 t) bilježi značajan pad od 1970-ih godina, s prosjekom od 25 izljeva nafte godišnje na samo 1 izjev nafte godišnje (Sonnichsen, 2022). U skladu sa smanjenjem broja i količine izljeva nafte diljem svijeta, broj i količina izljeva nafte iz tankera također pokazuju značajno smanjenje, a najveće smanjenje uočeno je od 1970-ih do 1980-ih godina (Slika 4-1.), a količina nafte izlivena u nesrećama tankera smanjila se s oko 320×10^3 t/god u 1970-ima na samo oko 21×10^3 t/god u 2000-ima (Sonnichsen, 2022).



Slika 4-1. Broj velikih izljeva nafte iz tankera 1970.-2020. (prema Sonnichsen, 2022)

Nekoliko je razloga koji su utjecali na smanjenje globalnih trendova izljeva nafte. Kao najznačajniji ističe se usvajanje Međunarodne konvencije o sprječavanju onečišćenja s brodova 1973. godine, modificirane protokolom MARPOL 73/78 iz 1978. godine, a kao odgovor na niz nesreća tankera u 1970-im, od kojih je najvažnija MARPOL konvencija koja pokriva onečišćenje morskog okoliša od strane brodova iz operativnih i akcidentnih uzroka (IMO, 2022). Neki od ostalih razloga smanjenja globalnih trendova izljeva nafte su povećanje troškova čišćenja i povećanja odgovornosti za onečišćenje okoliša.

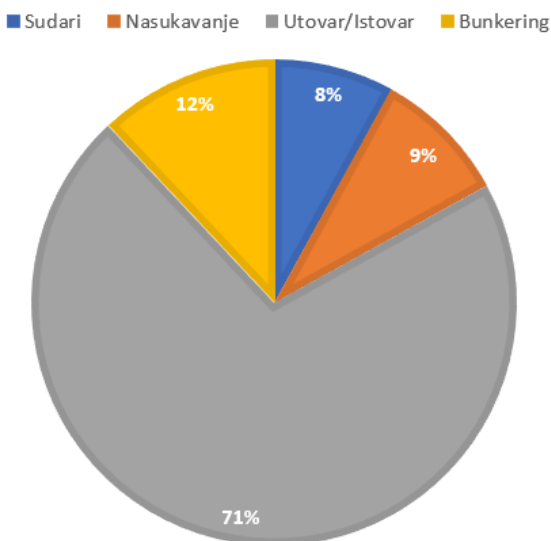
Statistiku o izljevima prikupljaju brojne organizacije i agencije na nacionalnoj i međunarodnoj razini. Podaci prikupljeni na međunarodnoj razini moraju se uzeti s određenim mjerama opreza zbog različitih praksi izvješćivanja, posebno u pogledu minimalnih količina i volumena izljeva koji se moraju prijaviti prema različitim pravnim zahtjevima i zahtjevima organizacija. Točnost je posebno upitna u slučaju bilježenja izljeva iz određenih udaljenih regija, izljeva manjih veličina i izljeva iz izvora izvan plovila. Povijesni podaci o izljevima se koriste za generiranje statistike za procjenu prosječne veličine izljeva u određenim uvjetima za određeno područje, kako bi se uočili trendovi i osmislili scenariji izljeva s konačnim ciljem identificiranja i rangiranja visokorizičnih područja. Osim povijesnih podataka o izljevima potrebno je i uskladiti podatke o potencijalnim izvorima izljeva (ITOPF, 2013).

Sve djelatnosti naftne industrije karakterizira određeni potencijal izljeva ili curenja fluida u

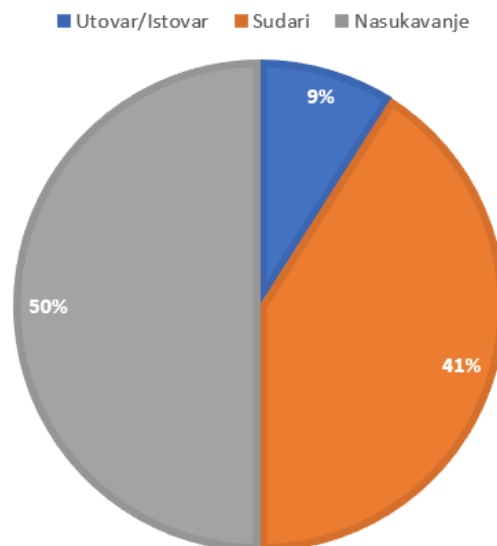
okoliš. Iako su mogući izljevi i istjecanja svih radnih tekućina, većina ekoloških nesreća u naftnoj industriji uzrokovana je izljevom i istjecanjem ugljikovodika. S obzirom na specifičnu vrstu djelatnosti, većina ekoloških nesreća povezana je sa slučajnim izljevom, curenjem i ispuhivanjem tijekom proizvodnje i transporta. Postoji opća zabluda da su izljevi nafte iz tankera primarni izvor onečišćenja u morskom okolišu, međutim ti izljevi čine manje od oko 12% ukupne nafte koja ulazi u morski okoliš. Polovica onečišćenja morskog okoliša dolazi iz izvora na kopnu, obično iz otpadnih voda (World Petroleum, 2022).

U usporedbi s pomorskim prijevozom, količine izljeva kod cestovnog i željezničkog prijevoza nafte su relativno male. Do podataka o cestovnom i željezničkom transportu nafte prilično je teško doći zbog velikog broja transportnih tvrtki, mnogo mogućih prometnih pravaca te općenito slabih informacija o vrstama, učestalostima i količinama transportirane nafte (ITOPF, 2021).

Većina malih ili srednjih izljeva nafte iz tankera u priobalnim vodama uzrokovana je operacijama utovara i istovara. Statistika ITOPF-a pokazuje da se više od 70% svih izljeva nafte dogodi tijekom operacija utovara i istovara (Slika 4-2.). Ipak, glavni uzroci velikih izljeva nafte rezultat su nasukavanja (50%) te sudari (41%) (Slika 4-3.).

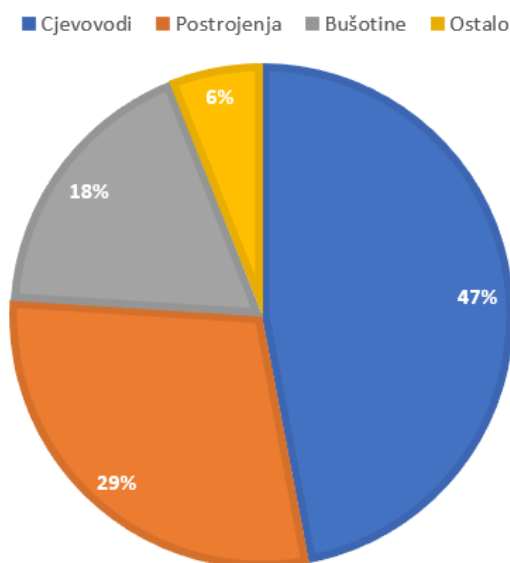


Slika 4-2. Glavni uzroci izljeva nafte u more (prema ITOPF, 2021)



Slika 4-3. Uzroci velikih izljeva nafte u more (prema ITOPF, 2021)

Što se tiče izljeva nafte na kopnu, najveći izvori su cjevovodi i postrojenja (Slika 4-4.). Kanadsko udruženje proizvođača nafte (engl. *Canadian Association of Petroleum Producers, CAPP*) utvrdilo je kako su izljevi nafte na kopnu obično uzrokovani unutarnjom i vanjskom korozijom (3%), kvarom opreme (49%), izljevima nafte iz spremnika i curenjem (24%) te pogreškom operatera (24%) (CAPP, 2020).



Slika 4-4. Izvori izljeva nafte na kopnu (prema ITOPF, 2021)

Istjecanja onečišćujućih tvari u okoliš iz postrojenja za rafiniranje obično su ograničena na legalno ispuštanje otpadnih voda. Efluenti se sastoje od otpadnih voda koje sadrže niske

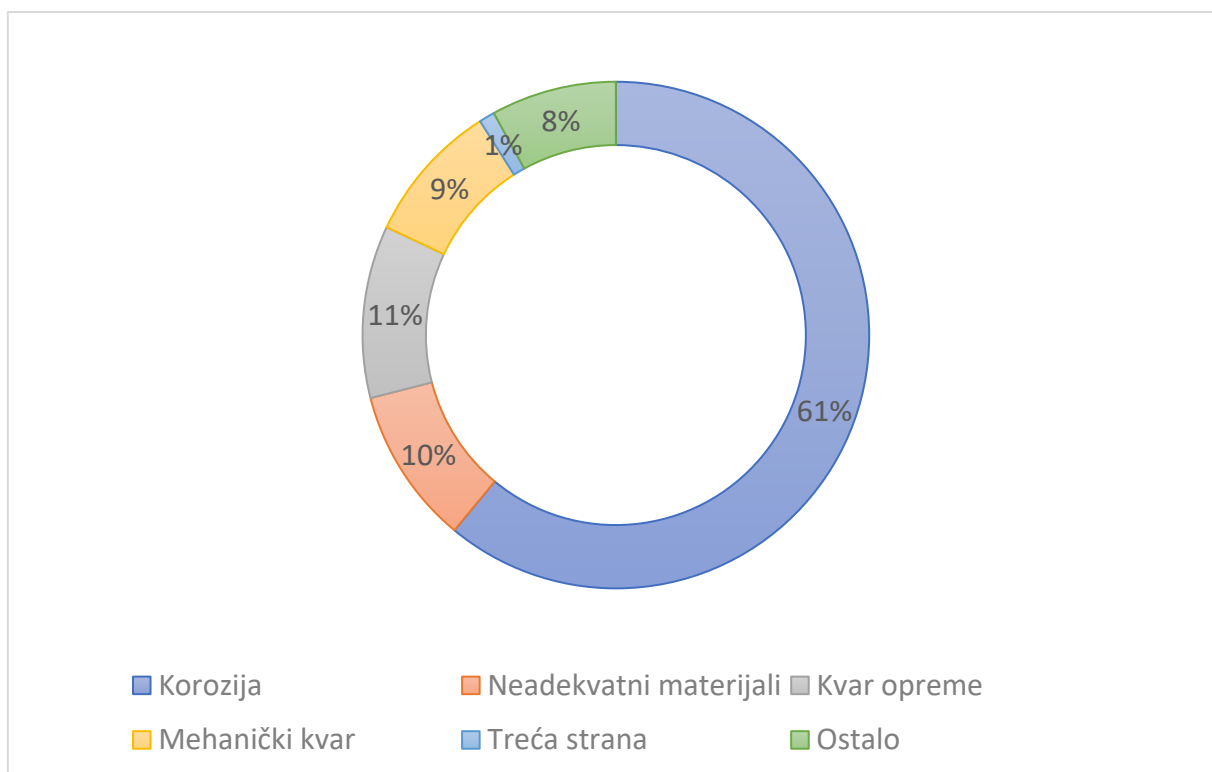
koncentracije razrijeđene nafte. Efluenti se obično ispuštaju u rijeke ili obalna područja, ovisno o lokaciji rafinerije. Točan utjecaj otpadnih voda na okoliš teško je definirati budući da se rafinerije obično nalaze u industrijskim zonama koje karakterizira više od jednog izvora utjecaja na okoliš. Ukupna količina i toksičnost ispuštenih otpadnih voda iz rafinerija smanjila se u posljednjih 40 godina zbog primjene poboljšanih tehnoloških rješenja (hlađenje zrakom, recirkulacija rashladne vode, poboljšani sustavi pročišćavanja otpadnih voda itd.) (Fingas, 2011). Budući da nije poznata količina nafte koja je uključena u izljeve iz skladišnih i transportnih postrojenja, najbolji način za određivanje potencijalnog rizika od izljeva iz ovih postrojenja je određivanje najgoreg scenarija. Najgori scenarij ispuštanja pretpostavlja da se sav volumen tekućine sadržan u skladištu ili transportnom sredstvu ispušta u okoliš pod nepovoljnim vremenskim uvjetima (Hrnčević, 2016).

4.1. Statistika akcidenata istjecanja ugljikovodika u okoliš u Republici Hrvatskoj

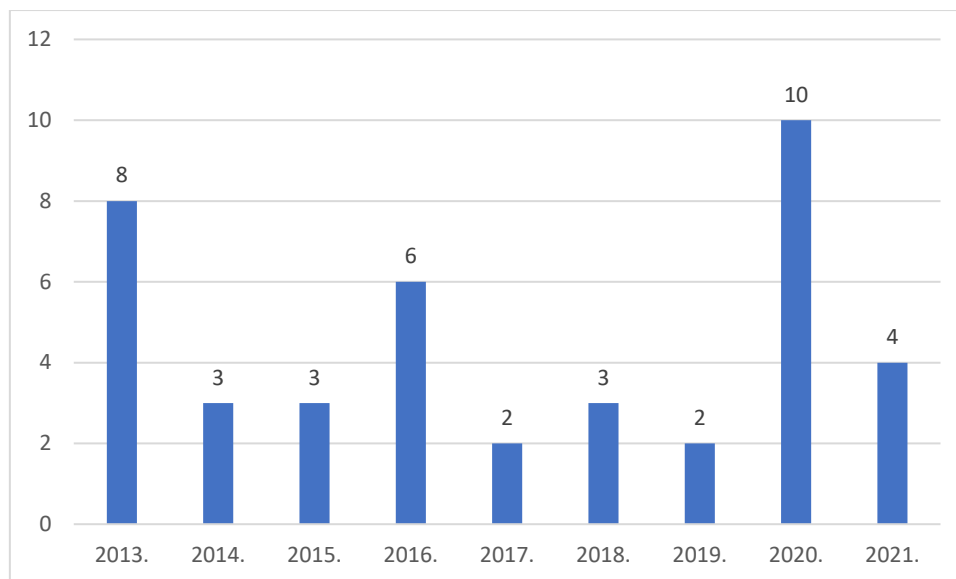
U Republici Hrvatskoj (RH) tvrtka INA-Industrija nafte d.d. registrira i prati sve akcidente istjecanja ugljikovodika u okoliš te je inkorporirala sustav za prijavu i istraživanje akcidenata. Akcidenti se istražuju i analiziraju te se provode akcije kako bi se spriječilo njihovo ponavljanje. U 2021. godini zabilježeno je 98 slučajeva u kojem je došlo do istjecanja ugljikovodika, pri čemu je izliveno 20,7 m³, što je znatno manje u odnosu na prethodnu godinu kada je došlo do istjecanja 119 m³ ugljikovodika (INA, 2021). U 2021. godini dogodila su se četiri istjecanja ugljikovodika veća od 1m³, od čega tri u sektoru istraživanja i proizvodnje te jedan u Rafineriji nafte Rijeka, a ukupna količina izlivenih ugljikovodika u ta 4 događaja iznosi 14 m³ (INA, 2021). Najznačajnije istjecanje je bilo u Rafineriji nafte Rijeka, gdje su ugljikovodici zbog propusnosti spremnika završili u podzemlju i manjim dijelom u moru, a uzrok akcidenta je bila korozija (INA, 2021). Drugi događaj se dogodio na lokaciji Ivanić zbog ilegalnog priključka, dok je uzrok preostala dva događaja bila korozija (INA, 2021). Na slici 4-5. prikazani su uzroci istjecanja ugljikovodika u RH za 2021. godinu. Nedostatak pravilnog održavanja ili pregleda te korozija je uzrok 61% istjecanja ugljikovodika, slijedi kvar opreme s 11%, materijali ili rezervni dijelovi koji nisu adekvatni s 10% te mehanički kvarovi s 9%. Treća strana je uzročnik 1% istjecanja dok su ostali uzroci u 8% slučajeva.

Na slici 4-6. prikazan je broj istjecanja ugljikovodika preko 1m³ u INA grupi posljednjih godina. Vidljiva je anomalija od čak 10 većih istjecanja u 2020. godini, a svih 10 se dogodilo u

sektoru istraživanja i proizvodnje, od kojih najznačajnije ono u Ivaniću gdje je isteklo 70m³ ugljikovodika te onečišćeno 370 metara kanala i otprilike 2000 m² tla unutar kanala (INA, 2021). Pokazalo se da je uzrok istjecanja bila korozija slanovoda od dispečerske stanice Graberja do Sabirne stanice Iva-1 (INA, 2021).



Slika 4-5. Uzroci istjecanja ugljikovodika u RH u 2021. godini (prema INA, 2021)



Slika 4-6. Broj akcidenata istjecanja ugljikovodika preko 1m^3 u INA grupi posljednjih godina (prema INA, 2021)

Istražujući akcidente, identificirana su problematična mjesta unutar proizvodnih lokacija te su provedene mjere za smanjenje stope akcidenata, koje su se pokazale uspješnim s obzirom na znatno manji broj akcidenata istjecanja ugljikovodika u 2021. godini (INA, 2021).

5. KORACI U PROCJENI RIZIKA OD ISTJECANJA UGLJIKOVODIKA U OKOLIŠ

Procjena rizika je sustavni okvir koji se koristi za prepoznavanje i opisivanje izvora i uzroka rizika, a svrha procjene rizika je pružiti informacije donositeljima odluka u obliku koji omogućuje usporedbu alternativa za smanjenje rizika. Glavni cilj provođenja procjene rizika je utvrđivanje da su aktivnosti koje se provode u skladu s korporativnom tolerancijom rizika, a to se postiže identificiranjem, karakterizacijom, analizom i prezentiranjem rizika. Procjena rizika od istjecanja onečišćujućih tvari u okoliš bi trebala uključivati mjere za smanjenje rizika te planiranje odgovora na potencijalni akcidente. Razinu rizika potrebno je mjeriti prema ekološkim i socioekonomskim kriterijima tolerancije rizika (Matanović et al., 2014).

Kako bi se kvantificirao rizik za okoliš od određenog postrojenja ili procesa ili od cjelokupnog naftnog ili plinskog polja, potreban je niz koraka (Dumitran & Onutu, 2010):

1. karakterizacija glavnih izvora štetnih utjecaja na okoliš,
2. identifikacija slučajeva koji mogu dovesti do štetnih utjecaja na okoliš (uzroci onečišćenja),
3. identifikacija vrsta tvari koje mogu uzrokovati štetne utjecaje na okoliš (onečišćivači),
4. procjena učestalosti slučajeva koji mogu dovesti do štetnih utjecaja na okoliš,
5. scenariji izloženosti onečišćujućoj tvari (receptori izloženi riziku i posljedice izljeva),
6. kvantifikacija utjecaja na okoliš (rizik za okoliš).

Iako su posljednjih desetljeća metodologije analize rizika sazrele i već postoji niz metoda procjene rizika s različitim fokusom, prednostima i nedostacima, do danas još uvijek ne postoji univerzalno prihvaćena metodologija za procjenu rizika za okoliš u naftnoj industriji. Ukoliko postoji odgovarajuća baza podataka o prethodnim identičnim ili sličnim događajima, procjena rizika za okoliš od aktivnosti naftne industrije obično se provodi analizom prethodno prijavljenih podataka o izljevima za određeno područje. Međutim, ukoliko nema dovoljno dostupnih podataka za određivanje razmjera rizika, koristi se neka od analitičkih metoda.

Ministarstvo unutarnjih poslova Sjedinjenih Američkih Država razvilo je model analize rizika od izljeva nafte (engl. *Oil Spill Risk Analysis, OSRA*) 1975. godine. Ovaj se model koristi za analizu mogućeg utjecaja naftnih izljeva iz naftnih i plinskih operacija na moru (Price et al.,

2003). Na temelju povijesnih obrazaca izljeva, meteoroloških (intenzitet vjetrova) i oceanografskih podataka (oceanske struje), model omogućuje procjene vjerojatnosti pojave naftnih izljeva i vjerojatnosti kontakta naftne mrlje s biološkim i ekonomskim resursima u vanjskom kontinentalnom pojasu. OSRA model sažima rezultate više tisuća simulacija kretanja naftnih izljeva. Više autora (Price et al., 2003; Pinto et al., 2013; Sepp Neves et al., 2016; Zhen et al., 2021) se bavilo ovom tematikom te su njihovi radovi predstavljaju uobičajenu praksu korištenja alata za modeliranje za proučavanje trajektorija nafte u svrhu planiranja ili procjene opasnosti od izljeva nafte.

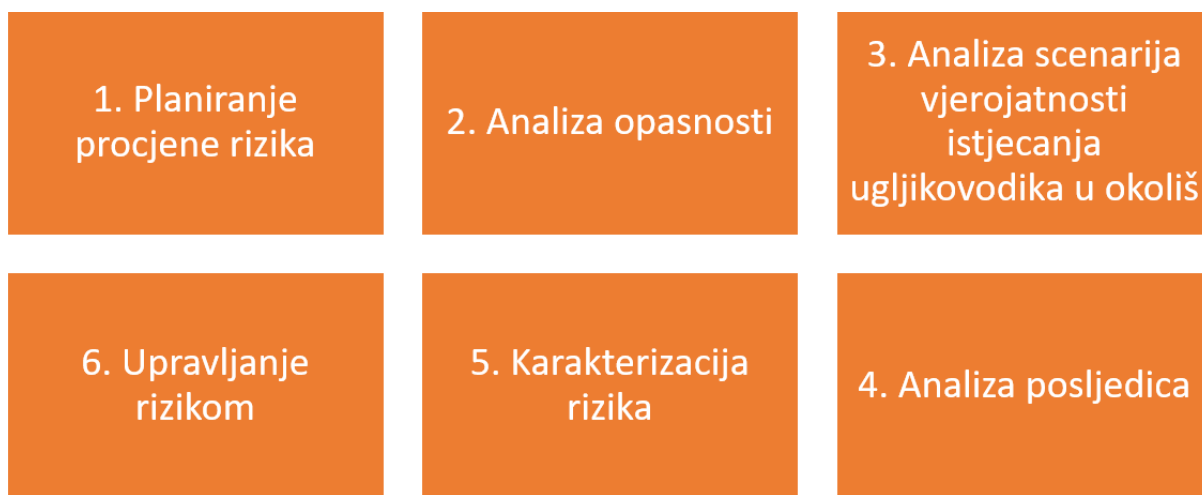
Vora et al. (2021) su dali pregled smjernica za procjene ekološkog rizika u Sjedinjenim Američkim državama (SAD), Kanadi, Europskoj uniji i Ujedinjenom Kraljevstvu. Relevantne smjernice za procjenu rizika za okoliš za SAD predstavljeni su u dokumentu „*Smjernice za procjenu ekološkog rizika*“ (engl. *Guidelines for ecological risk assessment*) iz 1998. godine Američke agencije za zaštitu okoliša (engl. *US Environmental Protection Agency, US-EPA*). Metodologija uključuje tri ključne faze: formulaciju problema, analizu i karakterizaciju rizika. Također, Vlada Kanade je 2012. godine donijela dokument „*Savezni akcijski plan za onečišćena područja - Smjernice za procjenu ekološkog rizika*“ (engl. *Federal Contaminated Sites Action Plan- Ecological Risk Assessment Guidelines*) koji se koristi za procjenu ekološkog rizika onečišćenja lokacije. Dokument sadrži četiri ključne faze, a to su: formulacija problema, procjena izloženosti, procjena učinaka i karakterizacija rizika. Na sličan način, metodologija EU, koja je uglavnom namijenjena procjeni onečišćenja kemikalijama, usmjerena je na četiri ključne faze: identifikaciju opasnosti, procjenu izloženosti, procjenu obujma opasnosti te karakterizaciju rizika. Smjernice koje se koriste u Europi donesene su od strane Europske agencije za kemikalije (engl. *European Chemical Agency, ECHA*). Okvir procjene rizika za okoliš UK također uključuje četiri ključne faze: formuliranje problema, procjena rizika, procjena opcija te rješavanje rizika, a proglasio ga je Odjel za okoliš, hranu i ruralna pitanja (engl. *Department of Environment, Food and Rural Affairs, DEFRA*) (Vora et al., 2021).

5.1. Predloženi okvir za provođenje procjene rizika

Zbog jednostavnosti primjene u naftnoj industriji preporuča se primjena postupka procjene

rizika opisanog u dokumentu „*Smjernice za procjenu i upravljanje rizikom od izlivanja nafte*“ (engl. *Guidlines Oil Spill Risk Assessment and Management*), koji je izdalo Udruženje kompanija za naftu, plin i obnovljivu energiju Latinske Amerike i Kariba (engl. *Association of Oil, Gas and Renewable Energy Companies of Latin America and the Caribbean, ARPEL*) koji će biti detaljno obrađen u ovom poglavlju.

Smjernice iz navedenog dokumenta predstavljaju okvir za provođenje procjene rizika od izljeva nafte korištenjem različitih, ali dosljednih pristupa koji omogućuju njihovu usporedbu. Njihovu primjenjivost moguće je proširiti na sve akcidente istjecanja ugljikovodika u okoliš. Okvir za provođenje procjene rizika, prikazan na slici 5-1., općenito slijedi šest koraka.



Slika 5-1. Koraci provođenja procjene rizika (prema ARPEL, 1998)

5.1.1. Planiranje procjene rizika

Svrha planiranja procjene rizika je osigurati da je proces procjene rizika izvediv i da će zadovoljiti ciljeve upravljanja rizikom. Odluke donesene tijekom početnih faza procjene rizika predstavljaju smjernice koje određuje veličinu, smjer i složenost studije. Planiranje procjene rizika može biti usmjereno na procjenu različitih skupina rizika ili kvantificiranje jednog specifičnog izvora rizika. Procjene rizika mogu koristiti veliki broj podataka, modela i stručnog znanja za kvantificiranje prihvatljivih razina rizika ili se jednostavno mogu dizajnirati za karakterizaciju glavnog izvora rizika. Prvi korak je određivanje ciljeva. Ciljevi procjene rizika

moraju jasno identificirati svrhu provođenja procjene. Oni mogu proizaći iz korporativnih strategija smanjenja rizika, poslovnih ciljeva, politika upravljanja zaštitom zdravlja, sigurnosti i okoliša ili operativnih ciljeva. Glavni razlozi provođenja procjene rizika uključuju poboljšanje budućeg dizajna opreme, smanjenje mogućih incidenata kod korištenja postojeće opreme ili poboljšanja (ARPEL, 1998).

Slijedi identificiranje operacija, odnosno jasno definiranje vrste i opsega operacija, opreme ili proizvoda koji će biti uključeni ili isključeni iz procjene. Procjena može biti ograničena na određeni dio opreme, pojedinačni objekt ili poslovanje cijele tvrtke. Identificiraju se proizvodi (nafta, prirodni plin, kemikalije, otpadna voda), oprema (spremnici za skladištenje, cjevovodi itd.) te zemljopisna ili radna područja (Tablica 5-1).

Tablica 5-1. Primjer tablice identifikacije opasnosti

Proizvod:	Sirova nafta koja sadrži vodikov sulfid
Oprema:	Čelični naftovod unutarnjeg promjera 58 mm (2") u regiji Monteverde
Zemljopisno/operativno područje:	Dionica cjevovoda između San Carlosa i rafinerije Las Brisas duljine 5 km

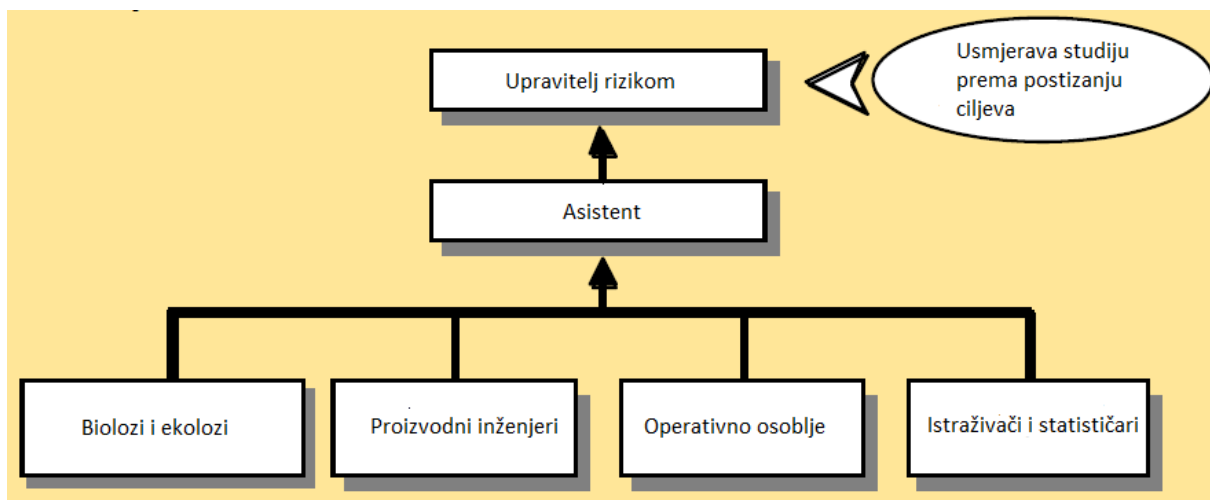
Sljedeći korak uključuje identifikaciju posljedica, odnosno određivanje vrste posljedica koje treba uključiti u procjenu. To bi se trebalo temeljiti na ciljevima procjene i sposobnosti raspoloživih resursa za mjerenje tih posljedica. Opće kategorije posljedica su (ARPEL, 1998):

- ekološke (utjecaj na tlo, vodu, zrak i žive organizme unutar ekosustava),
- zdravstvene,
- sigurnosne (rizici vezani uz sigurnost zaposlenika na radnom mjestu),
- društvena i javna percepcija (učinci poslovanja na percepciju javnosti o tvrtki),
- financijske (izgubljeni proizvod, troškovi reklamacije, kazne za nepoštivanje),
- osiguranje (generiranje odštetnih zahtjeva zbog nastale štete).

Nakon što se utvrde ciljevi i opseg procjene, potrebno je formirati tim koji će provesti procjenu. Procjenu rizika može obavljati pojedinac, ali vjerojatnije je da će uključivati više pojedinaca sa stručnim znanjem o (ARPEL, 1998):

- trenutnoj operaciji i povijesti izljeva,
- tehničko znanje o područjima koje treba istražiti,
- statističkoj metodologiji,
- metodologiji procjene rizika,
- ciljevima upravljanja,
- utjecajima na ljudsko zdravlje, sigurnost i ekosustav.

Često se koriste liste provjere kako bi se osigurala postojanost dovoljne stručnosti za ispunjavanje ciljeva i operacija utvrđenih u ranijim koracima planiranja. Članovi tima izvješćuju voditelja procjene rizika. Svaki pojedini član tima za procjenu rizika mora biti stručan kako bi se ispunili zadani ciljevi (Slika 5-2.).



Slika 5-2. Hijerarhija članova tima prilikom procjene rizika (prema ARPEL, 1998)

Na kraju prvog koraka procjene rizika, ciljevi studije te vrste posljedica koje će se proučavati moraju biti jasno identificirani, kao i specifične operacije koje će biti uključene u

studiju. (Aven et al., 2007).

5.1.2. Analiza opasnosti

Svrha analize opasnosti je identificirati i opisati scenarije izljeva koji uključuju potencijalne izvore, vrstu i količinu izljeva, kao i uzroke. Za identifikaciju izvora rizika može se koristiti nekoliko metoda, a odabrana metoda ovisit će o ciljevima procjene, opsegu i raspoloživim resursima.

Važno je pregledati dostupne podatke i povijest slučajeva incidenata kako bi se identificirali trendovi u uzrocima, izvorima i veličinama izljeva. Evidencija o akcidentima vodi se od strane poduzeća ili regulatornih tijela. Ostali izvori podataka korisni za identifikaciju potencijalnih izvora uključuju javno dostupne baze podataka (Aven et al., 2007).

Bez obzira na to koristi li se procjena rizika povijesnim podacima o nesrećama, važno je identificirati scenarije istjecanja ugljikovodika u okoliš. To će biti polazna točka za procjenu vjerojatnosti nastanka akcidenta i njegovih posljedica. Na temelju ciljeva, opsega i raspona identificiranih vrsta akcidenata, scenariji se grupiraju prema sljedećim čimbenicima (Dziubinski et al., 2006):

- količina izlivenih ugljikovodika,
- izvor,
- vrsta objekta,
- uzrok izljeva.

5.1.3. Analiza vjerojatnosti

Nakon utvrđivanja ciljeva i opsega procjene te nakon utvrđivanja scenarija rizika, procjena utvrđuje vjerojatnost nastanka identificiranih scenarija rizika. Općenito, analiza vjerojatnosti može se opisati pomoću dvije metode (ARPEL, 1998):

- kvantitativne metode koje se često koriste u situacijama kada su dostupni odgovarajući povijesni podaci o akcidentima;
- kvalitativne metode koje se koriste kada statistički podaci nisu dostupni procjeniteljima rizika, a umjesto toga donose se kvalitativne prosudbe na temelju čimbenika koji mogu povećati ili umanjiti vjerojatnost akcidenata istjecanja ugljikovodika u okoliš.

Prilikom kvantitativne procjene vjerojatnosti akcidenata pregledavaju se povijesni podaci i na taj se način može odrediti vjerojatnost pojave događaja. Najčešće se koriste podaci o učestalosti koji su prethodno određeni za slične radne uvjete. Povijesna stopa učestalosti akcidenata može se dobiti dijeljenjem ukupnog broja određenih nesreća s ukupnim brojem izvora izljeva. Procjena učestalosti može se prikazati u jedinicama proizvedenih ili transportiranih količina ugljikovodika (npr. milijarde barela proizvedene nafte) (Cheremisinoff, 2009). Tako će se procijeniti broj izljeva ili vjerojatnost izljeva iz određene aktivnosti. Tablica 5-2. ilustrira kako se podaci o učestalosti mogu primijeniti na poslovanje kompanije kako bi se utvrdila vjerojatnost izljeva nafte.

Tablica 5-2. Primjena podataka o učestalosti prilikom utvrđivanja vjerojatnosti nastanka izljeva nafte (prema ARPEL, 1998)

Vrsta izljeva	Opseg aktivnosti	Očekivana učestalost izljeva u kompaniji	Vjerojatnost
Izljev nafte iz tankera veći od 23,000 m ³	20 milijuna m ³ transportirano godišnje	0,013 izljeva nafte godišnje	Jedan izljev nafte u 77 godina

Niz čimbenika utječe na podatke o učestalosti, uključujući:

- geografsko područje,

- različitost zahtjeva za izvješćivanje o akcidentima istjecanja ugljikovodika u okoliš,
- različitost razine kontrole ili upravljanja plovilom,
- različitost upravljanja podacima.

Kvantitativne metode imaju nekoliko nedostataka, uključujući sljedeće (Mills, 1999):

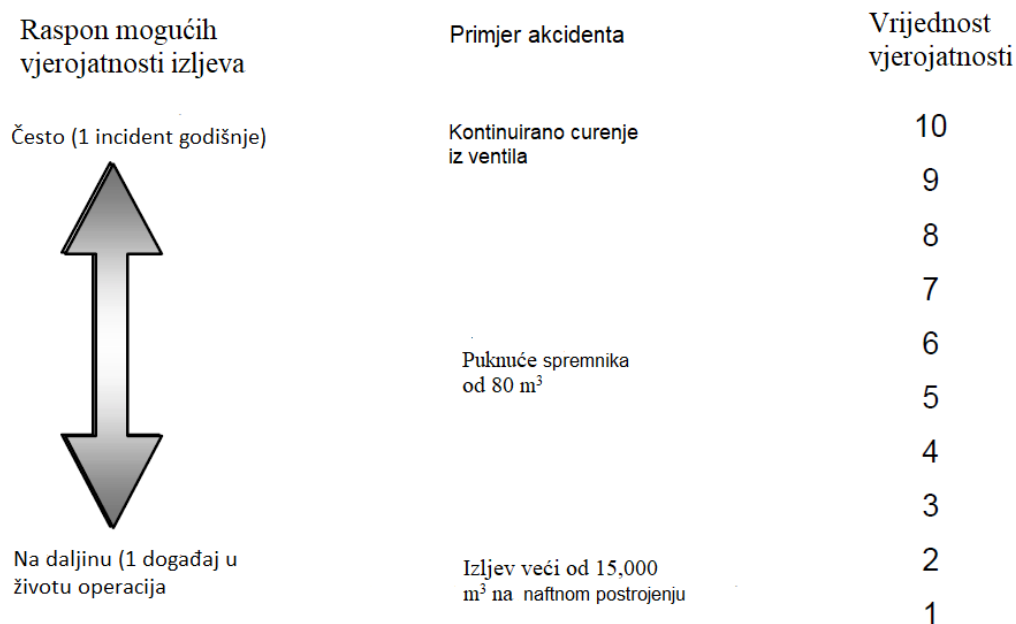
- nisu prikladne za studije procjene rizika s ograničenim resursima ili dostupnošću podataka,
- veliki izljevi nafte su rijetki, a za male izljeve nafte nedostaju podaci,
- podaci mogu biti nepotpuni ili loše kvalitete s obzirom na veličinu uzorka, izvor i starost podataka,
- povijesni podaci mogu biti izvedeni iz izvora podataka ili operacija koje nisu tipične za poslovanje tvrtke,
- podaci mogu biti specifični za određenu vrstu opreme,
- utjecaji vanjskih čimbenika (vjetar, stanje mora, dubina mora) mogu igrati ulogu u povećanju ili smanjenju učestalosti izljeva nafte,
- ulogu ljudske pogreške.

Identificiranje čimbenika koji povećavaju ili smanjuju mogućnost istjecanja ugljikovodika u okoliš i procjenjivanje specifičnih okolnosti za dokazivanje istih predstavlja alternativu izračunavanju vjerojatnosti na temelju povijesne učestalosti ili statističkih podataka (ARPEL, 1998). Čimbenici se izvode iz brojnih izvora koji uključuju kronologiju slučajeva, podatke o izljevu nafte i nezgodama te mišljenja stručnjaka. Identificirani čimbenici mogu se ponderirati, posložiti u matricu, koristiti kao sustav bodovanja, rangiranja ili grafički prikazati. Liste provjere identificiraju operacije i uključuju čimbenike koji predstavljaju povećanu vjerojatnost pojave akcidenta. Razvijaju se za opće operacije, za specifičnu opremu ili za radna područja kao što su:

- ušće bušotine,
- kopneni i morski cjevovodi,
- transportni cjevovodi,

- kamioni za prijevoz,
- tankeri,
- terminali,
- rafinerije na kopnu,
- objekti za skladištenje,
- podzemni spremnici.

Bez obzira koristi li procjena rizika kvantitativne ili kvalitativne metode za analizu vjerojatnosti istjecanja ugljikovodika u okoliš, cilj trećeg koraka je utvrditi vrijednost vjerojatnosti. Usporedbom svih mogućih ishoda izljeva nafte utvrđuje se vrijednost vjerojatnosti za svaki pojedini scenarij. Na slici 5-3. prikazan je raspon mogućih vrijednosti vjerojatnosti za rezultate izljeva nafte iz proizvodnog pogona.



Slika 5-3. Raspon mogućih vrijednosti vjerojatnosti za izljev nafte iz proizvodnog pogona (prema ARPEL, 1998)

Kvantitativne metode za procjenu vjerojatnosti najprimjenjivije su kada su dostupni pouzdani podaci o akcidentima i kada se mogu izravno usporediti sa sličnim istjecanjima ugljikovodika koji su se već dogodili u prošlosti. Kvalitativne metode su također vrijedan alat

podrške statistički utemeljenim metodama. Bez obzira koja se metoda koristi, cilj je generirati vrijednost vjerojatnosti koja će se kombinirati s analizom posljedica (korak 4) kako bi se odredila ukupna vrijednost rizika (korak 5).

5.1.4. Analiza posljedica

U slučaju istjecanja ugljikovodika u okoliš važno je razmotriti brojne potencijalne čimbenike koji mogu utjecati na posljedice, a koje uključuju (Ornitz et al., 2002):

- opasnost od požara i eksplozija,
- utjecaj na biološke resurse,
- utjecaj na naseljena područja,
- utjecaj na more i slatke vode,
- utjecaj na tlo
- lošu reputaciju.

Postoji mnogo načina za analizu posljedica istjecanja ugljikovodika u okoliš, koji se kreću u rasponu od jednostavnih do vrlo složenih. Ključno je analizirati posljedice na način koji daje dovoljno informacija za procjenu rizika i zadovoljava ciljeve studije. Analiza posljedica može se opisati sljedećim ključnim komponentama (Ornitz et al., 2002):

- identifikacijom glavnih putova,
- analizom kretanja izlivenih količina,
- identifikacijom glavnih receptora,
- mjerenjem izloženosti glavnih receptora.

Identifikacija primarnih mehanizama (glavnih putova) kojima se ugljikovodici ispuštaju u okoliš odredit će resurse okoliša i ljudske aktivnosti koji mogu biti ugroženi. Glavni putovi mogu uključivati površinske i podzemne vode, tlo, sedimente, zrak te floru i faunu. Utvrđivanjem glavnih putova izlivenih ugljikovodika postiže se početno razumijevanje odnosa svojstava nafte, njenog transporta kroz različite medije i štetne učinke. Kretanje izlivenih ugljikovodika unutar svakog puta igrat će glavnu ulogu u stupnju širenja štetnih učinaka (Skogdalen et al., 2012).

Važna razmatranja u procjeni kretanja i sudbine izlivenih ugljikovodika uključuju:

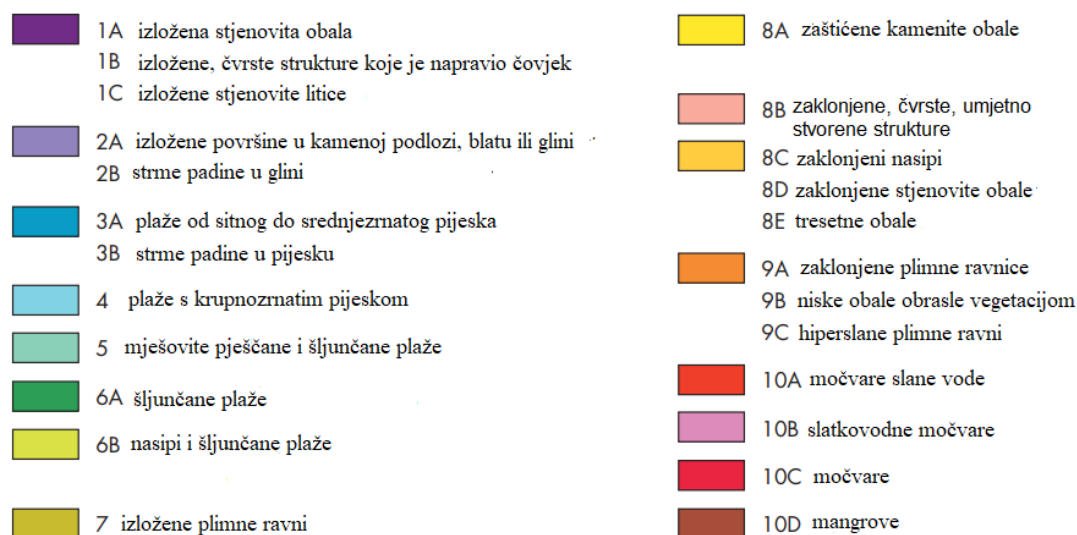
- širenje ili kretanje na površinskim vodama i u vodenom stupcu,
- prodiranje u tlo i podzemnu vodu,
- kretanje kroz tlo i vodonosnike,
- apsorpciju u tlo i vegetaciju,
- trošenje, disperziju, emulgiranje i isparavanje na tlu i vodenim površinama,
- interakciju s krhotinama,
- prijenos putem živih organizama i ljudskih aktivnosti.

Ključni alat u identificiranju prijenosa izlivenih ugljikovodika na vodu je korištenje modeliranja putanje širenja. Računalni modeli mogu se primijeniti za projektiranje kretanja onečišćivača i identificiranje područja, sadržaja i bioloških resursa za koje postoji velika vjerojatnost utjecaja. Dostupni su brojni modeli za određivanje kretanja ugljikovodika u vodi, tlu i podzemnim vodonosnicima (ARPEL, 1998). Razumijevanje glavnih putova i vjerojatne sudbine izlivenih ugljikovodika pomaže u identificiranju najkritičnijih. Pri procjeni receptora rizika razmatraju se štetni učinci izlivenih ugljikovodika, koji uključuju (Vamanu et al., 2016):

- fizičku kontaminaciju, što uzrokuje poremećaj životnih funkcija kao što su hranjenje, disanje i kretanje. Receptori izloženi riziku od fizičke kontaminacije uključuju: ribe, morske sisavce, gmazove, ptice i biljke;
- gustoću naseljenosti i rekreacijske aktivnosti, uključujući plaže, vožnju čamcima, ronjenje. Izlivena nafta može izazvati ozbiljnu zabrinutost javnosti i rezultirati značajnim ekonomskim gubicima povezanim s turizmom;
- industrijske objekte poput brodogradilišta ili luka koji se za rad oslanjaju na morsku ili slatku vodu;
- toksičnost izlivena nafte kao funkciju koncentracije izlivena nafte i vremena potrebnog za izazivanje štetnog toksičnog učinka;
- bioakumulaciju ugljikovodika u organizmima pri vrlo niskim koncentracijama. Dagnje, kamenice i školjke filtriraju velike količine morske vode kako bi izvukle hranu. Bioakumulacija u tim organizmima može rezultirati štetnim učincima na njihovu populaciju, kao i zdravstvenim rizikom za druge životinje koje konzumiraju te

organizme.

Ključni alat u identificiranju glavnih receptora izlivena nafte je korištenje prethodno pripremljenih karata osjetljivosti. Karte osjetljivosti mogu omogućiti brzu identifikaciju osjetljivih staništa, područja ljudske upotrebe i vrijednih resursa koji mogu biti uključeni u procjeni posljedica (ARPEL, 1998). Primjerice, za različite tipove obale, široko prihvaćeni indeks osjetljivosti može se prilagoditi za svaku zemlju. U rasponu od 1 (niska osjetljivost) do 10 (vrlo visoka osjetljivost) uzima u obzir tip obale koji određuje kapacitet prodiranja nafte, izloženost valovima i energiji plime i oseke koja određuje prirodno vrijeme postojanosti nafte na obali te opću biološku osjetljivost. Indeks osjetljivosti na okoliš označen je bojama u rasponu od hladnih do toplih, tako da svaka boja odgovara određenoj vrsti obale, omogućujući identifikaciju vrste i relativne osjetljivosti na prvi pogled (Slika 5-4.).



Slika 5-4. Indeks osjetljivosti koji se koristi u radu s kartama osjetljivosti (prema IPIECA, 2012)

Metode koje se koriste u procjeni posljedica izlivenih ugljikovodika mogu varirati od jednostavnog identificiranja ključnih receptora na koje izliveni ugljikovodici mogu negativno utjecati do pokušaja kvantificiranja učinaka na određene vrste indikatora. Odabir pokazatelja štetnih učinaka temelji se na nizu ključnih čimbenika, uključujući (ARPEL, 1998):

- identificirani opseg i ciljevi studije (npr. ako je cilj bio procijeniti rizik za ljudsko zdravlje u blizini izvora nafte, tada bi razina benzena u zalihama pitke vode mogla biti

prikladan pokazatelj potencijalnog štetnog učinka);

- sposobnost tima za procjenu rizika da izmjeri pokazatelje (npr. ograničeni analitički resursi mogu zahtijevati indikator koji se može vizualno mjeriti, kao što su kilometri onečišćene obale);
- vjerojatnost da se pokazatelj izravno odnosi na štetni učinak ili potencijalni štetni učinak (npr. benzen je kancerogen i stoga je dobar pokazatelj potencijalnog rizika od pojave karcinoma ako se pronađe u zalihama pitke vode).

Nakon analize posljedica istjecanja ugljikovodika u okoliš potrebno je razviti vrijednost posljedica. Razvijeni su mnogi indeksi koji pokušavaju aproksimirati štetne posljedice akcidenata na temelju ranjivosti određenih receptora na izlivenu naftu. Dostupni indeksi mogu se koristiti za određivanje vrijednosti čitavog niza posljedica (Ornitz et al., 2002).

5.1.5. Karakterizacija rizika

Uobičajena metoda za karakterizaciju rizika je razvijanje indeksa vjerojatnosti i posljedica, kao što je opisano u prethodnim koracima. Indeksi, razvijeni iz raspona mogućih ishoda, generiraju vrijednosti vjerojatnosti i posljedica koje nisu jedinične. Nejedinične vrijednosti daju zajednički nazivnik koji omogućuje usporedbu vjerojatnosti istjecanja nafte u okoliš i rezultirajućih posljedica i u okviru procjene rizika (ARPEL, 1998).

Budući da je rizik funkcija vjerojatnosti i posljedica istjecanja ugljikovodika, oni akcidenti koje karakterizira velika vjerojatnost pojave te mogućnost pojave ozbiljnih posljedica predstavljaju najveći rizik. Nasuprot tome, oni akcidenti s malom vjerojatnošću i manjim posljedicama predstavljaju mali ili nikakav rizik. Vrijednosti vjerojatnosti i posljedica kombiniraju se kako bi se razvila vrijednost rizika kao što je prikazano u tablici 5-3.

Tablica 5-3. Vrijednost rizika kao posljedica kombinacije vrijednosti vjerojatnosti i posljedice (prema ARPEL, 1998)

Akcident istjecanja nafte u okoliš	Analiza vjerojatnosti	Vrijednost	Analiza posljedica	Vrijednost	Razina Rizika
Isteklo je 0,16m ³ nafte zbog propuštanja ventila u proizvodnom pogonu	Dnevno	10	Obližnji resursi uključuju izvore pitke vode, poljoprivredno područje te močvare.	8	18
Isteklo je 3200 m ³ nafte tijekom sudara tankera	Jedan akcident u 25 godina	2	Obližnji resursi uključuju stjenovite i umjetne obale.	2	4

Važno je napomenuti kako je identificirana vrijednost rizika relativna. Vrijednost je korisna samo za usporedbu različitih izvora rizika. Vrijednost rizika ne može se usporediti s drugim vrijednostima ili indeksima iz drugih studija koje su koristile različite metode za određivanje tih vrijednosti (Godec, 2009).

5.1.6. Upravljanje rizikom

Razine rizika relativne su samo unutar subjektivnih kriterija studije procjene. Dobivene vrijednosti korisne su u procjeni alternativa za smanjenje rizika i usporedbi razina rizika za različite okolnosti ili s prihvatljivim korporativnim referentnim vrijednostima. Upravljanje rizikom predstavlja procjenu i implementaciju opcija za smanjenje vjerojatnosti i posljedica istjecanja ugljikovodika u okoliš. Strategije smanjenja rizika bave se ili opcijama za smanjenje vjerojatnosti akcidenata ili opcijama za smanjenje posljedica akcidenata. Menadžeri moraju odrediti koja je razina rizika prihvatljiva. Prihvatljiva razina rizika se određuje nakon pregleda akcidenata i procjene raspona rizika (ARPEL, 1998).

Na vjerojatnost pojave akcidenta mogu utjecati čimbenici koji su izvan kontrole programa upravljanja rizikom. Brojne mogućnosti upravljanja rizikom mogu se osmisлити za rješavanje neuobičajeno visokih akcidentnih situacija, a te opcije uključuju (Cheremisinoff, 2009):

- programe preventivnog održavanja i pregleda,
- poboljšane sigurnosne mjere,
- poboljšane mjere zaštite ili protuterorističke mjere,
- poboljšane kvalitete plovila i opreme,
- kontrole izljeva i mjere zaštitne opreme.

Glavni čimbenik koji utječe na posljedice istjecanja ugljikovodika u okoliš je sposobnost poduzeća da na njega reagira. Sposobnost odgovora ovisi o nizu čimbenika, poput učinkovitog plana za izvanredne situacije te dostupnosti odgovarajuće opreme i materijala za sanaciju onečišćenja. Sposobnost kompanija da učinkovito odgovore na izljeve nafte i minimiziraju štetne učinke na okoliš uvelike ovisi o organizaciji i politikama koje su već prisutne. Kako bi se utvrdila razina dostupnih mjera za sprječavanje istjecanja i sustava upravljanja rizikom od izljeva ugljikovodika u okoliš, upravljanje rizikom treba uzeti u obzir postojeću plansku dokumentaciju i ostale uvjete, uključujući (ARPEL, 1998):

- nacionalni plan za slučaj onečišćenja naftom i opasnim tvarima (engl. *National Oil and Hazardous Substances Pollution Contingency Plan*),
- korporativne planove i planove za nepredviđene situacije specifične za pojedina mjesta,

- periodična testiranja planova, obuku osoblja i simulacijske vježbe,
- službene sporazume s organizacijama ili industrijskim udruženjima,
- osposobljavanje zaposlenika za rad sa specijaliziranom opremom,
- suvremenu i dobro održavanu opremu.

Nadalje, opcije za upravljanje rizikom mogu se fokusirati na povećano osiguranje za određeni akcident ili održavanje fonda za hitne slučajeve. Ove mogućnosti upravljanja rizikom mogu osigurati da su financijski resursi na raspolaganju za odgovarajući odgovor na akcidente istjecanja ugljikovodika u okoliš, kako bi se izbjegle katastrofalne financijske posljedice za kompaniju (Dawatola et al., 2011).

6. ZAKLJUČAK

Načela zaštite okoliša inicirana su i ugrađena u naftnu industriju više od 90 godina, no tek se prije nekoliko desetljeća zaštita okoliša počela promatrati kao sastavni dio pristupa održivom razvoju. Pokazatelji koji govore u prilog činjenici da se tijekom posljednjih desetljeća ekološki učinak naftne industrije poboljšao su izdaci naftnih kompanija za zaštitu okoliša koji su se znatno povećali te smanjenje broja ukupnih izljeva. Budući da naftna industrija, s obzirom na svoje ekološki intenzivne djelatnosti, zauzima posebnu pozornost javnosti, velik naglasak stavljen je na kvalitetan sustav zaštite okoliša, temeljen na učinkovitom upravljanju koje uključuje sustavne pristupe i odgovarajuće mehanizme koji moraju osigurati usklađenost sa sadašnjim, kako nacionalnim, tako i globalnim ekološkim propisima. Naftna industrija je proaktivna u razvoju tehnologija, operativnih praksi i sustava upravljanja usmjerenih na smanjenje negativnog utjecaja na okoliš, što je rezultiralo značajnim smanjenjem broja ekoloških nesreća.

Ipak, još uvijek se događaju nesreće s negativnim utjecajem na okoliš. Naftna industrija ima dugoročan i kratkoročan rizik za okoliš. Glavnim rizikom za okoliš koji je povezan s naftnom industrijom smatra se primarni rizik od izljeva fluida u okoliš. Utjecaj istjecanja ugljikovodika na okoliš kreće se od vrlo niskog do vrlo visokog, prvenstveno ovisno o vrsti aktivnosti, primijenjenim tehnikama sprječavanja, kontroli onečišćenja te osjetljivosti okoliša u kojem se te aktivnosti provode.

Učestalost izljeva nafte i ukupna količina izlivena nafte značajno su smanjeni u posljednjih 30 godina, iako je došlo do povećanja tankerskog i cjevovodnog transporta nafte i naftnih derivata. Iako se akcidenti koji rezultiraju velikim ispuštanjem u naftnoj industriji rijetko događaju, važno je identificirati izvore, veličinu i učestalost tih ispuštanja. Posljedice ovih akcidenata mogu se svesti na najmanju moguću mjeru, ublažiti ili čak izbjeći ako se provode odgovarajuće mjere procjene i upravljanja rizikom.

Do danas još uvijek ne postoji univerzalno prihvaćena metodologija za procjenu rizika za okoliš u naftnoj industriji. U slučaju postojanja odgovarajuće baze podataka o prethodnim ili sličnim događajima, procjena rizika za okoliš uslijed aktivnosti naftne industrije obično se provodi analizom prijašnjih prijavljenih podataka o izlijevanju nafte za određeno područje. Međutim,

ako nema dovoljno dostupnih podataka za određivanje opsega rizika, koristi se kombinacija kvalitativnih i kvantitativnih metoda. Kvalitativne tehnike analize rizika temelje se na iskustvu procjenjivača, bez uvođenja matematičkih relacija te uključuju liste s pitanjima i parametrima procesa, u svrhu provjere dizajna ispravnog funkcioniranja i kvarova. Kvalitativne tehnike analize rizika se koriste za kvantificiranje rizika povezanog s određenom opasnošću. Uključuju analitičku procjenu, ali strogo ovise o procjenjivačevoj sposobnosti interpretacije rizika. Kvantitativne tehnike analize rizika su u najširoj upotrebi (čine preko 65% korištenih metoda). Temelje se na brojčanim vrijednostima vjerojatnosti pojave akcidenta, ranjivosti sustava i posljedica, odnosno utjecaja neželjenog događaja. Kao rezultat dobiva se brojčana vrijednost rizika. U naftnoj industriji najraširenija je primjena hibridnih tehnika analize rizika, koje kombiniraju kvantitativne i kvalitativne tehnike, među kojima su najistaknutije: analiza uzroka i posljedica, analiza na osnovi padajućeg stabla te analiza stabla događaja. Analiza uzroka i posljedica uzima u obzir niz događaja koji se razvijaju iz kritičnog događaja te se može prikazati kvalitativno, kvantitativno ili kao kombinacija oba načina. Analiza na osnovi padajućeg stabla je prikazana kroz vizualizaciju međuovisnosti različitih elemenata koji mogu dovesti do akcidenta. Analiza stabla događaja koristi stablo odlučivanja za logički razvoj i vizualizaciju modela koji vodi od početnog, tj. osnovnog događaja do ishoda.

Zbog jednostavnosti primjene preporuča se primjena postupka opisanog u ARPEL-ovom dokumentu u kojem je predstavljen okvir za provođenje procjene rizika od izljeva nafte. Navedeni okvir primjenjiv je ne samo kod akcidenata izljeva, nego i kod svih manjih neželjenih događaja ispuštanja ugljikovodika u okoliš. Okvir prati šest koraka, a to su redom: planiranje procjene rizika, analiza opasnosti, analiza scenarija vjerojatnosti izljeva, analiza posljedica te karakterizacija i upravljanje rizikom.

Prilikom planiranja procjene rizika potrebno je jasno identificirati ciljeve, identificirati specifične operacije koje će biti uključene te identificirati vrste posljedica. U drugom koraku identificiraju se uobičajeni izvori, uzroci, očekivane količine izlivenih ugljikovodika te se isti akcidenti grupiraju u kategorije. U analizi scenarija vjerojatnosti istjecanja ugljikovodika u okoliš, bez obzira na to koriste li se kvalitativne ili kvantitativne metode, cilj je generirati vrijednost vjerojatnosti koja nije jedinična. Ova vrijednost se kombinira s analizom posljedica (4. korak) kako bi se dobila ukupna vrijednost rizika. Naposljetku, u posljednja dva koraka

određuje se vrijednost rizika za svaki akcident istjecanja ugljikovodika u okoliš, utvrđuju se prihvatljive razine rizika, identificiraju se glavni čimbenici koji pridonose velikoj vjerojatnosti pojave rizika te se u konačnici utvrđuju strategije smanjenja rizika koje umanjuju vjerojatnost nastanka akcidenta i smanjuju njegove posljedice te se identificiraju buduće strategije za smanjenje rizika.

7. LITERATURA

1. ABASCAL, A. J., CASTANEDO, S., NUNEZ, P., MELLOR, A., 2015. A high-resolution operational forecast system for oil spill response in Belfast Lough, *Marine Pollution Bulletin*, 114(1).
2. AGARWAL, H., RENAUD, E. J., PRESTON, L. E., PADMANABHAN, D., 2004. Uncertainty quantification using evidence theory in multidisciplinary design optimization, *Reliability Engineering and System Safety*, Publisher Elsevier Ltd.
3. AMIR-HEIDARI, P., EBRAHEMZADIH, M., FARAHANI, H., KHOUBI, J., 2014. *Quantitative Risk Assessment in Iran's Natural Gas Distribution Network*, Department of Civil and Environment Engineering, Amirkabir University of Technology, Teheran, Iran.
4. ANNETT, J., DUNCAN, K., 1967. Task analysis and training design, *Journal of Occupational Psychology*, 41(1), 211-221.
5. ARPEL., 1998. Oil spills risk assessment and management, ARPEL Environmental Guideline, 19(1)
6. AVEN, T., 2007. A unified framework for risk and vulnerability analysis covering both safety and security, *Reliability Engineering and System Safety*, 92(6), 745-754.
7. AYYUB, B., KLIR, J. G., 2006. *Uncertainty modeling and analysis in engineering and the sciences*, Chapman & Hall/CRC.
8. BAE, H., GRANDHI, V. R., CANFIELD, A. R., 2004. An approximation approach for uncertainty quantification using evidence theory, *Reliability Engineering and System Safety*.
9. CERIĆ, A., MARIĆ, T., 2011. Određivanje prvenstva pri upravljanju rizicima građevinskih projekata, *Građevinar*, 63(3), 265-271.
10. CHELIYAN, A. S., BHATTACHARYYA, S. K., 2017, Fuzzy fault tree analysis of oil and gas leakage in subsea production systems, *Journal of Ocean Engineering and Science*, 3(1), 38-48.
11. CHEREMISINOFF, N. P., ROSENFELD, P., 2009. *Best Practices in the Petroleum Industry*, Volume 1, USA: Elsevier Ltd.
12. DAWOTOLA, A., VAN GELDER, P., VRIJLING, J. K., 2012. Design for acceptable risk in transportation pipelines, *International Journal of Risk Assessment and Management*, 16(2), 112-127.
13. DAWATOLA, A., TRAFALIS, T. B., MUSTAFFA, Z., VRIJLING, J. K., 2011. Data-Driven Risk Based Maintenance Optimization of Petroleum Pipelines Subject

- to Corrosion, *International Society of Offshore and Polar Engineers*, 978(1), 122-129.
14. DUHON, H., CRONIN, J., 2015. *Risk Assessment in HAZOPs*, SPE E&P Health, Safety, Security and Environmental Conference, Denver, Colorado, SAD.
 15. DUMITRAN, C., ONUTU, I., 2010. Environmental risk analysis for crude oil soil pollution, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 5(1), 83-92.
 16. DZIUBINSKI, M., FRATCZAK, M., MARKOWSKI, A. S., 2006. Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines, *Journal of Loss Prevent in Process Industries*, 19, 399-408.
 17. ETKIN, D. S., HORN, M. G., LANDQUIST, H., MCCAY, D. F., 2017. Quantification of Oil Spill Risk, *Oil Spill Science and Technology*, 71-183.
 18. FERDOUS, R., KHAN, F., SADIQ, R., AMYOTTE, P., VEITCH, B., 2009. Handling data uncertainties in event tree analysis, *Process Safety and Environment Protection*, 87(5), 283-292.
 19. FERDOUS, R., KHAN, F., SADIQ, R., AMYOTTE, P., VEITCH, B., 2011. Fault and event tree analysis for process systems risk analysis: Uncertainty handling formulations, *Journal of Risk Analysis*, 31(1), 86-107.
 20. FINGAS, M., FIELDHOUSE, B., 2011. *Water in oil emulsions: Formation and Prediction*,. Proceedings of the 34th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response, 460-510.
 21. GAURINA-MEĐIMUREC, N., PAŠIĆ, B., MIJIĆ, P., 2015. *Risk planning and Mitigation in Oil Well Fields: Preventing Disasters*, *International Journal of Risk and Contingency Management*, Vol 4, 27-48.
 22. GODEC, M. L., 2009, *Environmental Performance of the Exploration and Production Industry: Past, Present and Future*, SPE Americas Environmental and Safety Conference, San Antonio, Texas, SAD
 23. GUAN, L., JIAO, J., 2013. *A novel risk assessment technology based on ALARP criterion*, Annual Symposium on Reliability and Maintainability, Orlando, Florida, SAD.
 24. HARRISON, S. B., 2020. Environmental monitoring and management in the downstream oil and gas sector, *Digital Refining*, 54(1), 5-6.
 25. HRNČEVIĆ, L., 2016. *Chapter 16: Petroleum Industry Environmental Performance and Risk*. – In: Matanović, D., Gaurina-Međimurec, N., Simon, K. (ed.): *Risk analysis for prevention of hazardous situations in petroleum and natural gas engineering*, IGI Global, Hershey.

26. HRNČEVIĆ, L., 2019. Zaštita okoliša u naftnom rudarstvu- zabilješke s predavanja, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
27. IPIECA, 2012. *Sensitivity mapping for oil spill response*, London, Ujedinjeno Kraljevstvo.
28. JOLMA, J., LEHIKONEN, A., HELLE, I., VENESJARVI, R., 2014. *A software system for assessing the spatially distributed ecological risk posed by oil shipping*, Vol. 61, 1-11.
29. KLETZ, T. A., 1999. *HAZOP and HAZAN, identifying and assessing process industry hazards*, Warwickshire, UK
30. KLOBAS, V., BOGNOLO, D., KRŠULJA, M., 2017. Protupožarna zaštita kod LNG terminala, *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, 2(7), 29-41.
31. KONTOGIANNIS, T., 2003. A petri net-based approach for ergonomic task analysis and modelling with emphasis on adaptation to system changes, *Safety Science*, 41(10), 803-835.
32. MASCIA, A., CIRAFICI, A. M., BONGIOVANNI, A., COLOTTI, G., LACERRA, G., DI CARLO, M., DIGILIO, A., LIGUORI, G. L., LANATI, A., KISSLINGER, A., 2020. A failure mode and effect analysis (FMEA)- based approach for risk assessment of scientific processes in non-regulated research laboratories, *Journal for Quality, Comparability and Reliability in Chemical Measurement*, 1-13.
33. MATANOVIĆ, D., GAURINA-MEĐIMUREC, N., SIMON, K., 2014. *Risk analysis for prevention of hazardous situations in petroleum and natural gas engineering*, *Advances in Environmental Engineering and Green Technologies*, 1-22.
34. MILLS, M. A., 1999. *Method for Quantifying the Fate of Petroleum in the Environment* *Chemosphere*, Vol 39, No. 14, 2563-2582.
35. NEZAMODINI, Z. S., REZVANI, Z., KIAN, K., 2017. Dow's fire and explosion index: a case-study in the process unit of an oil extraction factory, *Electronic Physician*, 9(2).
36. ORNITZ, B. E., CHAMP, M. A., 2002. *Oil Spill First Principles; Prevention and Best Response*, Oxford, UK: Elsevier Science Ltd.
37. ORSZULIK, S. T., 2008. *Environmental Technology in the Oil Industry*, Springer Science
38. ORTMEIER, F., REIF, W., SCHELLHORN, G., 2005. *Formal Safety Analysis of Radio-Based Railroad Crossing Using Deductive Cause-Consequence Analysis*, European Dependable Computing Conference, vol 3463, 210-224.

39. PINTO, A., RIBEIRO, R. A., NUNES, I. L., 2013. Ensuring the Quality of Occupational Safety Risk Assessment, *Risk Analysis an International Journal*, 33(3), 409-419.
40. PRICE, J. M., 2003. Overview of the Oil Spill Risk Analysis Model for Environmental Impact Assessment, *Spill Science & Technology Bulletin*, 8(6), 529-533.
41. PRIYANTA, D., ZAMAN, M. B., 2021. *The development of a risk-based maintenance flowchart to select the correct methodology to develop maintenance strategies of oil and gas equipment*, Department of Marine Engineering, Faculty of Marine Technology, Surabaya, Indonezija
42. RADOSAVLJEVIĆ, S., 2008. HAZOP analiza u rudarstvu- menadžment primene, *Tehnička dijagnostika*, 2(1), 25-32.
43. RANA, S., 2008. *Facts and Data on Environmental Risks – Oil and Gas Drilling Operations*, SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, Perth, Australija, 1-21.
44. RANA, S., 2009. *Environmental Risks- Oil & Gas Operations Reducing Compliance Cost Using Smarter Technologies*, SPE Asia Pacific Health, Safety, Security and Environment Conference and Exhibition, Jakarta, Indonezija
45. REIS, J. C., 1996. *Environmental Control in Petroleum Engineering*, Houston, Texas, SAD
46. RENIERS, G. L. L., DULLAERT, W., ALE, B. J. M., SOUDAN, K., 2005. Developing an external domino prevention framework, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18, 127-138.
47. ROSQVIST, T., KOSKELA, M., HARJU, H., 2003. Software quality evaluation based on expert judgement, *Software Quality Journal*, 11(1), 39-55.
48. SAARI, T. H., 2009. *Machinery Safety Risk Assessment of a Metal Packaging Company*, 23-25.
49. SEPP NEVES, A. A., PINARDI, N., MARTINS, F., 2016, *Applying ensemble simulations to estimate the oil spill risk associated to operational and accidental oil spills*, Topical Collection on the 47th International Liege Colloquium on Ocean Dynamics, Liege, Belgija
50. SHAHRIAR, A., SADIQ, R., TESFAMARIAM, S., 2012. *A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis*, School of Engineering, The University of British Columbia, Kanada.
51. SHAPPELL, S. A., 2000. *The Human Factors Analysis and Classification System*

52. SKOGDALEN, J. E., VINNEM, J. E., 2012. *Combining Precursor Incidents Investigations and QRA in Oil and Gas Industry*, Volume 101, 45-48
53. SONNICHSEN, N., 2022. *Global number of oil tanker spills by quantity*, ITOFP
54. SUPCILLER, A. A., ABALI, N., 2015. Occupational Health and Safety Within the Scope of Risk Analysis with Fuzzy Proportional Risk Assessment Technique (Fuzzy Prat), *Quality and Reliability Engineering International*, 31(7), 1137-1150,
55. VAMANU, B., NECCI, A., TARANTOLA, S., KRAUSMANN, E., 2016. *Offshore Risk Assessment- An overview of methods and tools*, EU
56. VORA, M., STEINAR, S., FLAGE, R., 2021. An environmental risk assessment framework for enhanced oil recovery solutions from offshore oil and gas industry, *Environmental Impact Assessment Review*, 88(1).
57. WILCOX, C. R., AYYUB, M. B., 2003. *Uncertainty modeling of data and uncertainty propagation for risk studies*.
58. YUHUA, D., DATAO, Y., 2005. Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18(2), 83-88.
59. ZHEN, J. G., ZHEN, L., JOHNSON, W., AUAD, G., 2021. Progress of the Oil Spill Risk Analysis (OSRA) Model and its Applications, *Journal of Marine Science and Engineering*, 195(9).
60. ZWEGLINSKI, T., 2022. *Conventional Event Tree Analysis on Emergency Release of Liquefied Natural Gas*, Internal Security Institute, Varšava, Poljska.

Internetski izvori:

61. AZU, 2022. Agencija za ugljikovodike. (URL: <https://www.azu.hr/>) (20.5.2022.)
62. CAPP, 2020. (URL: <https://www.capp.ca/environment/water/>) (12.9.2022.)
63. IMO, 2022. International Maritime Organization. (URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Default.aspx>) (4.9.2022.)
64. INA, 2021. Godišnje izvješće 2021. (URL: <https://www.ina.hr/home/investitori/financijska-izvjesca/godisnji-izvjestaji/>) (24.11.2022.)
65. INCHEM, 1999. Principles for the assessment of Risks to Human Health from Exposure to Chemicals. (URL: <https://inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc210.html>) (19.5.2022.)

66. ITOPF, 2013. Spill Response. (URL: <https://www.itopf.org/in-action/key-services/spill-response/>) (16.5.2022.)
67. ITOPF, 2021. Oil Tanker Spill Statistics. (URL: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>) (24.9.2022.)
68. WORLD-PETROLEUM, 2022. Oceans and Oil Spills. (URL: <https://www.world-petroleum.org/technology/199-oceans-a-oil-spills-courtesy-of-aip>) (12.9.2022.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja i vještina stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, pod nadzorom mentorice, koristeći se navedenom literaturom.

Lemić



KLASA: 602-01/22-01/199
URBROJ: 251-70-12-22-2
U Zagrebu, 07.12.2022.

Josip Lemić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/199, URBROJ: 251-70-12-22-1 od 25.10.2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

Procjena i upravljanje rizikom od akcidenata istjecanja ugljikovodika u okoliš

Za mentoricu ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada doc. dr. sc. Karolina Novak Mavar nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica:

(potpis)

doc. dr. sc. Karolina Novak
Mavar

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)