

Akcidenti u sustavima transporta nafte i plina cjevovodima

Djerdji, Fran

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:169:799232>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-04**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij naftnog rudarstva

AKCIDENTI U SUSTAVIMA TRANSPORTA NAFTE I PLINA CJEVOVODIMA

Diplomski rad

Fran Djerđji

N4330

Zagreb, 2024.

AKCIDENTI U SUSTAVIMA TRANSPORTA NAFTE I PLINA CJEVOVODIMA

Fran Djerđji

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

Sažetak

Diplomski rad analizira akcidente u cjevovodnim sustavima transporta nafte i plina. Daje pregled razvoja cjevovodnih sustava od prvih komercijalnih naftovoda u SAD-u do modernih infrastrukturnih projekata, s naglaskom na povećanje učinkovitosti i sigurnosti transporta. Kroz istraživanje povijesnih podataka o akcidentima prikupljenih iz različitih baza podataka, identificiraju se ključni uzroci akcidenta i prikazuju trendovi u njihovoj pojavnosti. Rad se usredotočuje na razumijevanje faktora poput korozije, utjecaja trećih strana i prirodnih katastrofa koji mogu uzrokovati akcidente, kao i na tehničke i regulatorne mjere prevencije. Analiza obuhvaća suvremene tehnologije detekcije i mitigacije, kao i sigurnosne standarde primjenjive na europskoj i globalnoj razini. Usporedba različitih baza podataka o akcidentima pomaže u formuliranju preporuka za poboljšanje postojećih procedura u upravljanju rizicima i održavanju integriteta cjevovodnih sustava. Zaključci ukazuju na značaj stalnog unaprjeđenja tehnologija i regulativa kako bi se smanjili rizici i ekološki utjecaji vezani uz transport nafte i plina cjevovodima.

Ključne riječi: akcidenti, cjevovodi, regulativa, prevencija, detekcija, mitigacija

Diplomski rad sadrži: 80 stranica, 4 tablice, 40 slika i 103 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Karolina Novak Mavar, RGNf

Ocjenjivači: Izv. prof. dr. sc. Karolina Novak Mavar, RGNf
Prof. dr. sc. Katarina Simon, RGNf
Izv. prof. dr. sc. Sonja Koščak Kolin, RGNf

ACCIDENTS IN OIL AND GAS PIPELINE TRANSPORTATION SYSTEMS

Fran Djerdji

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

The thesis analyses accidents in oil and gas pipeline transportation systems. It provides an overview of the development of pipeline systems from the first commercial oil pipelines in the USA to modern infrastructure projects, with a focus on increasing efficiency and transportation safety. By analysing historical accident data from various databases, the main causes of accidents are identified and trends in accident frequency are shown. The work focuses on understanding factors such as corrosion, third party interference, and natural disasters that can cause accidents, as well as technical and regulatory preventive measures. The analysis includes modern detection and mitigation technologies as well as the safety standards applicable at European and global level. A comparison of different accident databases helps to formulate recommendations for improving existing risk management procedures and maintaining the integrity of pipeline systems. The conclusions emphasise the importance of the continuous development of technologies and regulations to reduce the risks and environmental impacts associated with oil and gas pipeline transport.

Keywords: accidents, pipelines, regulations, prevention, detection, mitigation

Thesis contains: 80 pages, 4 tables, 40 figures i 103 references.

Original in: Croatian

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

Supervisors: Associate Profesor Karolina Novak Mavar, PhD

Reviewers: Associate Profesor Karolina Novak Mavar, PhD
Tenured Profesor Katarina Simon, PhD
Associate Profesor Sonja Koščak Kolin, PhD

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA	III
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA	IV
1. UVOD	1
2. KRATKI PREGLED RAZVOJA CJEVOVODNIH SUSTAVA ZA PRIJENOS NAFTE I PLINA U SVIJETU S NAGLASKOM NA UPRAVLJANJE RIZICIMA ...	2
3. PREGLED AKCIDENATA U SUSTAVIMA TRANSPORTA PLINA I NAFTE CJEVOVODIMA	9
3.1. Baza podataka eNatech	9
3.2. Baza podataka EGIG	10
3.2.1. Stanje plinskog transportnog sustava u Europi.....	13
3.2.2. Trendovi broja akcidenta, primarne i sekundarne učestalosti kvarova.....	16
3.3. Baza podataka CONCAWE.....	19
3.3.1. Pregled i analiza akcidentata prijavljenih u bazu CONCAWE.....	23
3.3.2. Pregled izlijevanja za period 1971.- 2022.....	24
3.4. Baza podataka o akcidentima ARIA.....	31
3.5. Baza podataka PHMSA	32
3.6. Baza podataka „Spill“ Nacionalnog centra za hitne intervencije SAD-a.....	36
3.7. Baza podataka Odbora za sigurnost u prometu Kanade.....	37
4. ANALIZA UZROKA IZLIJEVANJA	41
5. REGULATIVA I SIGURNOSNI STANDARDI ZA TRANSPORT NAFTE I PLINA.....	46
5.1. Međunarodni standardi	46
5.2. Zakonska regulativa na području sigurnosti transporta opasnih tvari cjevovodima.....	48
5.3. Nacionalna regulativa RH.....	50
6. OČUVANJE INTEGRITETA CJEVOVODA	53
6.1. Prevencija	53
6.1.1. Održavanje i operacije	54
6.2. Detekcija	57
6.3. Mitigacija.....	61
6.3.1. Postupak rehabilitacije cjevovoda	68

7. ZAKLJUČAK.....	70
8. LITERAURA.....	72

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Smještaj naftovoda „Big Inch“ i „Little Big Inch“ iz 1942./1943.	3
Slika 2-2. Mreža plinovoda	6
Slika 3-1. Prikaz ukupne duljine plinovoda u Europi.....	13
Slika 3-2. Udio pojedinih promjera u ukupnoj duljini cjevovoda	14
Slika 3-3. Zastupljenost cjevovoda prema korištenim premazima.....	14
Slika 3-4. Zastupljenost pojedinih razreda API 5L standarda	15
Slika 3-5. Prikaz zastupljenosti plinovoda prema radnom tlaku	16
Slika 3-6. Broj akcidenta po godinama	16
Slika 3-7. Trend smanjenja učestalosti kvarova	17
Slika 3-8. Raspodjela akcidenta prema uzrocima u periodu 2009. - 2019.	18
Slika 3-9. Sekundarna učestalost kvarova s obzirom na promjer cjevovoda za period 2009. - 2019.....	19
Slika 3-10. Concaawe inventar naftovoda.....	21
Slika 3-11. Ukupni profil starosti naftovoda	22
Slika 3-12. Distribucija promjera europskih naftovodnih cjevovoda (u inčima) u 2022. ...	23
Slika 3-13. Petogodišnji pokretni prosjek izlivanja.....	24
Slika 3-14. Učestalost akcidenata izlivanja	25
Slika 3-15. Raspodjela akcidenata na europskoj mreži cjevovoda prema površini zemljišta pogođenog izlivanjem opasnih tvari, u periodu 1983. - 2022.	26
Slika 3-16. Raspodjela izlivanja prema uzorku (bez ilegalnih priključaka na cjevovod)	27
Slika 3-17. Ukupan broj izlivanja u periodu 2018. - 2022. godina	28
Slika 3-18. Raspodjela izlivanja prema uzorku (bez ilegalnih priključaka na cjevovod)	28
Slika 3-19. Grafički prikaz akcidenata propuštanja naftovoda prijavljenih u bazu CONCAWE u periodu 1971. - 2022.	29
Slika 3-20. Grafički prikaz akcidenata naftovoda (uključujući i krađu) u periodu 1971. – 2022.	29
Slika 3-21. Broj akcidenta u zadnjih 20 godina prema bazi podatak PHMSA	33
Slika 3-22. Troškovi sanacije akcidenta prema bazi podataka PHMSA	33
Slika 3-23. Troškovi sanacije akcidenta	34
Slika 3-24. Podjela akcidenata u periodu 2010. - 2020.	35
Slika 3-25. Fano faktor analiza.....	36

Slika 3-26. Broj akcidenata upisanih u bazu TSB po godini.....	38
Slika 3-27. Pregled akcidenata po pojedinim kategorijama baze podataka u 2023. godini	38
Slika 3-28. Podjela akcidenata po uzrocima.....	40
Slika 4-1. Usporedba podataka o akcidentima prikupljenih u različitim bazama podataka	43
Slika 4-2. Podjela akcidenata po uzrocima.....	44
Slika 6-1. Interferencija sa lutajućom strujom.....	56
Slika 6-2. Elaflex ERV	56
Slika 6-3. Tipovi kalipera	57
Slika 6-4. MFL uređaj	58
Slika 6-5. Cjevovod bez deformacija i s deformacijama.....	58
Slika 6-6. Uređaj koji koristi ultrazvučne valove	60
Slika 6-7. Atmos Eclipse	61
Slika 6-8. "Hot tapping" uređaj	69

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Najdulji i najpoznatiji naftovodi i plinovodi u cijelom svijetu.	7
Tablica 4-1. Usporedba baza podataka.....	42
Tablica 6-1. Prevencija, Detekcija i Mitigacija	53
Tablica 6-2. Fluidi koji se transportiraju pomoću cjevovoda.....	61

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Simbol	Opis	Vrijednost
API	Američki institut za naftu i plin (engl. <i>American Petroleum Institute</i>)	-
AOPL	Udruženja vlasnika i operatera naftovoda u SAD-u (engl. <i>Association of Oil Pipelines</i>)	-
ARIA	Analiza, istraživanje i informacije o nesrećama (engl. <i>Analysis, Research and Information on Accidents</i>)	-
ASME	Američki institut za mehaničko inženjerstvo (engl. <i>American Society of Mechanical Engineers</i>)	-
BAT	najbolje dostupne tehnike (engl. <i>Best Available Techniques</i>)	-
Bs	broj akcidenata po grupi	-
BTC	Baku-Tbilisi-Ceyhan	-
CFR	Kodeks saveznog zakonodavstva (engl. <i>Code of Federal Regulations</i>)	-
CONCAWE	Očuvanje čistog zraka i vode u Europi (engl. <i>Conservation of Clean Air and Water in Europe</i>)	-
DAS	distribuirani akustički senzori (engl. <i>Distributed Acoustic Sensing</i>)	-
DI	djelomična izloženost	-
DOT	Ministarstvo prometa SAD-a (engl. <i>Department of Transportation</i>)	-
DTS	distribuirani temperaturni senzori (engl. <i>Distributed Temperature Sensing</i>)	-
ECSC	Europska zajednica za ugljen i čelik (engl. <i>European Coal and Steel Community</i>)	-
EGIG	Europska organizacija za podatke o akcidentima plinovoda (engl. <i>European Gas Pipeline Accident Data Group</i>)	-
ERW	elektro otporno zavarivanje (engl. <i>Electric Resistance Welding</i>)	-
FF	Fano faktor (engl. <i>Fano Factor</i>)	-
F _{pr}	primarna učestalost kvarova	-

F _{sec}	sekundarna učestalost kvarova	-
GIS	Geografski informacijski sustav (engl. <i>Geographical Information System</i>)	-
GPS	Globalni položajni sustav (engl. <i>Global Positioning System</i>)	-
I	izloženost	-
IED	Direktiva o industrijskim emisijama (engl. <i>Industrial Emissions Directive</i>)	-
IIH	histogram intervala između događaja (engl. <i>Inter-Incident Histogram</i>)	-
ISO	Međunarodna organizacija za standardizaciju (engl. <i>International Organization for Standardization</i>)	-
l	duljina cjevovoda, km	km
LDAR	popravak mjesta istjecanja metana iz sustava (engl. <i>Leak Detection and Repair</i>)	-
LSAW	uzdužno elektrolyučno zavarivanje, zavarivanje potopljenim lukom (engl. <i>Longitudinal Submerged Arc Welded</i>)	-
MAOP	dopušteni radni tlak (engl. <i>Maximum Allowable Operating Pressure</i>)	-
MFL	elektromagnetska metoda inspekcije cjevovoda (engl. <i>Magnetic Flux Leakage</i>)	-
MRCC	Nacionalna središnjica za usklađivanje traganja i spašavanja na moru (engl. <i>Maritime Rescue Coordination Centre</i>)	-
MRV	verifikacija emisija metana (engl. <i>Monitoring, Reporting and Verification</i>)	-
Na	broj akcidenata	-
NRC	Nacionalni centar za hitne intervencije (engl. <i>National Response Center</i>)	-
NRS	Nacionalni sustav za hitne intervencije (engl. <i>National Response System</i>)	-
NO _x	dušikov oksid (engl. <i>Nitrous Oxide</i>)	-
OHSMS	Međunarodni standard za sustave upravljanja zdravljem i sigurnošću na radu (engl. <i>Occupational Health and Safety</i>)	-

Management System)

OPS	Ured za sigurnost cjevovoda (engl. <i>Office of Pipeline Safety</i>)	-
P	udio unutar određene grupe	%
Ps	udio za grupu u odnosu na ukupan broj akcidenata	%
PHMSA	Uprava za sigurnost plinovoda i opasnih materijala (engl. <i>Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration</i>)	-
PIG	uređaj za mehaničko čišćenje, inspekciju i održavanje unutrašnjosti cijevi (engl. <i>Pipeline Inspection Gauge; Pipeline Intervention Gadget</i>)	-
REACH	Registracija, evaluacija, autorizacija i ograničavanje kemikalija (engl. <i>Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals</i>)	-
RRVF	smanjenje rutinskog spaljivanja i ispuštanja metana u atmosferu (engl. <i>Reduction of Routine Venting and Flaring</i>)	-
SAD	Sjedinjene Američke Države	-
SAR	radar sa sintetičkim otvorom (engl. <i>Synthetic Aperture Radar</i>)	-
SCADA	Računalni sustav za nadzor, mjerenje i upravljanje industrijskim sustavima (engl. <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>)	-
SCC	korozija uslijed naprezanja (engl. <i>Stress Corrosion</i>)	-
SMYS	specificirana minimalna vlačna čvrstoća materijala (engl. <i>Specified Minimum Yield Strength</i>)	-
SO ₂	sumporov dioksid (engl. <i>Sulfur Dioxide</i>)	-
SMLS	sumporov dioksid (engl. <i>Sulfur Dioxide</i>)	-
SSAW/ HSAW	spiralno zavarene cijevi (engl. <i>Spiral Submerged Arc Welded/Helical Submerged Arc Welded</i>)	-
STL	Sigurnosno-tehnički list (engl. <i>Safety Data Sheets</i>)	-
SQUID	Supervodljivi kvantni interferencijski uređaji (engl. <i>Superconducting Quantum Interference Devices</i>)	-
SPRT	Test sekvencijalnog omjera vjerojatnosti (engl. <i>Sequential Probability Ratio Test</i>)	-
t	trajanje izlaganja	god

TAG	Transaustrijska plinovodna mreža (engl. <i>Trans-Austria Gas</i>)	-
TANAP	Transanadolijski plinovod (engl. <i>Trans-Anatolian Natural Gas Pipeline</i>)	-
Tba	ukupan broj akcidenata za sve grupe	-
TSBC	Odbor za sigurnost u prometu Kanade (engl. <i>Transport Safety Board of Canada</i>)	-
Ua	ukupan broj akcidenata za određenu grupu	-
Ua	ukupna izloženost	-

1. UVOD

Transportni sustavi su od vitalne važnosti za suvremeno društvo, budući da omogućuju učinkovito kretanje robe i resursa širom svijeta. Međutim, s povećanom složenošću i opsežnošću transportnih operacija, rizici od akcidenata postaju sve izraženiji. Akcidenti u sektoru transporta, kao što su nesreće na cestama, zrakoplovne nesreće, pomorski akcidenti i akcidenti u željezničkom prometu, mogu imati ozbiljne posljedice po ljude, okoliš i gospodarstvo. S obzirom na rastuću potražnju za energentima, posebno naftom i plinom, važno je istražiti i analizirati akcidente u transportnim sustavima tih resursa.

U ovom diplomskom radu bit će istraženi akcidenti povezani s naftovodima i plinovodima. Analizirat će se podaci prikupljeni s relevantnih internetskih stranica različitih nacionalnih i međunarodnih organizacija koje bilježe akcidente u području transporta nafte i plina cjevovodima. Navedene organizacije uključuju EGIG-a (engl. *European Gas Pipeline Accident Data Group*), Concawe-a (engl. *Conservation of Clean Air and Water in Europe*), eNatech, TSB (engl. *Transport Safety Board of Canada*), PHMSA (engl. *Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration*), te Nacionalni centar za hitne intervencije (engl. *National Response Center*). Ove platforme nude informacije o prošlim akcidentima, na temelju kojih je moguće identificirati uzroke, ali i uvidjeti trendove u pojavi nesreća, kao i donijeti zaključke o uzročno-posljedičnim odnosima. Uz detaljan prikaz i usporednu analizu sadržaja analiziranih baza podataka, cilj rada je i dati preporuke o informacijama koje pružaju iste.

Osim toga, istraživanje provedeno u okviru diplomskog rada bilo je usmjereno i na inovacije u sustavu transporta nafte i plina, s ciljem prepoznavanja mjera koje mogu povećati sigurnost i učinkovitost cjevovodnih sustava.

2. KRATKI PREGLED RAZVOJA CJEVODNIH SUSTAVA ZA PRIJENOS NAFTE I PLINA U SVIJETU S NAGLASKOM NA UPRAVLJANJE RIZICIMA

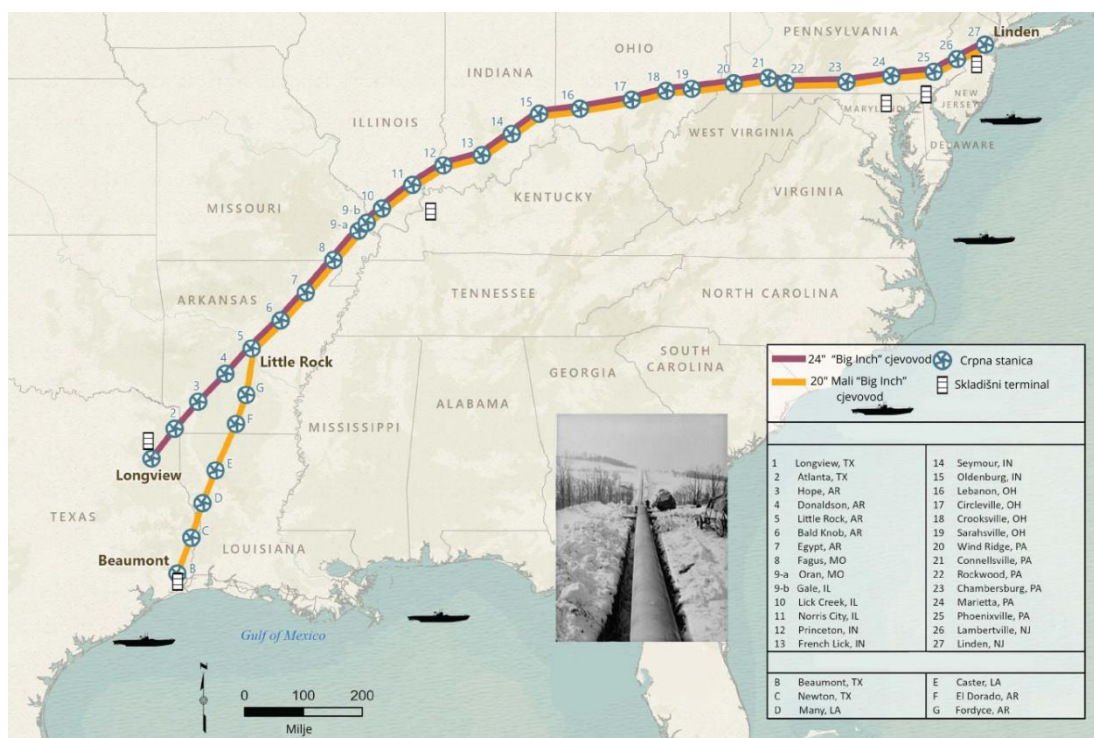
Prvi komercijalni sustavi cjevovoda za transport nafte datiraju iz 19. stoljeća, kada su u Sjedinjenim Američkim Državama (SAD, Teksas) izgrađeni prvi cjevovodi za transport sirove nafte od naftnih polja do rafinerija i luka.

Godine 1865. izgrađen je prvi značajan naftovod između Titusvillea i Oil Cityja u Pennsylvaniji, a izgradio ga je američki poduzetnik Samuel Van Syckela. Ovaj naftovod, nazivnog promjera DN 50 (2 in.) i duljine oko osam kilometara, predstavljao je prekretnicu u transportu nafte, zamijenivši skupe i neučinkovite metode prijevoza zaprežnim kolima. Naftovod je mogao transportirati do 8000 barela (127 874 l) nafte dnevno, što je bilo ekvivalentno radu stotina zaprežnih kola. Ubrzo nakon toga, izgrađeni su i drugi naftovodi, poput naftovoda između Benninghoff Runa i Oil Creeka u Pennsylvaniji, također nazivnog promjera DN 50, kojim se transportiralo između 1000 i 2000 barela nafte dnevno (Burgess, 2015).

Potom, važno je spomenuti i jedan od prvih komercijalnih cjevovoda vanjskog promjera 141,3 mm (5,6 in.) i duljine oko 140 km, izgrađen u Pennsylvaniji 1884. godine za potrebe dobave prirodnog plina za rasvjetu i grijanje gradova. Od ostalih ranih projekata, ističe se izgradnja naftovoda promjera 530 mm (21,9 in.) i duljine 833 km u Azerbajdžanu, od Bakua do luke Supsa na Crnom moru. Ovi pilot projekti postavili su temelje za razvoj sve složenijih cjevovodnih mreža koje se danas koriste za prijenos energenata širom svijeta (Oil Region Alliance, 2023).

Od prvih značajnijih projekata, važno je spomenuti Drugi transkontinentalni sustav cjevovoda („Big Inch“ i „Little Big Inch“) za transport nafte iz Teksasa do istočne obale SAD-a, izgrađen tijekom Drugog svjetskog rata radi vojnih potreba. Navedeni sustav je predstavljao ključnu infrastrukturnu inicijativu tog vremena, čija gradnja je bila predložena od strane Harolda Ickesa, tadašnjeg ministra unutarnjih poslova SAD-a. Naftovod „Big Inch“, vanjskog promjera 610 mm (24 in.) služio je za otpremu sirove nafte, a „Little Big Inch“, vanjskog promjera 508 mm (20 in.) za transport rafiniranih naftnih proizvoda. Naftovod „Big Inch“ bio je dug 2018 km, s razvijenom mrežom priključnih cjevovoda u duljini 357 km i 28 pumpnih stanica. Naftovod „Little Big Inch“ bio je dug 2374 km, imao je 385 km priključnih cjevovoda i 7 pumpnih stanica duž svog južnog kraka. Slika 2-1.

prikazuje navedeni cjevovodni sustav, koji je svojevremeno bio najduži, najveći i najzahtjevniji te vrste na svijetu (O'Keefe, n.d.). Nakon Drugog svjetskog rata, sudbina ovih naftovoda postala je predmet sukoba različitih interesnih skupina. Studija, provedena od strane organizacije Surplus Property Administration, tada je preporučila prenamjenu naftovoda u plinovode radi veće ekonomske iskoristivosti. Konačno, naftovodi su 1947. godine prodani kompaniji Texas Eastern Transmission Corporation, što je značilo prestanak njihove vojne uloge i početak njihovog korištenja kao ključnog dijela američke energetske infrastrukture (Smith, 1950).



Slika 2-1. Smještaj naftovoda „Big Inch“ i „Little Big Inch“ iz 1942./1943. (Palmer i Johnson, 2024)

Razvoj transporta nafte i plina cjevovodima ubrzao se tijekom 20. stoljeća, paralelno s rastom potražnje za ovim energentima. Uvođenje novih tehnologija zavarivanja cijevi i korištenje naprednih materijala, čelika visokih čvrstoća, polietilena te kompozita, omogućilo je izgradnju duljih i pouzdanijih cjevovoda. Uz stalne tehnološke inovacije i rigorozne sigurnosne standarde, cjevovodi ostaju ključna infrastruktura za opskrbu energijom i podršku gospodarstvu.

Tijekom prve polovice 20. stoljeća, izgradnja naftovoda ubrzano se širila po Europi, posebno nakon otkrića velikih naftnih polja u Rumunjskoj i Sovjetskom Savezu. Nakon Drugog svjetskog rata, obnova i rekonstrukcija europskog gospodarstva uključuje i razvoj

opsežne mreže naftovoda i plinovoda. Marshallov plan i osnivanje Europske zajednice za ugljen i čelik (engl. *European Coal and Steel Community*, ECSC) također su bili važni faktori u poticanju razvoja energetske infrastrukture (The George C. Marshall Foundation, 2024).

Tijekom 1970-ih i 1980-ih, razvoj naftovoda i plinovoda dodatno je ubrzan kao odgovor na energetske krize i rastuću potražnju za energijom. Prvi veliki transkontinentalni plinovod "Bratstvo" pušten je u pogon 1983. godine. U duljini od preko 4500 km i vanjskim promjerom cijevi od 1422,40 mm (56 in.), povezivao je plinska polja u Sibiru sa zapadnom Europom. Ovaj plinovod bio je ključan za opskrbu zapadne Europe prirodnim plinom iz Sovjetskog Saveza, čime je postao važan element u geopolitici Hladnog rata (Global Energy Monitor, 2024).

Izgradnja ključnih plinovoda, kao što su npr. "Trans-Austria Gas" (API), duljine 380 kilometara i vanjskog promjera cijevi 914,40-1219,20 mm (36-48 in.) (Trans-Austria Gasleitung GmbH, 2024), te "Trans-Mediterranean Pipeline", duljine 2475 km i vanjskog promjera 1219,20 mm (48 in.), koji spaja sjevernu Afriku s Europom, omogućila je diversifikaciju izvora energije i smanjenje ovisnosti o jednom dobavljaču (Global Energy Monitor, 2024).

Tijekom tog razdoblja, širenje cjevovodnih sustava dovodi do većeg fokusa na sigurnost. Niz velikih ekoloških incidenata uzrokovanih izljevima nafte, potaknuli su svijest o potrebi strože legislative, odnosno sigurnosnih protokola i nadzora kako bi se smanjili rizici povezani s transportom nafte i plina. Tako su u tom razdoblju već postavljeni standardi Američkog instituta za naftu i plin (engl. *American Petroleum Institute*, API) API RP 1104 za zavarivanje plinovoda i s njima povezanih objekata (engl. *Standard for Welding Pipelines and Related Facilities*) i API RP 1110 za tlačno ispitivanje cjevovoda za transport nafte (engl. *Recommended Practice for the Pressure Testing of Liquid Petroleum Pipelines*), kao i standardi Američkog udruženja inženjera strojarstva (engl. *American Society of Mechanical Engineers*, ASME) B31.4 i B31.8., koji su regulirali projektiranje, izgradnju i održavanje cjevovoda za tekuće ugljikovodike i plin (American Petroleum Institute [API], 1999).

U SAD-u, Kongres je 1968. godine osnovao Ured za sigurnost cjevovoda (engl. *Office of Pipeline Safety*, OPS) kako bi nadgledao i provodio propise o sigurnosti cjevovoda. U

početku svog djelovanja, OPS se nalazio u Ministarstvu prometa (engl. *Department of transportation*, DOT) pod Upravom za istraživanje i posebne programe (engl. *Research and Special Programs Administration*, RSPA), a sada djeluje pod Upravom za sigurnost cjevovoda i opasnih materijala PHMSA (Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration) (Parker, 2004). Osnovne regulative, postavljene su još 1960-ih, da bi u periodu 1970-ih i 1980-ih godina postale sve rigoroznije. Industrija je počela više pažnje posvećivati integritetu cjevovoda, uključujući prevenciju korozije. Ove inicijative bile su preteče modernih programa upravljanja integritetom cjevovoda. U tom periodu, točnije 1968. godine, usvojen je i prvi akt kojim je regulirana sigurnost plinovoda (engl. *Natural Gas Pipeline Safety Act*). Njegove izmjene i dopune obuhvatile su i cjevovode za tekućine pa je tako 1979. godine usvojen Zakon o sigurnosti cjevovoda (engl. *Pipeline Safety Act*). Usvojeni su i ostali zakoni koji su utjecali na sigurnost cjevovoda, poput Zakona o čistom zraku (U.S. Environmental Protection Agency, 1970) i Zakona o čistoj vodi (U.S. Environmental Protection Agency, 1972).

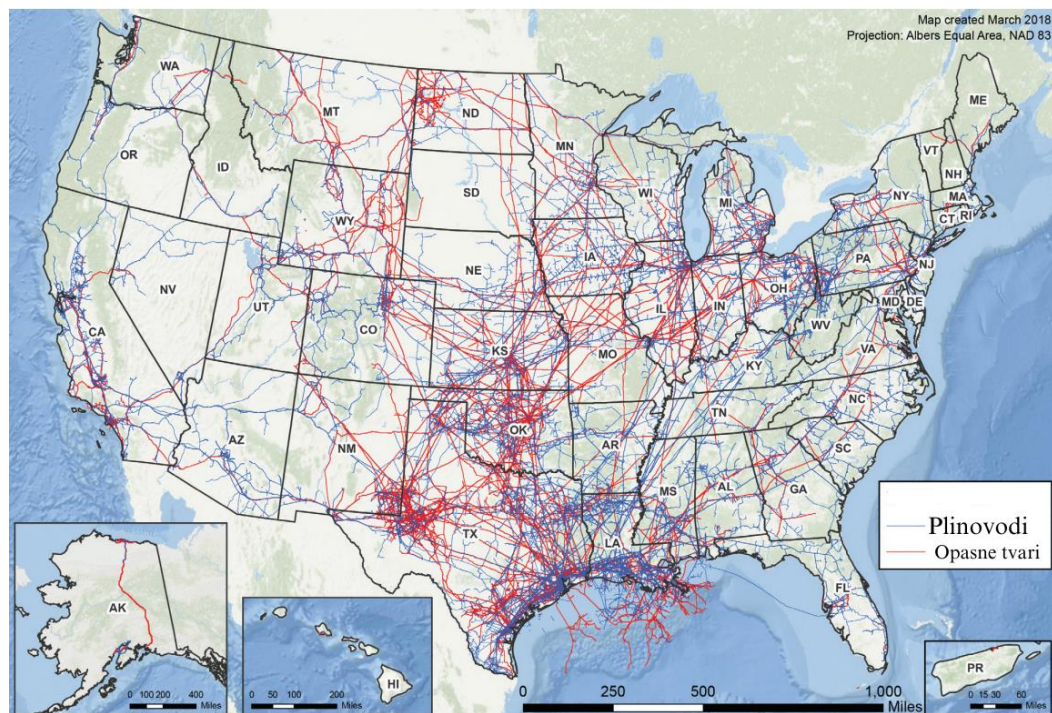
Posljednjih desetljeća, Europa je nastavila razvijati svoju mrežu naftovoda i plinovoda, stavljajući fokus na sigurnost opskrbe i smanjenje emisija stakleničkih plinova. Projekti poput plinovoda "Nord Stream", s duljinom od 1224 km i promjerom cijevi od 1220 mm (48 in.), te "Southern Gas Corridor", koji uključuje plinovod "TANAP" (Trans-Anatolian Natural Gas Pipeline) duljine 1850 km i promjera 1420 mm (56 in.), predstavljaju suvremene primjere ulaganja u energetska infrastrukturu koja povezuje Europu s različitim izvorima energije, uključujući Rusiju, Kaspisku regiju i Bliski Istok (Nord Stream AG, n.d.; Southern Gas Corridor AG, 2024).

Prema podacima kompanije za analizu i savjetovanje, GlobalData Plc, početkom 2023. godine, ukupna duljina aktivnih magistralnih i međunarodnih naftovoda i plinovoda u Europi iznosila je 202 685 km, što ukazuje na opsežnost i važnost europskog transportnog sustava nafte i plina, ali i na potrebu za učinkovitim upravljanjem rizicima i prevencijom akcidenata. Stoga je istraživanje i razumijevanje uzroka, posljedica i preventivnih mjera povezanih s akcidentima transportnog sustava od ključne važnosti za osiguranje sigurne, održive i pouzdane cjevovodne infrastrukture (GlobalData Plc, 2023).

Na području SAD-a izgrađeno je preko 320 000 kilometara magistralnih cjevovoda za transport sirove nafte, plina, kondenzata i različitih naftnih derivata. Postoji više od 480 000 kilometara cjevovoda za sabiranje i transport prirodnog plina te 3,5 milijuna

kilometara za njegovu distribuciju do krajnjih korisnika (kućanstava, industrijskih i drugih poslovnih subjekata). Transport prirodnog plina gotovo se u cijelosti odvija cjevovodima, dok se za preko 90 % ukupno transportirane sirove nafte i rafiniranih naftnih proizvoda, u nekoj fazi transporta, također koriste cjevovodi (American Geosciences Institute, 2018).

Slika 2-2. prikazuje sustav plinovoda (plavo) i cjevovoda za prijenos „opasnih tekućina“ (crveno) na području SAD-a (plinski distribucijski sustav nije prikazan). Cjevovodi za transport opasnih tekućina uglavnom se koriste za prijenos sirove nafte i naftnih derivata, ali također uključuju cjevovode za transport amonijaka i ugljikovog dioksida. Od svih saveznih država, Teksas ima najgušću mrežu plinovoda i naftovoda.



Slika 2-2. Mreža plinovoda (American Geosciences Institute, 2018)

Danas, ključni svjetski cjevovodni sustavi za transport nafte i plina obuhvaćaju naftovode Trans-Alaska, Keystone, te Baku-Tbilisi-Ceyhan (BTC), kao i plinovode Nord Stream i Yamal-Europa. Ovi infrastrukturni sustavi omogućuju strateški transport energenata između različitih država i regija. Tablica 2-1. daje pregled najduljih i najpoznatijih naftovoda i plinovoda u svijetu. Svaki sustav je definiran kroz polaznu/završnu točku, duljinu u kilometrima i kapacitetu (BP, 2021; Gazprom, 2021).

Tablica 2-1. Najdulji i najpoznatiji naftovodi i plinovodi u cijelom svijetu (Mentor IMC Group, 2019)

Naftovodi					
	Naziv/tip cjevovoda	Trasa	Duljina (km)	Operator sustava	Godišnji kapaciteti
1	Trans-Alaska Pipeline System (TAPS)/naftovod	Aljaska (SAD)	1287	Alyeska Pipeline Service Company	73×10^7 (barela/god)
2	Keystone Pipeline System /naftovod	Kanada -SAD	4687	TC Energy	$30,3 \times 10^7$ (barela/god)
3	Baku-Tbilisi-Ceyhan (BTC) Pipeline/naftovod	Azerbajdžan - Gruzija - Turska	1768	BP	$36,5 \times 10^7$ (barela/god)
4	Trans-Niger Pipeline (TNP)/naftovod	Nigerija	1200	Shell Petroleum Development Company of Nigeria	$5,475 \times 10^7$ (barela/god)
Plinovodi					
5	Nord Stream Pipeline/plinovod	Rusija - Njemačka	1224	Nord Stream AG	55×10^9 (m ³ /god)
6	West-East Gas Pipeline (WEPP)/plinovod	Tarim Basin – Shanghai (Kina)	8707	Petro China	77×10^9 (m ³ /god)
7	Turkmenistan–Afghanistan–Pakistan–India Pipeline System (TAPI)/plinovod	Turkmenistan - Indija	1814	TAPI Pipeline Company Limited	33×10^9 (m ³ /god)
8	Trans-Anatolian Natural Gas Pipeline (TANAP)/plinovod	Türkgözü - Ipsala (Turska)	1841	SOCAR	16×10^9 (m ³ /god)
9	Yamal-Europe Pipeline/plinovod	Rusija - Bjelorusija - Poljska - Njemačka	4107	Gazprom	33×10^9 (m ³ /god)

Ispravan rad sustava prijenosa fluida cjevovodima omogućuje siguran i učinkovit transport energije širom zemlje i regija. Navedeno zahtijeva i poštivanje strogih sigurnosnih standarda i provođenje redovitog održavanja, što je ključno za minimiziranje negativnih utjecaja na okoliš, ekonomiju i društvo, ali i osiguranje stabilnosti i održivosti energetske infrastrukture (Bureau of Transportation Statistics, 2024). Članice API-a i Udruženja vlasnika i operatera naftovoda u SAD-u (engl. *Association of Oil Pipe Lines*, AOPL) ažurirale su preporučenu praksu API RP 1160 „Upravljanje integritetom sustava cjevovoda za prijenos opasnih tekućina“, koja definira postupak za uspostavljanje sigurnog rada cjevovoda, uključujući detaljne procjene potencijalnih rizika i uspostavljanje sustava za sigurno i održivo upravljanje rizicima tijekom svakodnevnih operacija (API, 2019).

Danas je sigurnost transporta nafte i plina cjevovodima u Europskoj uniji regulirana kroz nekoliko ključnih zakonskih akata. U tom smislu važno je spomenuti Direktivu (EU) 2013/30 o sigurnosti odobalnih naftnih i plinskih djelatnosti i Uredbu (EU) 2017/1938 o

mjerama zaštite sigurnosti opskrbe plinom. Kao jedna od posljednjih inicijativa pojavljuje se i Direktiva (EU) 2022/2555 o mjerama za visoku zajedničku razinu kibernetičke sigurnosti širom Unije (NIS2) (European Union, 2022). Između ostalog, njome se osigurava da naftovodi i plinovodi, kao ključni dijelovi energetske infrastrukture, budu zaštićeni od kibernetičkih prijetnji i da mogu održati operativnu sigurnost i otpornost na incidente.

3. PREGLED AKCIDENATA U SUSTAVIMA TRANSPORTA PLINA I NAFTE CJEVOVODIMA

Sustavno prikupljanje podataka o akcidentima provodi se u svijetu veći dugi niz godina od strane različitih organizacija, a tako prikupljeni podaci predstavljaju temelj za razvoj strategija prevencije i poboljšanja sigurnosnih standarda. Integracija povijesnih podataka pomaže u donošenju odluka o upravljanju rizicima, što je ključno za sigurnost u industriji.

U okviru izrade diplomskog rada pregledane su i u nastavku poglavlja opisane različite, javno dostupne baze podataka o akcidentima na cjevovodima. Osim podataka koji obuhvaćaju akcidente izazvane ljudskim djelovanjem ili tehničkim neispravnostima sustava, analizirani su i podaci o akcidentima uzrokovanim prirodnim opasnostima („natech“), u svrhu dobivanja dodatnih informacija koje bi pomogle u ispravnom identificiranju uzroka akcidenata.

3.1. Baza podataka eNatech

Europska unija, putem portala Europa.eu (<https://enatech.jrc.ec.europa.eu/>) održava eNatech bazu podataka, kao ključni alat za prikupljanje i analizu podataka o tzv. „natech akcidentima“, tj. tehnološkim akcidentima uzrokovanih prirodnim katastrofama. Uključuje događaje u kojima industrijski akcidenti nastaju uslijed prirodnih sila poput potresa, poplava ili oluja, a koji rezultiraju istjecanjem opasnih materijala. Navedena baza podataka pruža informacije o uzrocima i utjecaju akcidenta, ali i poduzetim radnjama za saniranje posljedica. Osnovna svrha baze je poboljšati razumijevanje rizika vezanih za ove akcidente, pomoći u razvoju učinkovitijih strategija prevencije i odziva na neželjene događaje, te podržati izradu politika koje povećavaju otpornost industrijskih postrojenja na prirodne katastrofe. S obzirom na otvoreni pristup, predstavlja lako dostupan i vrijedan alat za istraživače, stručnjake i donositelje odluka kod upravljanja rizicima (European Commission, 2024).

Sustavno istraživanje „natech“ događaja započinje krajem 1970-ih godina, a s obzirom na sve veći broj ovakvih akcidenta diljem svijeta, ono postaje sve značajnije. Početna istraživanja bila su prvenstveno usmjerena na potrese kao glavne okidače „natech“ događaja. Kasnije su se istraživanja proširila na hidrometeorološke opasnosti poput poplava, oluja i uragana, kao i na složene višestruke opasnosti te međusektorska pitanja,

što je omogućilo dublje razumijevanje složenosti „natech“ rizika (European Commission, 2024).

Natech baza podataka trenutno sadrži 13 slučajeva vezanih uz akcidente na plinovodima, koji su zabilježeni u periodu od 1979. do 2017. godine. Analiza ovih slučajeva pokazuje da su najčešći uzrok akcidenata bila klizišta (engl. *Landslide*) (61,55 %) koja su dovela do oštećenja infrastrukture, uključujući ispuštanje opasnih tvari u okoliš i druge povezane nesreće, slijede potresi (engl. *Earthquake*), koji su uzrokovali 23,05 % akcidenta, potom munje (engl. *Lightning*), koje su uzrokovale 7,7 % akcidenata, te poplave (engl. *Flooding*), koje su bile uzrok za njih 7,7 %. Ovi podaci naglašavaju važnost procjene seizmičkih rizika i implementacije odgovarajućih sigurnosnih mjera u postrojenjima koja se nalaze u seizmički aktivnim područjima (European Commission, 2024).

3.2. Baza podataka EGIG

Baza podataka o akcidentima na cjevovodima EGIG (engl. *European Gas Pipeline Accident Data Group*) (<https://www.egig.eu/>) uspostavljena je 1982. godine, od strane šest europskih operatora sustava transporta prirodnog plina. Njena svrha je prikupljanje podataka o nenamjernim ispuštanjima plina u sustavima transporta, radi osiguravanja pouzdanih informacija o učestalosti i vjerojatnosti takvih akcidenta. Od 2010. godine, EGIG prikuplja podatke od strane 17 članova-operatora sustava, obuhvaćajući više od 135 000 km cjevovodne mreže, što čini otprilike polovicu svih plinskih cjevovoda u Europi (*European Gas Pipeline Accident Data Group* [EGIG], 2020).

Glavni operatori koji sudjeluju u prikupljanju i analiziranju podataka o akcidentima te su odgovorni za implementaciju sigurnosnih mjera kako bi smanjili rizik od nesreća u transportnim plinskim sustavima plina u EGIG-u su sljedeći: GRTgaz (Francuska), Fluxys (Belgija), National Grid Gas (Ujedinjeno Kraljevstvo), Enagás (Španjolska), Snam (Italija), Gasunie (Nizozemska), ONTRAS (Njemačka), GASCADE (Njemačka), Trans Austria Gasleitung (TAG) (Austrija), OMV Gas (Austrija), Eustream (Slovačka) i Plinovodi d.o.o. (Slovenija) (EGIG, 2020).

U bazu se bilježe podaci o akcidentima samo u slučaju da su ispunjeni kriteriji u smislu materijala (cjevovod je izrađen od čelika), radnog tlaka (maksimalni radni tlak cjevovoda je veći od 15 bara) te lokacije (kopneni cjevovodi, smješteni izvan ograde plinskih postrojenja). Akcidenti moraju rezultirati nenamjernim ispuštanjem plina u okoliš (EGIG, 2020).

Iako sami podaci uneseni u bazu podataka nisu javno dostupni, analitička izvješća, periodički objavljena od strane EGIG-a, sadrže statističke podatke od 1970. godine, kao i histograme o trendovima u sustavima transporta, učestalosti kvarova i posljedicama akcidenta. Uzroci akcidenta grupirani su u šest kategorija: „utjecaj treće strane“ (engl. *External interference*), „korozija“ (engl. *Corrosion*), „greške u izgradnji/kvar materijala“ (engl. *Construction defect / Material failure*), „pogreške prilikom izvođenja radova na aktivnom cjevovodu - zaobilaženja oštećenog dijela cijevi“ (engl. *Hot tap made by error*), „pomak tla“ (engl. *Ground movement*) i „ostalo/nepoznato“ (engl. *Other and unknown*). Akcidenti uzrokovani prirodnim opasnostima (kao npr. klizišta, poplave i erozija) uključeni su u kategoriju pomaka tla, koja također obuhvaća accidente uzrokovane drugim faktorima koji rezultiraju pomakom tla, poput eksploatacije mineralnih sirovina i pucanja nasipa. Udar munje uključen je u kategoriju „ostalo/nepoznato“ (EGIG, 2020).

Učestalost akcidenta računa se dijeljenjem broja akcidenata s izloženošću. EGIG-ov izvještaj pruža dvije vrste učestalosti akcidenata, primarnu i sekundarnu, koje se odnose na pojmove ukupne i djelomične izloženosti. Kategorije EGIG-ovog izvještaja definirane su u nastavku (EGIG, 2020):

- **Izloženost (I)** je dana umnoškom duljine cjevovoda i trajanja izlaganja. Izražena je u kilometrima-godinama [km · god] (Jedn. 2-1).

$$I [\text{km} \cdot \text{god}] = l [\text{km}] \cdot t [\text{god}] \quad (2-1)$$

gdje je:

l= duljina cjevovoda, km

t= trajanje izlaganja, god

Slijedom navedenog, ako stalna duljina transportnih cjevovoda tijekom pet godina iznosi 1000 km, njena izloženost tada iznosi 5 000 km · god.

- **Ukupna izloženost** sustava je izloženost izračunata za cjelokupni sustav.
- **Djelomična izloženost** sustava je izloženost izračunata po razredu određenog konstrukcijskog parametra, npr. po razredu promjera ili po razredu dubine ugradnje, odnosno pokrova tla.
- **Petogodišnji pokretni prosjek** uveden je kako bi se ilustrirali trendovi. Petogodišnji pokretni prosjek za trenutnu godinu znači da su u izračun uključeni podaci prethodnih pet godina.

- **Interval pouzdanosti** pokazuje raspon unutar kojeg se, s određenom sigurnošću, nalazi stvarna vrijednost nekog parametra. Interval pouzdanosti od 95 % za učestalost kvarova označava 95 %-tnu sigurnost da se stvarna učestalost kvarova nalazi unutar tog raspona.
- **Primarna učestalost kvarova** (F_{pr}) izračunava se kao omjer broja akcidenta unutar određenog razdoblja i ukupne izloženosti sustava u tom razdoblju (Jedn. 2-2).

$$F_{pr} = \frac{N_a}{UI} \quad (2-2)$$

gdje je:

F_{pr} = primarna učestalost kvarova

N_a = broj akcidenta

UI = ukupna izloženost

- **Sekundarna učestalost kvarova** (F_{sec}) izračunava se dijeljenjem broja akcidenta s djelomičnom izloženošću sustava. Odnosi se na izloženost povezanu s jednom klasom promjera cjevovoda (Jedn. 2-3).

$$F_{sec} = \frac{N_a}{DI} \quad (2-3)$$

gdje je :

F_{sec} = sekundarna učestalost kvarova

N_a = broj akcidenta

DI = djelomična izloženost

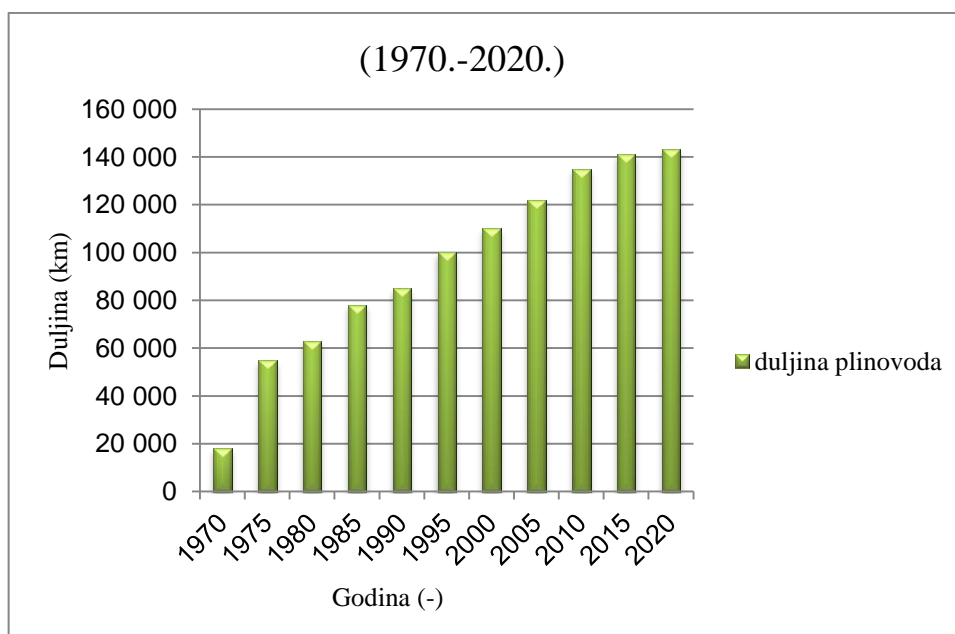
Operatori sustava transporta plina u bazu dostavljaju podatke o akcidentima na godišnjoj razini. Ukupna izloženost, koja izražava duljinu plinovoda i njegovo razdoblje rada, iznosi 4,84 milijuna kilometar-godina. U razdoblju od 1970. do 2019. godine, u bazi podataka EGIG-a zabilježeno je 1411 akcidenta na plinovodima. Ukupna učestalost kvarova vezanih uz materijal cjevovoda tijekom tog razdoblja iznosi 0,29 akcidenta godišnje na 1 000 km, dok je u 2019. godini petogodišnja pokretna prosječna učestalost za istu kategoriju iznosila 0,126 na 1000 km cjevovoda. Iako je učestalost kvarova opadala tijekom godina, u posljednje vrijeme dolazi do stabiliziranja.

Prema posljednjim obrađenim podacima, korozija cjevovoda pokazuje istu stopu učestalosti kao i utjecaj treće strane, iako su generalno posljedice akcidenta uzrokovanih korozijom manje ozbiljne. U posljednjih deset godina, utjecaji treće strane činili su 27 % prijavljenih akcidenta na plinovodima, korozija je bila uzrok kod također njih 27 %, dok su

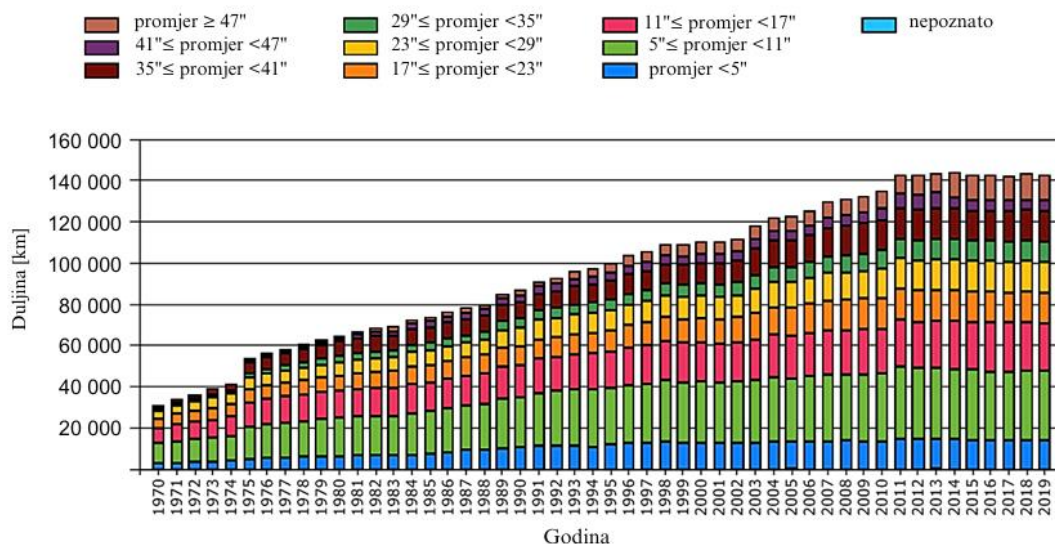
kategorije akcidenata uzrokovanih pogreškama u izgradnji i pomicanjem tla sudjelovale sa 16 % (EGIG, 2020).

3.2.1. Stanje plinskog transportnog sustava u Europi

U posljednjih nekoliko godina, ukupna duljina europskog sustava transporta plinovodima praćena od strane organizacije EGIG nije se bitnije mijenjala. Razvoj ukupne duljine sustava prikazan je na Slici 3-1. Vidljivo je kontinuirano širenje infrastrukture za razvoj plina tijekom promatranog pedesetogodišnjeg razdoblja, sa 18 000 km cjevovoda 1970. godine, na preko 140 000 km cjevovoda 2020. godine (EGIG, 2020). Klase cjevovoda raspona promjera od 127 mm do 280 mm (5"-11") i od 280 mm do 432 mm (11" - 17") i dalje su najčešće korištene (Slika 3-2).

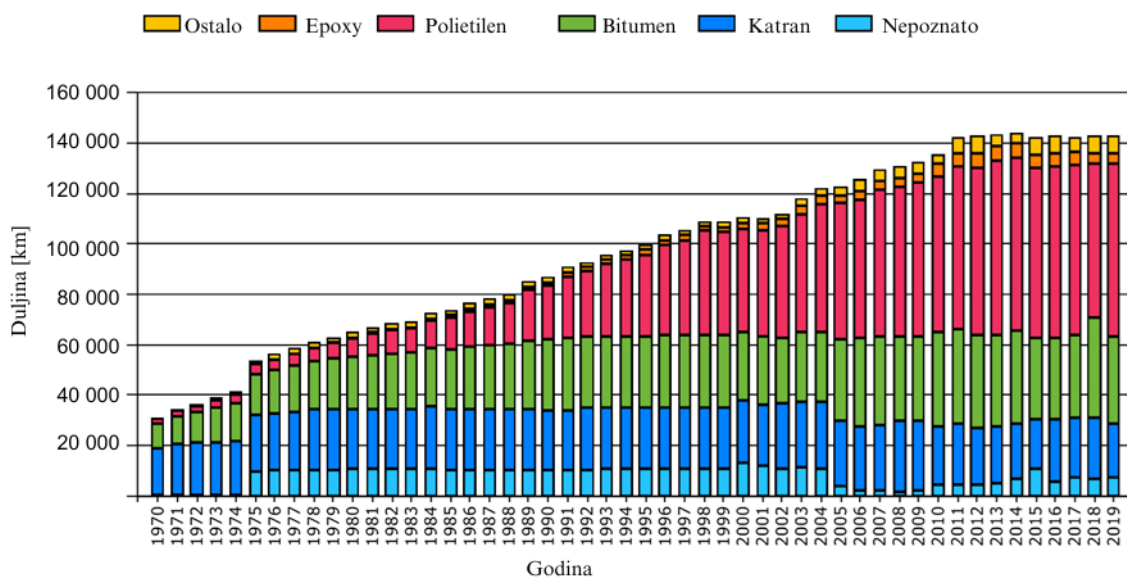


Slika 3-1. Prikaz ukupne duljine plinovoda u Europi (izrađeno prema EGIG, 2020)



Slika 3-2. Udio pojedinih promjera u ukupnoj duljini cjevovoda (EGIG, 2020)

Sukladno podacima baze EGIG, katran, bitumen i polietilen predstavljaju najčešće korištene premaze, pri čemu polietilen vidljivo dominira. U posljednjim desetljećima kod većine novih cjevovoda korišteni su polietilenski premazi (Slika 3-3; EGIG, 2020).

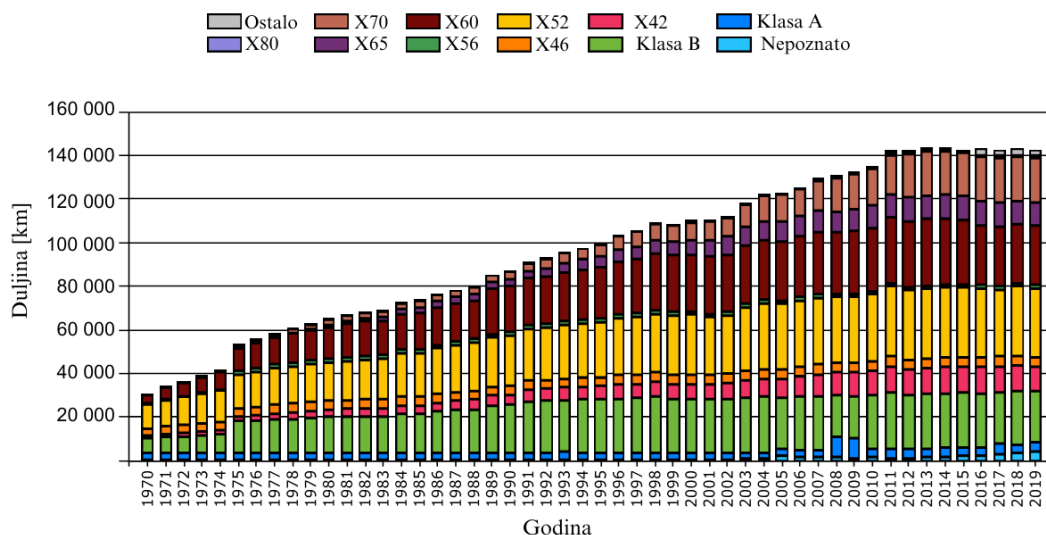


Slika 3-3. Zastupljenost cjevovoda prema korištenim premazima (EGIG, 2020)

EGIG-ova baza podataka je organizirana prema ekvivalentnim razredima standarda API 5L. Standard API 5L definira nekoliko razreda čeličnih cijevi, i to prema minimalnoj vlačnoj čvrstoći i minimalnoj granici tečenja. To znači da materijal cjevovoda može biti razreda A, B ili višeg stupanja označen s X, praćen brojem koji specificira granicu tečenja materijala cjevovoda, iskazanim u funtama po kvadratnom inču (engl. *Pound per Square Inch*, psi). Klasa A, koja je korištena kod starijih cjevovoda, predstavlja osnovni razred

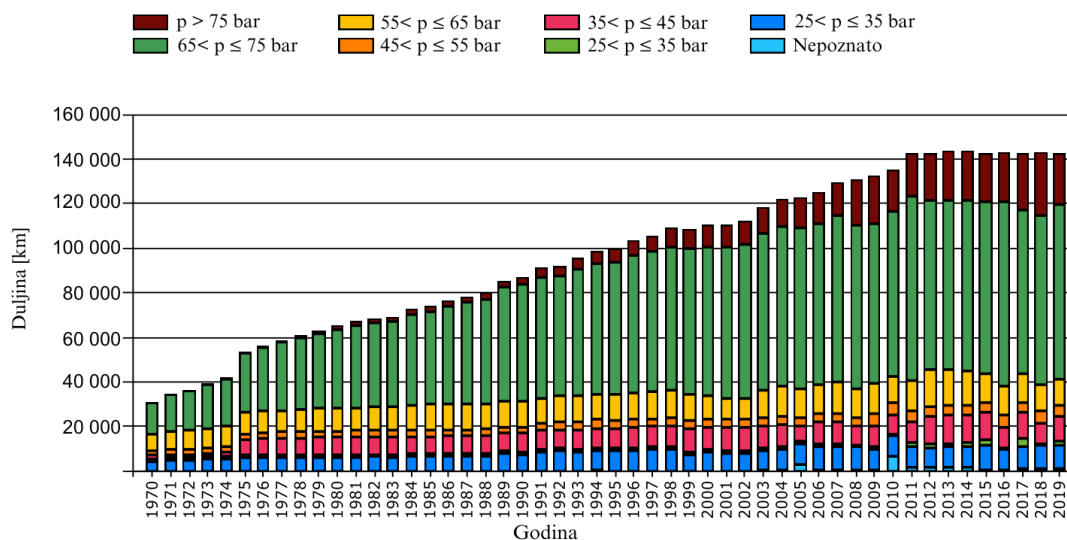
prema API 5L specifikaciji. Ima relativno nižu granicu tečenja i vlačnu čvrstoću u usporedbi s drugim razredima. Razred B se i dalje primjenjuje za nove cjevovode, osobito za one s manjim promjerima.

Kao najzastupljeniji čelici kod izgradnje plinovoda ističu se B, X52, X60 i X70. Trenutno, X52 čini oko 22 %, X60 oko 18 %, a X70 i klasa B podjednako su zastupljeni, s otprilike 15 % u ukupnoj duljini postavljenih cjevovoda (Slika 3-4).



Slika 3-4. Zastupljenost pojedinih razreda API 5L standarda (EGIG, 2020)

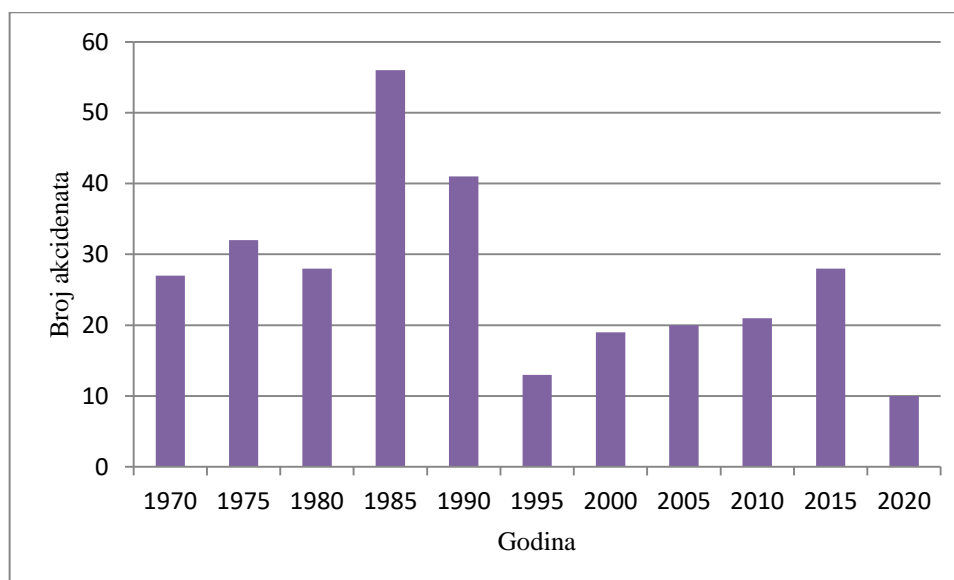
Slika 3-5. prikazuje promjene u duljini plinovoda u kilometrima u promatranom periodu od 1970. do 2019. godine, razvrstane prema radnom tlaku. Trenutno, radni tlak za oko 55 % plinovoda nalazi se unutar 65 do 75 bara. Slijede plinovodi s radnim tlakom preko 75 bara (15 %), te preostali plinovodi s radnim tlakom ispod 65 bara (30 %). Posebno je zapažen porast zastupljenosti plinovoda s višim tlakovima (iznad 65 bara), što prikazuje tehnološki napredak i potrebu za većim transportnim kapacitetima (EGIG, 2020).



Slika 3-5. Prikaz zastupljenosti plinovoda prema radnom tlaku (EGIG, 2020)

3.2.2. Trendovi broja akcidenta, primarne i sekundarne učestalosti kvarova

Kroz analizu učestalosti pojave akcidenta moguće je bolje razumjeti razinu sigurnosti sustava te identificirati ključna područja za poboljšanje i prevenciju akcidenta. U zadnjem objavljenom, desetom izvještaju EGIG-a (EGIG, 2020), zabilježeno je 1411 akcidenata za razdoblje od 1970. do 2019. godine. Slika 3-6. prikazuje zamjetan padajući trend u ukupnom broju incidenata u promatranom periodu od 1970. do 2020. godine.

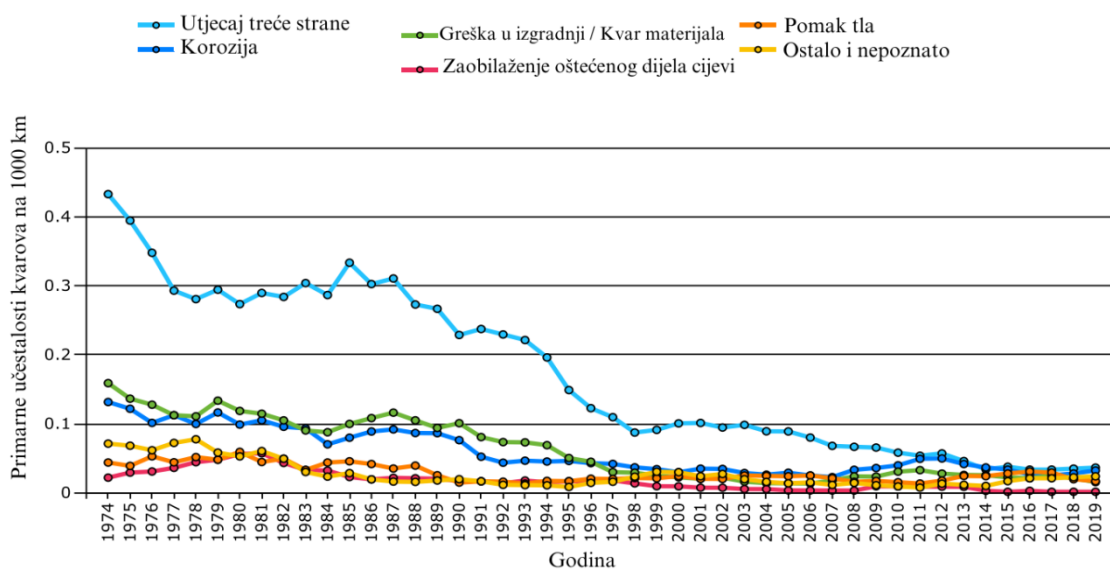


Slika 3-6. Broj akcidenta po godinama (izrađeno prema EGIG, 2020)

Provedena je i usporedba primarne učestalosti kvarova za različita razdoblja, uključujući period od 1970. do 2019. godine, razdoblja obuhvaćena prethodnim EGIG izvještajima, kao i razdoblja od posljednjih 40, 30, 20, 10 i 5 godina (EGIG, 2020). U

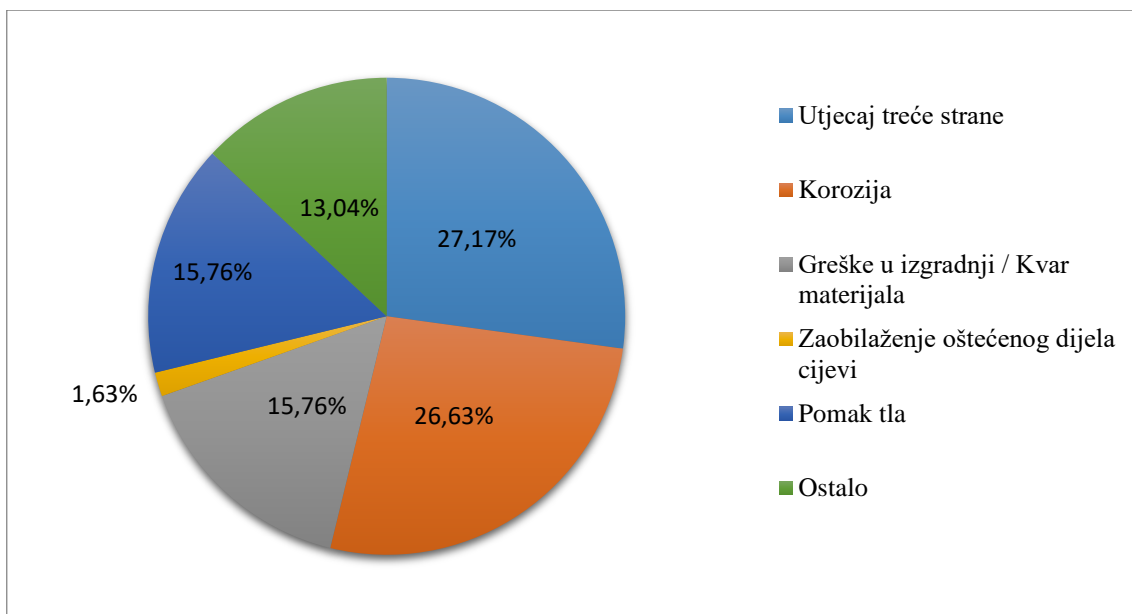
2019. godini, primarna učestalost kvarova iznosila je 0,29 na 1 000 km god, što je niže u odnosu na prosječnu učestalosti kvarova u razdoblju od 1970. do 2018., koja je iznosila 0,31 na 1000 km·god. Primarna učestalost kvarova u posljednjih pet godina iznosila je 0,13 na 1000 km·god., što ukazuje na poboljšanje u performansama tijekom posljednjih godina. (EGIG, 2020).

Prisutan je opći trend smanjenja učestalosti kvarova na plinovodima kroz desetljeća, posebno u kategorijama utjecaja treće strane i korozije, što ukazuje na uspješnost mjera prevencije i poboljšanja tehnologije (Slika 3-7).



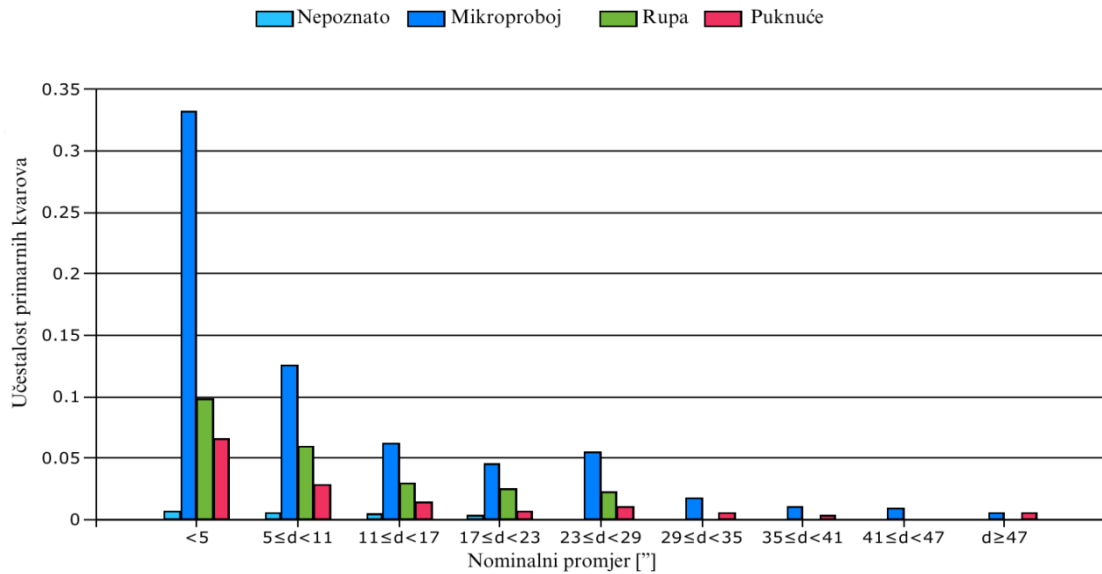
Slika 3-7. Trend smanjenja učestalosti kvarova (EGIG, 2020)

Na Slici 3-8. prikazana je raspodjela akcidenta prema njihovom uzroku, tijekom posljednjih 10 godina. Akcidenti uzrokovani korozijom i vanjskim utjecajima zastupljeni su gotovo podjednako, s 27 % u ukupnoj sumi. Uspoređujući izračunate učestalosti kvarova po pojedinim kategorijama za 2009. i 2019. godinu, zaključuje se kako je učestalost akcidenta uzrokovanim trećom stranom smanjena sa 0,07 na 0,04 na 1000 km·god, dok je učestalost ostalih kategorija uzroka akcidenta ostala gotovo nepromijenjena (EGIG, 2020).



Slika 3-8. Raspodjela akcidenta prema uzrocima u periodu 2009. - 2019. (izrađeno prema EGIG, 2020)

Izračun sekundarne učestalosti kvarova provodi se prema ranije navedenoj jednadžbi 3-3, a kako bi se uzeli u obzir utjecaji projektiranih parametara (tlak, promjer, dubina pokrova itd.) na učestalost kvarova prema uzroku akcidenta i vrsti veličine propuštanja (EGIG, 2020). Slika 3-9. prikazuje sekundarnu učestalost kvarova s obzirom na promjer cjevovoda. Cjevovodi s vanjskim promjerom manjim od 127 mm (5 in.) pokazuju najvišu sekundarnu učestalost kvarova. Kako se promjer cijevi povećava, učestalost kvarova opada, s vrlo niskom učestalosti kvarova za vanjske promjere cjevovoda veće od 889 mm (35 in.).



Slika 3-9. Sekundarna učestalost kvarova s obzirom na promjer cjevovoda za period 2009. - 2019. (EGIG, 2020)

3.3. Baza podataka CONCAWE

Grupa za upravljanje naftovodima CONservation of Clean Air and Water in Europe (CONCAWE) (<https://www.concawe.eu/>) osnovana je 1963. godine, od strane nekoliko vodećih naftnih kompanija, s ciljem istraživanja okolišne problematike relevantne za naftnu industriju (Concawe, 2010a) odnosno accidente propuštanja naftovoda. Tijekom vremena, njezino članstvo se proširilo i sada uključuje većinu naftnih kompanija koje posluju u Europi, sa 43 člana koji predstavljaju gotovo cjelokupni kapacitet prerade sirove nafte u Europskoj uniji (Concawe, 2010b).

Opseg aktivnosti CONCAWE-a postupno se proširio u skladu s rastućom društvenom svijesti o pitanjima zaštite okoliša, zdravlja i sigurnosti te trenutno obuhvaća i performanse međunarodnih naftovoda. U tu svrhu, CONCAWE prikuplja podatke o akcidentima istjecanja nafte na naftovodima u Europi od 1971. godine, posebno obraćajući pažnju na uzroke akcidenta, volumen izlivanja, postupke sanacije te posljedice koje su ovi akcidenti imali na okoliš (Concawe, 2020).

Geografsko područje obuhvaćeno inventarom CONCAWE-a uključuje zemlje Zapadne Europe OECD-a (18 osnivačkih zemalja), Češku, Mađarsku, Slovačku i Hrvatsku. Poput baze podataka EGIG, niti baza podataka CONCAWE nije javno dostupna. Ipak, u okviru godišnjih izvješća koje CONCAWE kontinuirano objavljuje od 1971. godine, dostupne su

informacije niske razlučivosti, bez navedenih točnih lokacija i vremena događaja (Concawe, 2020).

U bazu podataka CONCAWE bilježe se akcidenti na magistralnim i međunarodnim naftovodima koji se koriste za transport sirove nafte ili naftnih derivata, a čija je duljina minimalno dva kilometra. Baza podataka ne obuhvaća podmorske naftovodne sustave, kao niti terminale i spremnike, ali uključuju crpne stanice, te međuspremničke kapacitete. Također, u bazu se prijavljuju samo oni akcidenti kod kojih je izlivena količina ugljikovodika veća od 1 m³, no u slučaju značajnijih sigurnosnih ili okolišnih posljedica, prijavljuju se i slučajevi koji su rezultirali manjim izlivenim količinama.

U zadnjem godišnjem izvješću CONCAWE-a (Concawe, 2024) navodi se ukupno 35 307 km cjevovoda za transport sirove nafte i rafiniranih proizvoda u Europi, kojima upravlja 68 organizacija (kompanija i agencija). Taj se broj uglavnom održavao konstantnim kroz godine, budući da je utjecaj novih operatora koji su se pridružili nadoknađen kroz različita spajanja.

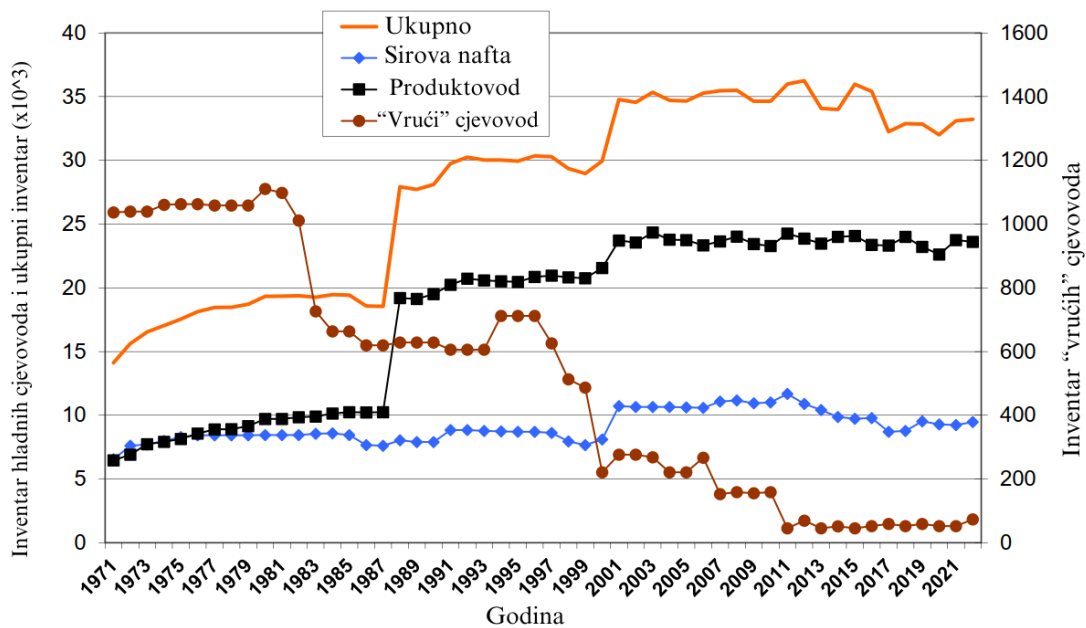
U kontekstu izvješća organizacije CONCAWE, cjevovodi su podijeljeni u kategorije:

Cjevovodi za transport sirove nafte (engl. *Crude*) koriste se za transport sirove nafte.

„Vrući“ cjevovodi (engl. *Hot Pipelines*) su cjevovodi dizajnirani za transport fluida koji zahtijevaju održavanje na povišenim temperaturama kako bi ostali u tekućem stanju. Ovi cjevovodi se koriste za transport teških goriva, maziva, voskova i drugih viskoznijih tekućina koje se pri nižim temperaturama mogu postati previše viskozne za učinkoviti transport. Sustavi za grijanje često se koriste za održavanje potrebne temperature medija, osiguravajući tako kontinuirani protok fluida kroz cjevovod (Xu et al., 2020).

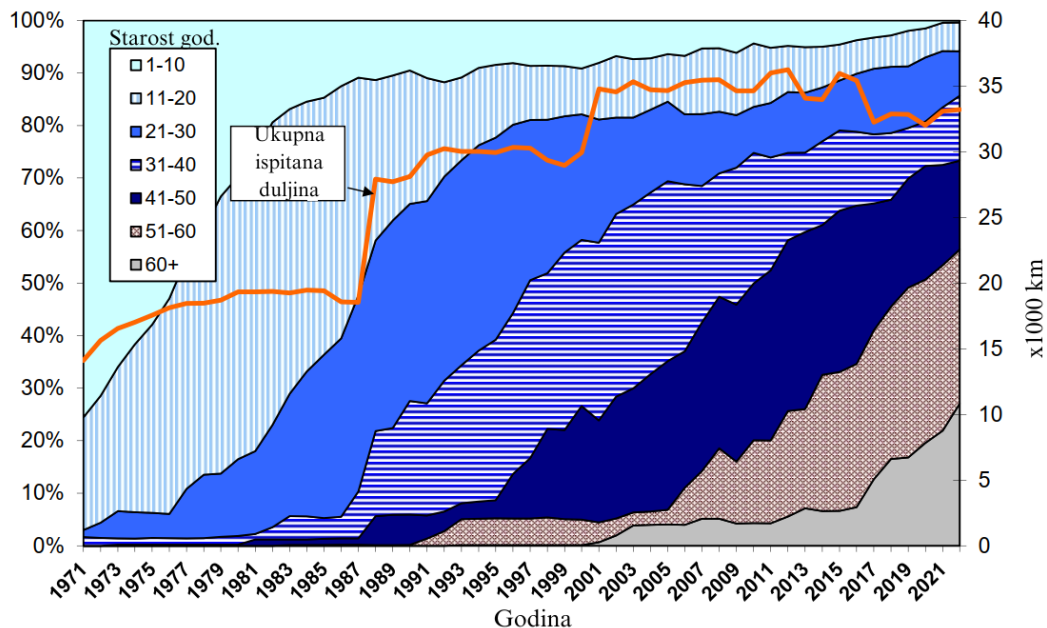
Produktovodi (engl. *Products*) se odnose na cjevovode koji se koriste za transport različitih naftnih derivata. Ovi cjevovodi kategorizirani su prema svojoj funkciji i materijalima koje transportiraju (Energy Connections Canada, 2023).

Slika 3-10. prikazuje postojeće stanje europskih cjevovoda prema navedenim kategorijama. Cjevovodi za transport sirove nafte i rafiniranih proizvoda čine većinu europske naftovodne mreže. Od ukupno 278 sekcija cjevovoda (11 848 km) koje su izvan upotrebe od 1971. godine, njih 25 (1160 km) odnosilo se na „vruće“ cjevovode (Concawe, 2024).



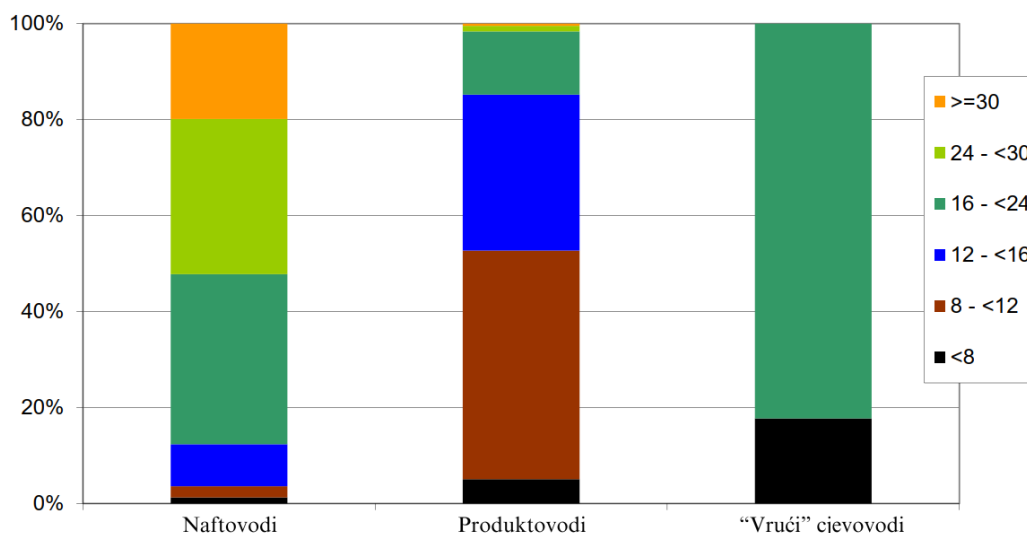
Slika 3-10. Concawe inventar naftovoda (Concawe, 2024)

Kada je 1971. godine provedeno prvo istraživanje CONCAWE-a, mreža cjevovoda bila je relativno nova, tj. oko 70 % cjevovoda bilo je mlađe od deset godina. Najstariji cjevovodi tada su imali oko 30 godina i činili su tek mali dio inventara (Concawe, 2024). Starost cjevovoda za period do 2021. godine prikazuje Slika 3-11. Danas prosječna starost cjevovodnog sustava iznosi 40 godina. Narančasta linija, koja prati udio cjevovoda starijih od 40 godina, ukazuje na kontinuirani rast, što direktno povlači brojne izazove u održavanju i sigurnosti (Concawe, 2024).



Slika 3-11. Ukupni profil starosti naftovoda (Concawe, 2024)

Slika 3-12. pokazuje postojeću situaciju prema veličini vanjskog promjera cjevovoda za svaku kategoriju namjene cjevovoda. U osnovi, promjeri cjevovoda za transport sirove nafte su značajno veći od promjera „vrućih“ cjevovoda i produktovoda. Gotovo 90 % cjevovoda za transport sirove nafte ima nazivni promjer ≥ 400 mm (DN 400, 16 in.), dosežući maksimum od 1100 mm (DN 1100, 44 in.). Oko 85 % produktovoda s nazivnim je promjerom manjim od 400 mm (DN400, 16 in.), dok je najmanji promjer produktovoda 150 mm (DN 150, 6 in.). Preko 80 % „vrućih“ cjevovoda ima promjer manji od 600 mm (DN 600, 24 in.) dok najveći promjeri ovih cjevovoda iznose 500 mm (DN 500, 20 in.) (Concawe, 2024).



Slika 3-12. Distribucija promjera europskih naftovodnih cjevovoda (u inčima) u 2022. (Concawe, 2024)

3.3.1. Pregled i analiza akcidenata prijavljenih u bazu CONCAWE

Tijekom 52 godine izvještavanja prema bazi CONCAWE, zabilježeno je ukupno 14 smrtnih slučajeva u pet akcidenta na cjevovodima (1975., 1979., 1989., 1996. i 1999.). Većina smrtnih slučajeva desila se uslijed požara koji je uslijedio nakon izlivanja transportiranih opasnih tvari (Concawe, 2024).

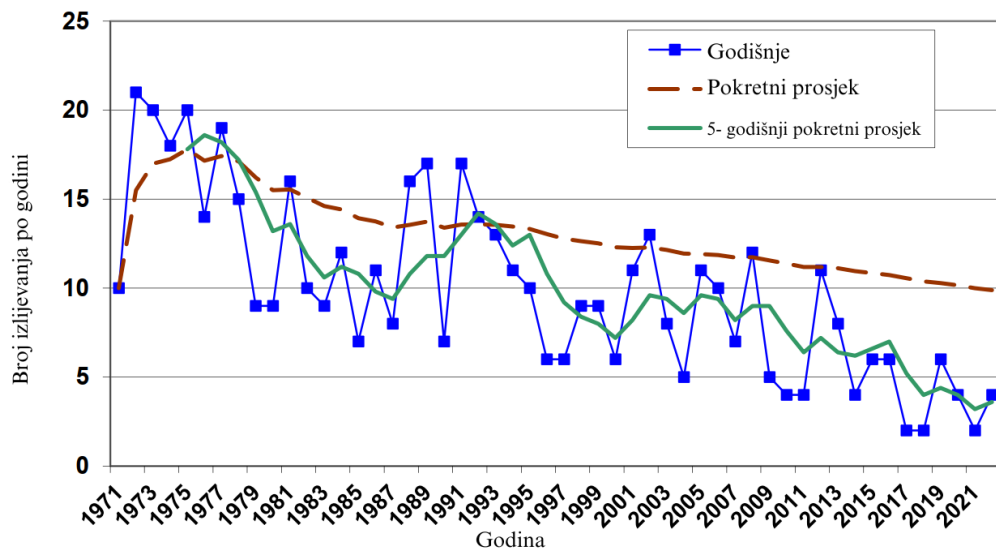
U promatranom razdoblju ukupno su prijavljene tri ozljede, i to dvije 1988. godine i jedna 1989. godine, uzrokovane udisanjem toksičnih tvari, kao i jedna ozljeda treće strane, 2006. godine. U 2022. godini nisu zabilježeni smrtni slučajevi ili ozljede povezane s akcidentima izlivanja iz cjevovoda (Concawe, 2024).

Također, u promatranom pedesetvogodišnjem razdoblju izvještavanja zabilježeno je ukupno 789 akcidenta izlivanja. Uzroci izlivanja tradicionalno se klasificiraju u pet kategorija: „mehanički kvar“ (engl. *Mechanical*), „operativni uzroci“ (engl. *Operational*), „korozija“ (engl. *Corrosion*), „prirodne nepogode“ (engl. *Natural*) i „djelovanje treće strane“ (engl. *3rd party*). Te se kategorije dalje dijele na potkategorije. Pod kategoriju „mehanički kvar“ spadaju: „izgradnja“ i „dizajn i materijali“ (engl. *Design and Materials*), a kao operativni uzorci razlikuju se: „sustav“ i „ljudska pogreška“ (engl. *System and Human*). Potkategorije za kategoriju „korozija“ su: „unutarnja“, „vanjska“ i „uzrokovana naprezanjem“ (engl. *Internal, External, Stress orrosion cracking*), potkategorije za prirodne nepogode su: „pomicanje tla“ i „ostalo“ (engl. *Ground movement and Other*), a

kod djelovanja treće strane razlikuju se potkategorije: „slučajno“, „posredno“ i „namjerno“ (engl. *Accidental, Incidental and Intentional*) (Concawe, 2024).

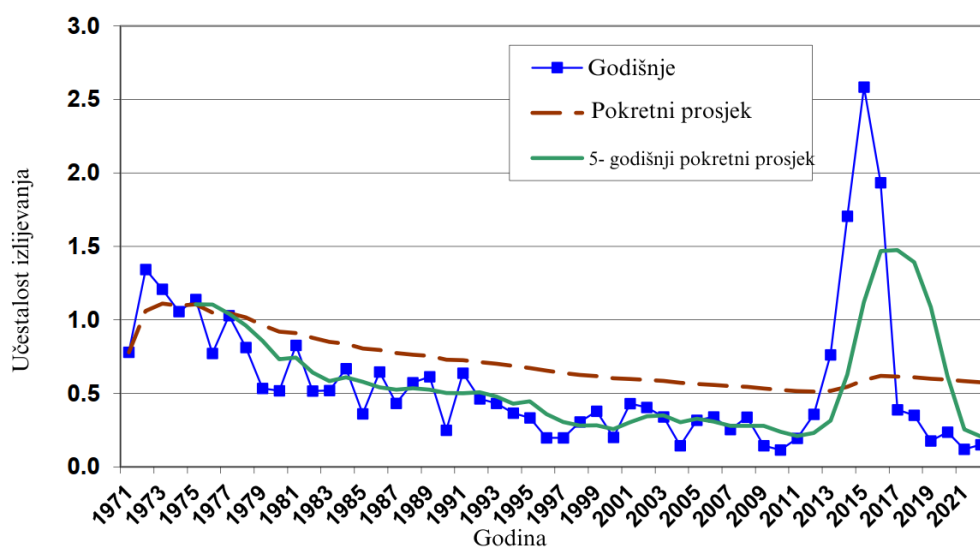
3.3.2. Pregled izlivanja za period 1971.- 2022.

Slika 3-13. pokazuje ukupni petogodišnji pokretni prosjek broja izlivanja koji ne uključuje ilegalne priključke. Isti je smanjen s oko 18 izlivanja godišnje, koliko je bilo zabilježeno ovih akcidenata u ranim 1970-ima, na 4 izlivanja u 2022. godini, što ukazuje na poboljšanje u kontroli integriteta cjevovoda u industriji.



Slika 3-13. Petogodišnji pokretni prosjek izlivanja (Concawe, 2024)

Učestalost akcidenata izlijevanja opasnih tvari u okoliš zbog puknuća cjevovoda, tj. broj izlijevanja po jedinici duljine cjevovoda, pokazuje da je 5-godišnji pokretni prosjek učestalosti izlijevanja pao s oko 1,1 izlijevanja godišnje na 1000 km cjevovoda, koliko je iznosio sredinom '70-ih na 0,09 izlijevanja godišnje na 1000 km cjevovoda u 2022. godini (Slika 3-14.; Concauwe, 2024).



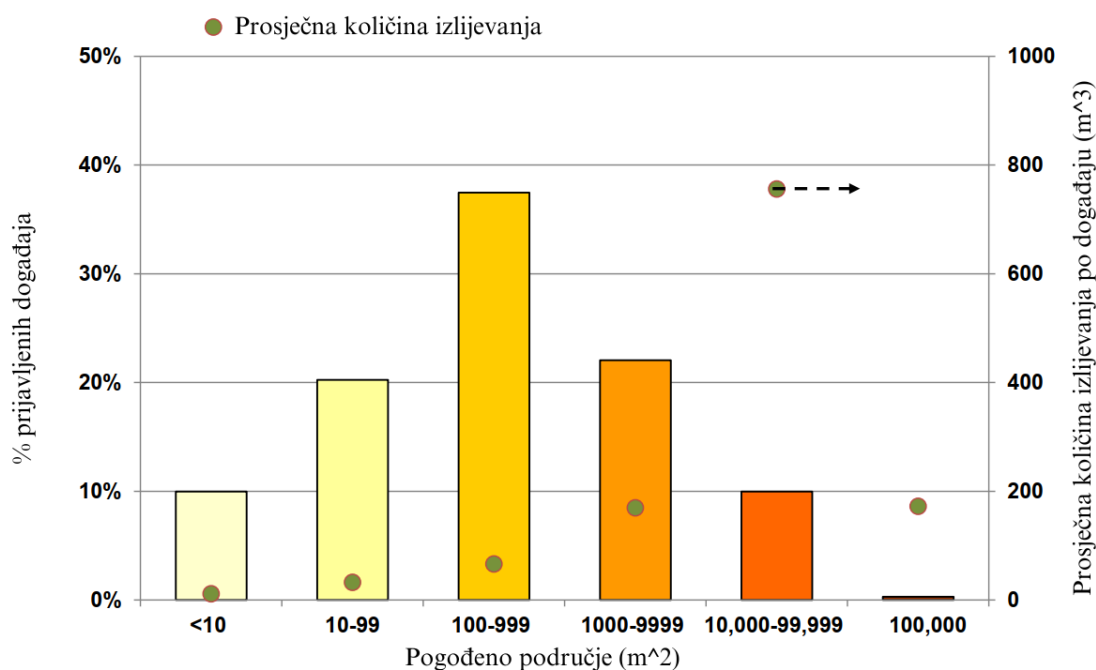
Slika 3-14. Učestalost akcidenata izlijevanja (Concauwe, 2024)

Ukupni godišnji volumen izlijevanja nafte i opasnih tvari pokazuje značajne fluktuacije tijekom godina, ali opći trend ukazuje na smanjenje volumena, što se povezuje s boljim upravljanjem i tehnološkim poboljšanjima u radu cjevovoda. Također, u promatranom razdoblju došlo je do smanjenja prosječnog volumena izlivenog medija po akcidentu.

Izlijevanja su se dogodila na prostoru (zemljištu) koji se koristi u različite svrhe, od poljoprivrednih do urbanih područja, a površina zemljišta pogođena izlijevanjem značajno varira. Ove različitosti upućuju na jedinstvene izazove za upravljanje izlijevanjem i sanaciju te naglašavaju potrebu za brzom intervencijom s ciljem minimiziranja površine pogođenog područja radi smanjenja štete na okolišu. Utjecaj na vodna tijela također je značajan i zahtijeva stroge mjere zaštite (Concauwe, 2024).

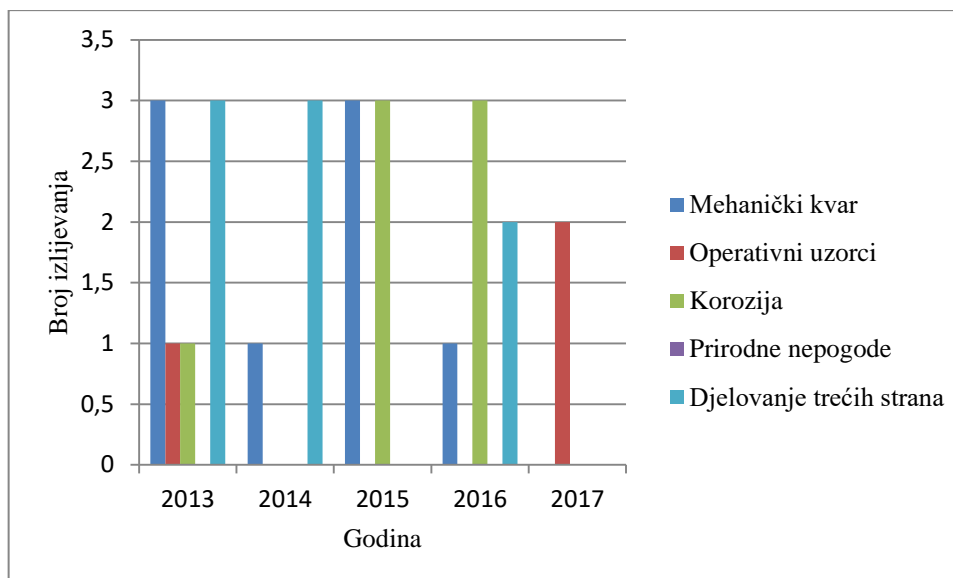
Slika 3-15. prikazuje postotak pojedinih kategorija akcidenata izlijevanja nafte prema veličini pogođenog područja (u m²) i prosječne količine izlijevanja po događaju (u m³), u promatranom periodu od 1983. do 2022. godine. Većina izlijevanja (oko 40 %) zahvatila su područja od 100 do 999 m², dok je najmanje izlijevanja zabilježeno na područjima površine manje od 10 m² i veće od 100 000 m². Također, prosječna količina izlijevanja po

dogadaju naglo raste za događaje koji su zahvatili područja površine od 10 000 do 99 999 m², dosegnuvi oko 800 m³ po događaju, dok je za područja zahvaćena akcidentom u površini većoj od 100 000 m² prosječna količina izlivanja relativno mala (oko 172 m³) (Concawe, 2024).



Slika 3-15. Raspodjela akcidenata na europskoj mreži cjevovoda prema površini zemljišta pogođenog izlivanjem opasnih tvari, u periodu 1983. - 2022. (Concawe, 2024)

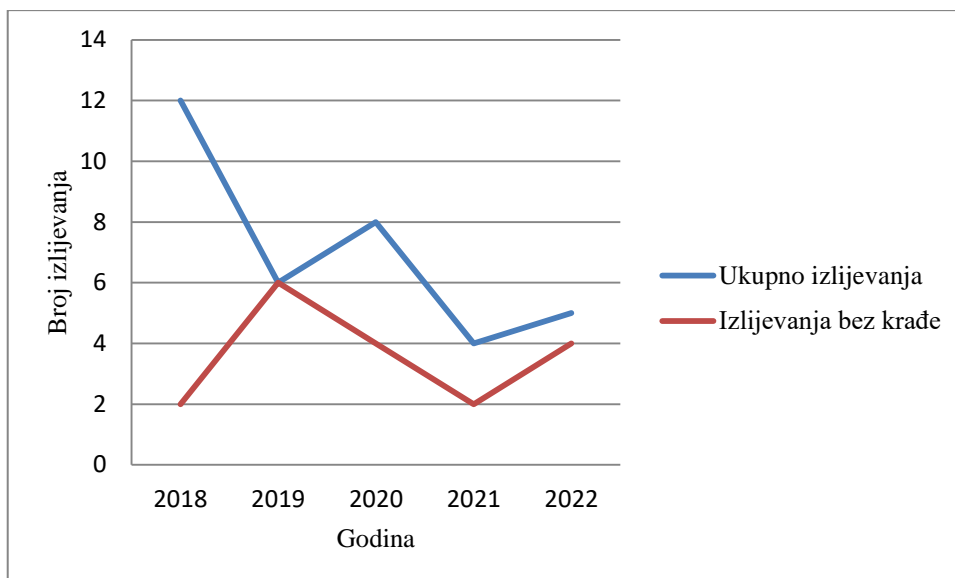
Tijekom 2017. godine prijavljena su samo dva izlivanja koja nisu bila povezana s krađom, oba uzrokovana operativnim kvarom, što je znatno ispod petogodišnjeg prosjeka od 5,2 izlivanja godišnje (razdoblje od 2013. do 2017.). Većina izlivanja u tom razdoblju bila je rezultat pokušaja krađe, ali ti akcidenti su isključeni iz statistike (Slika 3-16.). Ukupna prijavljena bruto količina izlivenog materijala u 2017. godini bila je vrlo niska, samo 33 m³, u usporedbi s prosjekom od 299 m³ za razdoblje od 2013. do 2017. godine (Concawe, 2019).



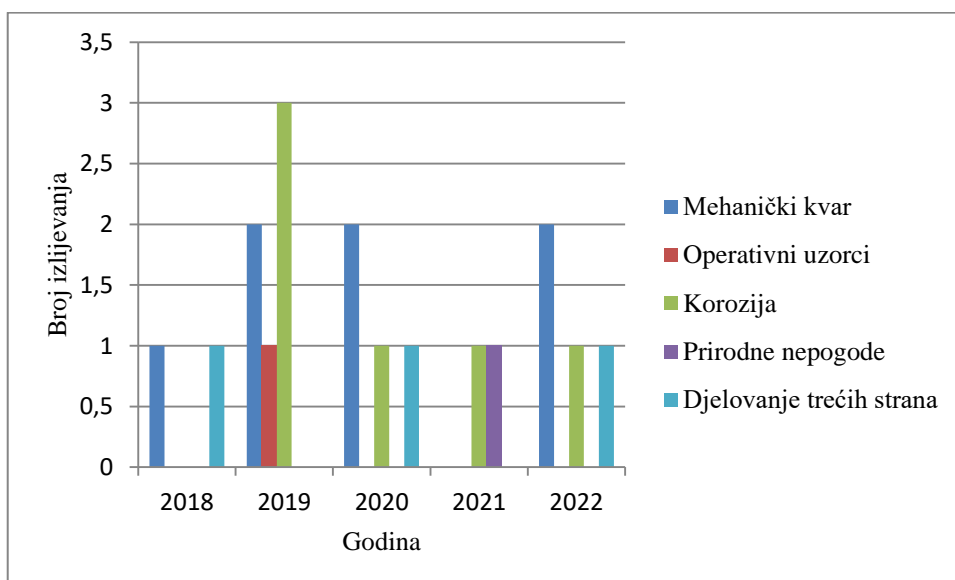
Slika 3-16. Raspodjela izlivanja prema uzorku (bez ilegalnih priključaka na cjevovod) (izrađeno prema Concawe, 2019)

U periodu od 2018. do 2022. godine, izlivanja uzrokovana krađom također su isključena iz statistike kako bi se prikazalo stanje europske cjevovodne mreže, bez namjernih oštećenja.

Broj akcidenata izlivanja nafte iz cjevovoda u 2022. godini (4) veći je od prosječnog broja izlivanja zabilježenog u posljednjih pet godina (3,0), ali je i dalje znatno niži u odnosu na dugoročni prosjek koji iznosi 9,8 izlivanja godišnje. Bruto volumen izljeva prijavljen u 2022. godini iznosi 352 m³, a samo 0,3 % nafte je operabiljeno. Slike 3-17. i 3-18. prikazuju trendove akcidenata izlivanja nafte u razdoblju od 2018. do 2022. godine. Slika 3-17. uspoređuje ukupan broj izlivanja s brojem izlivanja koja nisu uzrokovana krađom. Vidljivo je da je ukupan broj izlivanja znatno smanjen od 2018. do 2019. godine, nakon čega se stabilizirao s manjim oscilacijama do 2022. godine. Broj akcidenata izlivanja koji ne uključuju ilegalne priključke na cjevovod prati sličan trend (Concawe, 2024).

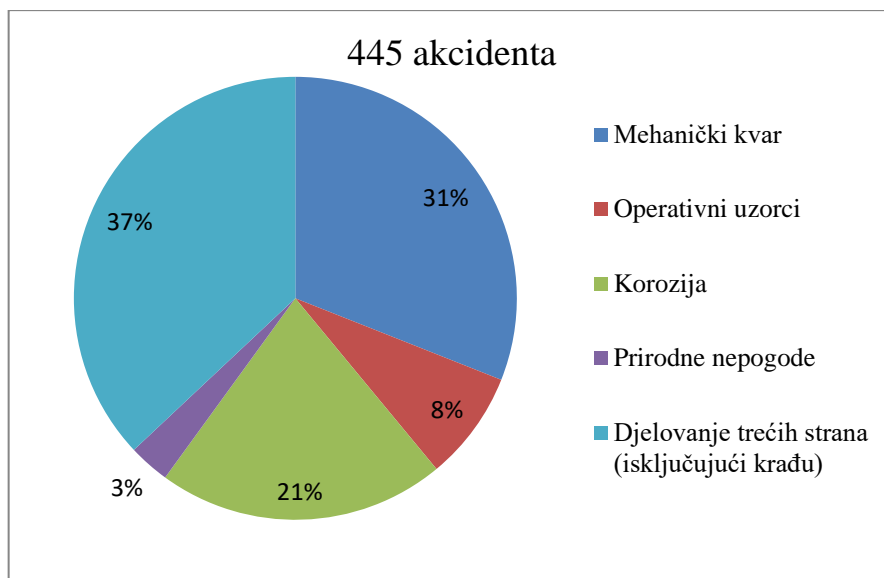


Slika 3-17. Ukupan broj izlivanja u periodu 2018. - 2022. godina (izrađeno prema Concaawe, 2024)

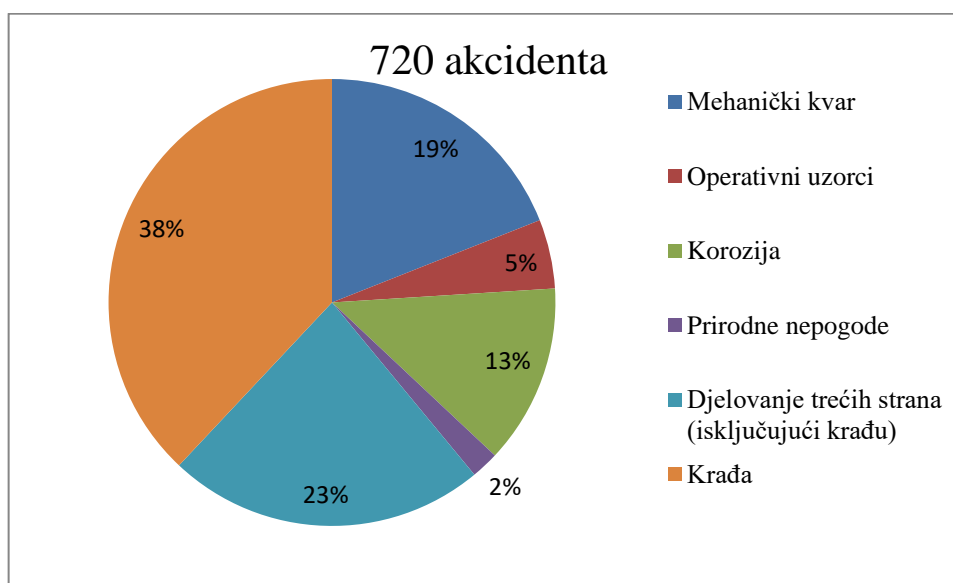


Slika 3-18. Raspodjela izlivanja prema uzorku (bez ilegalnih priključaka na cjevovod) (izrađeno prema Concaawe, 2024)

Uzroci akcidenta izlivanja cjevovoda razlikuju se za „vruće“ cjevovode i naftovode. U slučaju „vrućih“ cjevovoda, izlivanja su uglavnom povezana s korozijom (81 %), dok kod naftovoda kao uzroci prevladavaju mehanički kvarovi (31 %) i djelovanje trećih strana (37 %), pri čemu korozija čini samo 21 % ukupnog broja, sukladno prikazu na Slikama 3-19. - 3-20. (Concaawe, 2024).



Slika 3-19. Grafički prikaz akcidenta propuštanja naftovoda prijavljenih u bazu CONCAWE u periodu 1971. - 2022. (izrađeno prema Concawe, 2024.)



Slika 3-20. Grafički prikaz akcidenta naftovoda (uključujući i krađu) u periodu 1971. - 2022. (izrađeno prema Concawe, 2024.)

Od pet ranije spomenutih glavnih uzroka izlivanja, oštećenja povezana sa starošću cjevovoda imaju važnu ulogu u kategorijama „mehaničkih kvarovi“ i „korozija“.

Mehanički kvarovi. U periodu od 1971. do 2022. godine, zabilježeno je 142 slučaja mehaničkog kvara, što čini 18 % svih događaja izlivanja, ili 28 % kada se isključe krađe, tj. 2,7 izljeva godišnje. Ukupno 54 akcidenta u ovoj kategoriji uzrokovano je pogreškama pri izvođenju građevinskih radova, a njih 88 greškama u dizajnu ili materijalima. Samo četiri događaja mogu se sa sigurnošću povezati s problemom starenja i zamora materijala (Concawe, 2024).

Operativni uzorci. U periodu od 1971. do 2022. godine, zabilježeno je 38 akcidenata izlivanja čiji uzrok je operativni kvar (5 % svih događaja izlivanja, ili 7 % kada se isključe krađe), što predstavlja 0,7 ovih događaja godišnje. Čak njih 27 (71 %) je uzrokovano ljudskim pogreškama, dok je za 11 akcidenata kao uzrok naveden mehanički kvar sustava (Concawe, 2024).

Korozija. U periodu od 1971. do 2022. godine, zabilježeno je 147 akcidenata uzrokovanih korozijom (19 % svih događaja izlivanja, ili 29 % kada se isključe krađe), što znači 2,8 izljeva godišnje. Većina događaja povezana je s aktivnostima „vrućih“ cjevovoda, s time da je unutarnja korozija (30 slučajeva) manje prisutna od vanjske (112 slučajeva). Naftovodi su osjetljiviji na unutarnju koroziju zbog korozivnih svojstava sirove nafte. Također, zabilježena su četiri izljeva povezana s pukotinama uzrokovanim korozijom uslijed napreznja (engl. *stress corrosion*, SCC) (Concawe, 2024).

Prirodne nepogode. U periodu od 1971. do 2022. godine, zabilježeno je 16 akcidenata izlivanja povezanih s prirodnim nepogodama, što čini 2 % svih događaja izlivanja, odnosno 3 % kada se isključe krađe, tj. Ukazuje na prosjek od 0,3 izljeva godišnje. Većina ovih akcidenata uzrokovana je pomicanjem tla. Najmanje 10 izlivanja dogodilo se u istoj zemlji, zbog teškog terena i hidroloških uvjeta (Concawe, 2024).

Djelovanja trećih strana uzrokovala su 445 događaja u periodu od 1971. do 2022. godine, što je prosječno 8,6 događaja godišnje i 56 % svih događaja izlivanja. Od tih događaja, 170 je bilo slučajno, a 275 namjerno izazvano (gotovo isključivo pokušaji krađe). Slučajna oštećenja najčešće su uzrokovana aktivnostima iskapanja tla strojevima, a javljaju se i uslijed nedostatka komunikacije ili pažnje. U 50 % slučajeva, treća strana je bila svjesna prisutnosti cjevovoda, ali nisu obavijestile operativnu tvrtku. Namjerno oštećenje uključuje vandalizam i pokušaje krađe. Iako se broj krađa značajno povećao od 2013. godine, zbog primjene različitih mjera zaštite i od strane operatera i vlada, došlo je do smanjenja broja pokušaja. Akcidenti uzrokovani aktivnostima treće strane mogu se pojaviti i kao latentne greške, tj. akcidenti u kojima je došlo do oštećenja u nekom nepoznatom trenutku tijekom životnog vijeka cjevovoda, što se s vremenom pogoršava i rezultira izlivanjem. Ove događaje CONCAWE svrstava u potkategoriju „slučajna oštećenja“ (Concawe, 2024).

Ostali uzroci. Iako su u periodu od 1971. do 2022. godine zabilježena samo četiri izljeva povezana s pukotinama uzrokovanim napreznjem, ovi izljevi su relativno veliki, zbog težih strukturnih oštećenja ili dugotrajnih materijalnih slabosti (Concawe, 2024).

Izvještaj za 2022. godinu temeljen je na podacima 62 operatera. U 2022. godini, cjevovodima koji su predmet Izvješća CONCAWE, transportirano je otprilike $359 \cdot 10^6$ m³ sirove nafte i $266 \cdot 10^6$ m³ rafiniranih proizvoda. Izlijevanja su prijavile sljedeće kompanije:

- MOL za izlijevanje u Mađarskoj, uzrokovano iskopavanjem
- Cepsa za izlijevanje u Španjolskoj, uzrokovano korozijom
- PKN Orlen za izlijevanje u Poljskoj, uzrokovano korozijom
- Shell za izlijevanje u Ujedinjenom Kraljevstvu, uzrokovano iskopavanjem.

Iako Izvješće ne sadrži pojedinosti o svakom pojedinom akcidentu, izlijevanja koja su se dogodila 2022. godine klasificirana su kao "velika" (>10 m³). Niti jedno od izlijevanja nije utjecalo na površinske niti podzemne vode, a sva su se dogodila na poljoprivrednom zemljištu (Concawe, 2024).

3.4. Baza podataka o akcidentima ARIA

Baza podataka ARIA (engl. *Analysis, Research and Information on Accidents*) (<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>), kojom upravlja francusko Ministarstvo ekologije, održivog razvoja i energetike, prikuplja informacije o odabranim akcidentima u Francuskoj i inozemstvu od 1992. godine, a u svrhu stjecanja znanja na primjerima iz prakse (BARPI, 2013). Obuhvaća nesreće u industrijskim i poljoprivrednim aktivnostima, branama i nasipima te u prijevozu opasnih tvari, što uključuje i informacije o nesrećama na cjevovodima.

Trenutno, ARIA sadrži podatke o preko 40 000 akcidenta, od kojih se oko 37 000 dogodilo u Francuskoj. Nesreće u inozemstvu navode se zbog ozbiljnosti posljedica ili korisnih iskustava. Za svaki akcident dostupan je sažeti opis događaja, uglavnom na francuskom jeziku, a za pojedine akcidente i na engleskom. Baza podataka nudi web-sučelje s detaljnim opcijama pretraživanja akcidenta (ARIA, 2022).

Baza podataka ARIA bilježi 309 akcidenata na francuskim cjevovodima, kao i dodatnih 70 „stranih“ akcidenata, koji su se dogodili u periodu od 2006. do 2014. Ovi događaji uključuju akcidente na čeličnim cjevovodima i na pomoćnim instalacijama poput pumpnih stanica, kompresorskih stanica i stanica za čišćenje.

Kao ozbiljniji primjeri akcidenata sadržanih u bazi ističe se akcident ARIA 44816. Odnosi se na događaj puknuća naftovoda unutarnjeg promjera 760 mm (29,92 in.), kvalitete čelika API 5LX klase X52, koji se dogodio 25. srpnja 2010. godine. Naftovod je pušten u rad 1969. godine, u sklopu Enbridge Mainline sustava, u Marshallu, SAD, čija

duljina iznosi 5000 km, a kojim je transportirana sirova nafta iz Alberta (Kanada) prema SAD-u. Uslijed korozije došlo je do oštećenja cjevovoda u dužini od dva metra. Ova pukotina dogodila se tijekom planirane obustave rada naftovoda. Tijekom gotovo 17 sati istjecanja nafte, u okoliš i rijeku Kalamazoo izlilo se 38 00 m³ sirove nafte (BARPI, 2014).

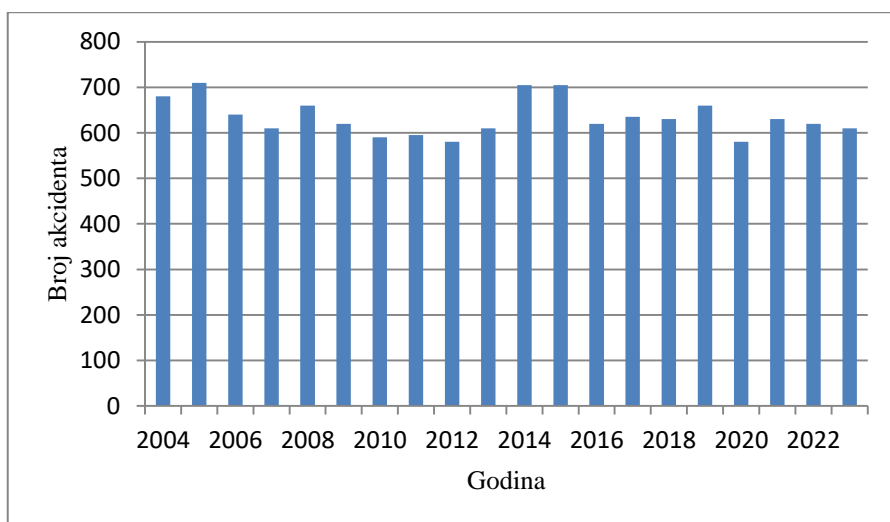
Kao idući značajan primjer ističe se akcident ARIA 43139 koji se dogodio 25. veljače 2012. godine, u rafineriji Rhineland u Wesselingu (Njemačka). Riječ je o najvećoj rafineriji u Njemačkoj s godišnjim kapacitetom prerade sirove nafte od 16 milijuna tona. Došlo je do izlivanja kerozina iz podzemnog cjevovoda unutarnjeg promjera 100 mm (4 in.). Uzrok akcidenta bila je vanjska korozija koja je uzrokovala nastanak otvora od oko 70 mm² u čeličnoj cijevi, dok su znakovi unutarnje korozije bili minimalni. Korozija je najvjerojatnije nastala zbog razlike u elektrokemijskim potencijalima između cjevovoda za otpremu kerozina i obližnje čelične vodovodne cijevi. Tijekom 28 dana trajanja događaja, izliveno je oko 1057 m³ kerozina, kontaminirajući tlo u površini od oko 50 000 m². Srećom, obližnji izvor pitke vode nije bio zahvaćen onečišćenjem, s obzirom da je lokacija nizvodno u odnosu na smjer toka podzemne vode. Sanacijom je iz tla uklonjeno oko 280 m³ kerozina. Nakon akcidenta, poduzete su mjere poput instalacije sofisticiranog sustava za otkrivanje ispuštanja, redovitih testiranja nepropusnosti, dnevnih pregleda cjevovoda i zamjene čelične vodovodne cijevi plastičnom kako bi se smanjila mogućnost korozije (BARPI, 2015).

3.5. Baza podataka PHMSA

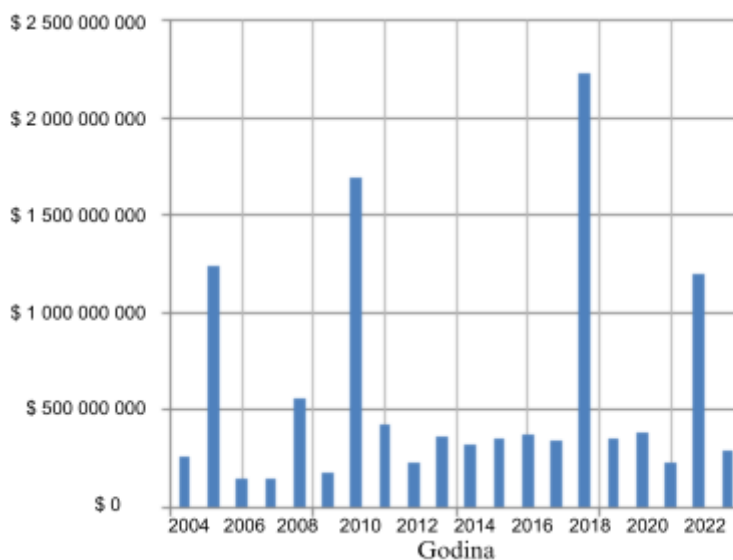
Uprava za sigurnost cjevovoda i opasnih materijala (PHMSA) (<https://www.phmsa.dot.gov>) američkog Ministarstva prijevoza nadgleda nacionalni regulatorni program kako bi osigurala siguran transport prirodnog plina, nafte i drugih opasnih tvari cjevovodima, identificirala sigurnosne trendove i razvijala nove inicijative za poboljšanje sigurnosti. Industrije pod njihovim nadzorom prijavljuju akcidente koji ispunjavaju određene kriterije. Operateri cjevovoda u obvezi su prijave akcidenata u bazu podataka i dostave izvještaja o istima u roku od 30 dana od dana neželjenog događaja.

U izvještajima se nalaze ključne informacije o operaterima cjevovoda, vrsti medija, broju i vrsti ozljeda, smrtnim slučajevima, požarima i eksplozijama. Također se prikupljaju detaljne informacije o lokacijama događaja, operativnim parametrima sustava, kao i informacije o uzrocima akcidenta i troškovima sanacije. Akcidenti povezani s prirodnim opasnostima zasebno su grupirani. Sve informacije su javno dostupne putem web stranice PHMSA-e (PHMSA, 2024).

U posljednjih dvadesetak godina (2004. – 2023.), u bazu je zabilježeno preko 12 700 akcidenata, a njihova raspodjela po godinama prikazana je na Slici 3-21. Slika 3-22. prikazuje troškove sanacije akcidenata. Ukupni trošak svih provedenih sanacija iznosi preko 11 milijardi dolara (PHMSA, 2024).



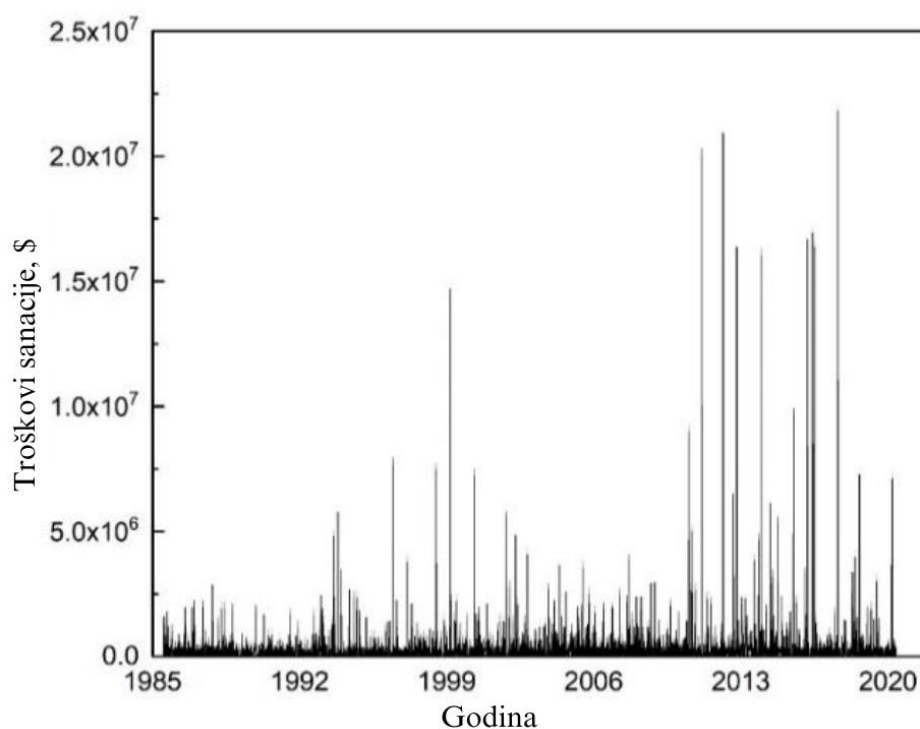
Slika 3-21. Broj akcidenata u zadnjih 20 godina prema bazi podatak PHMSA (izrađeno prema PHMSA, 2024.)



Slika 3-22. Troškovi sanacije akcidenta prema bazi podataka PHMSA (izrađeno prema PHMSA, 2024)

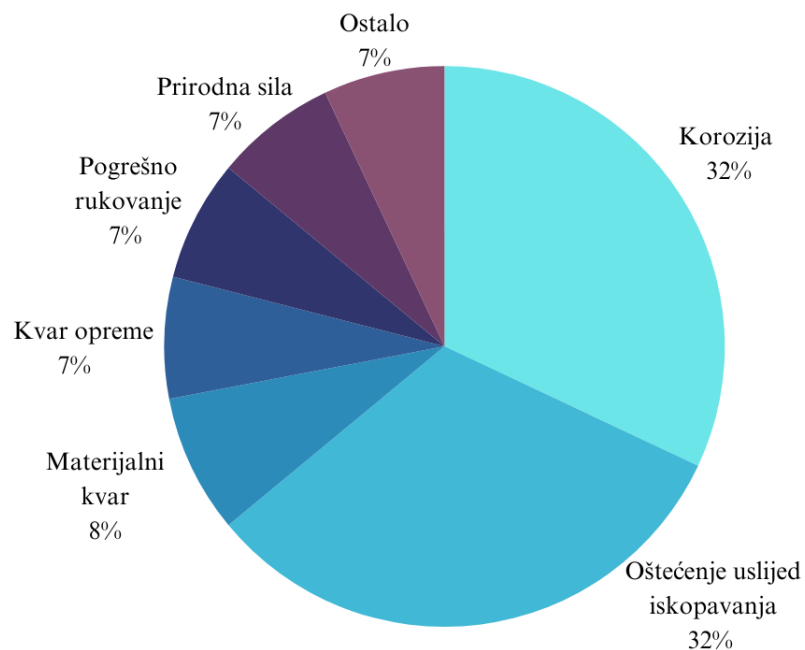
Liu (2021) analizira podatke baze PHMSA i dolazi do zaključka o značajnoj povezanosti između podataka o nesrećama na cjevovodima, sugerirajući da se akcidenti ne događaju nasumično, već pokazuju značajno grupiranje, što upućuje na činjenicu da

određeni uvjeti ili razdoblja mogu predisponirati sustav za veću učestalost nesreća. Troškovi sanacije na plinovodima pokazuje opadajući trend u razdoblju od 1970. do 1984. godine, nakon čega slijede dva relativno stabilna razdoblja, prvo od 1985. do 2001. godine, te drugo od 2002. do 2012. godine. Kao što je prikazano na Slici 3-23., stabilnost ovih razdoblja ipak nije potpuna. Troškovi sanacija u prvom stabilnom razdoblju bili su otprilike upola manji od prosječnih troškova sanacije u drugom stabilnom razdoblju. Ova razlika može se pripisati promjenama u režimima izvještavanja i formatima PHMSA (npr. promjene standardizacije, transparentnosti i sl.) tijekom tih razdoblja (Girgin i Krausmann, 2016; Bianchini et al., 2018).



Slika 3-23. Troškovi sanacije akcidenta (Girgin i Krausmann, 2016; Bianchini et al., 2018)

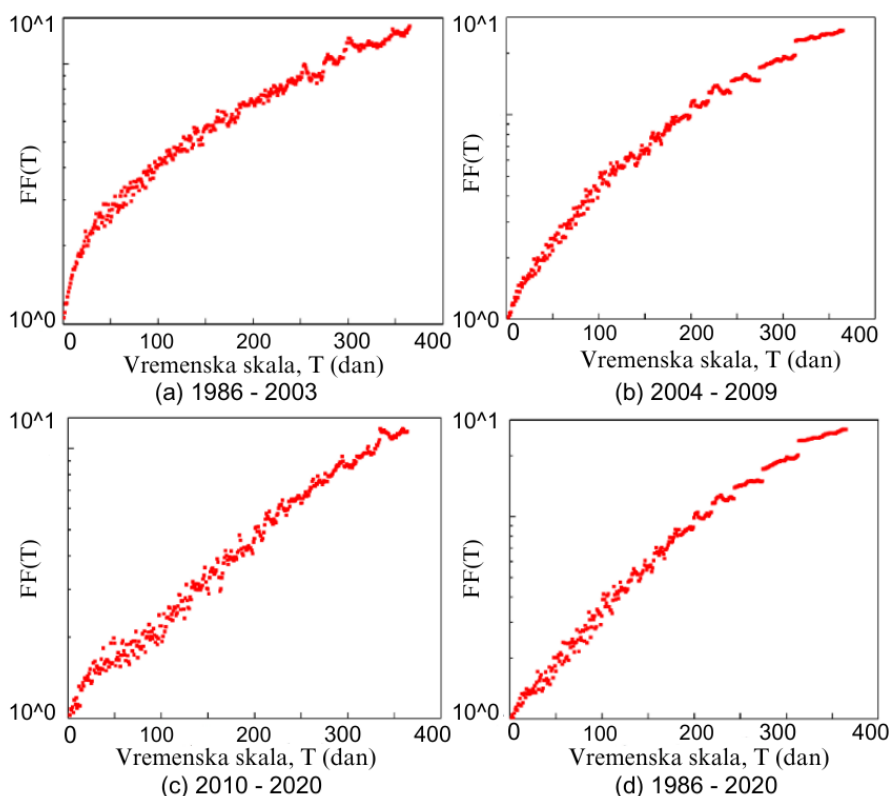
Prema podacima PHMSA, glavni uzroci akcidenata (Slika 3-24.) uključuju koroziju, kvar opreme, kvar materijala cjevovoda, oštećenje uslijed radova iskopavanja tla, pogrešno rukovanje, prirodne sile, druga vanjska oštećenja i druge uzroke (Lam i Zhou, 2016; Vetter et al., 2019). Oštećenje uslijed iskopavanja tla i druga vanjska oštećenja čine preko 60 % nesreća na plinovodima u periodu od 2004. do 2020. godine. Ovi uzroci su usko povezani s ljudskim faktorom (Hao et al., 2019; Bubbico, 2018).



Slika 3-24. Podjela akcidenata u periodu 2010. - 2020. (izrađeno prema PHMSA, 2024)

Analizirane su nesreće na plinovodima kako bi se istražila njihova pojava u vremenu koristeći histogram intervala između događaja (engl. *Inter-incident Histogram*, IIH) i Fano faktor (engl. *Fano Factor*, FF) (Liu, 2021). IIH prikazuje kako su raspoređeni vremenski razmaci između uzastopnih nesreća, iz čega je vidljivo da se nesreće često događaju u skupinama. To znači da pojava jedne nesreće povećava vjerojatnost da će se u kratkom vremenskom razdoblju dogoditi još nesreća (Telesca i Lovallo, 2008; Yang et al., 2009). Analiza Fano faktora (Slika 3-25.) potvrđuje opisano grupiranje nesreća. Fano faktor, predstavljen omjerom varijance i prosječne vrijednosti broja nesreća u fiksnim vremenskim razdobljima, omogućava uvid u prirodu distribucije događaja, odnosno daje procjenu raspršenosti broja nesreća u odnosu na njihovu prosječnu učestalost tijekom vremena. U konkretnom slučaju, na svim analiziranim vremenskim skalama pokazuje vrijednosti veće od jedan, što znači da su nesreće na plinovodima vremenski povezane i da se ne događaju nasumično. Sugerira da se nesreće dešavaju u klasterima, tj. da određeni faktori dovode do grupiranja nesreća (npr. sezonski utjecaji, vremenske nepogode i sl.) (Liu, 2021; Wang et al., 2019). Analiza je pokazala da teže nesreće imaju izraženiju vremensku povezanost, što znači da su ove nesreće sklonije pojavljivanju u određenim vremenskim razdobljima ili u serijama, što može biti posljedica specifičnih uzroka poput sezonskih utjecaja ili ponavljajućih ljudskih pogrešaka (Liu, 2021).

Na primjer, nesreće koje su se dogodile od 2010. do 2020. godine pokazale su manje vremenskih povezanosti nego nesreće od 2004. do 2009. godine. To sugerira da su nedavna poboljšanja u sigurnosnom upravljanju smanjila neke od tih vremenskih povezanosti (Girgin i Krausmann, 2016; Vetter et al., 2019, Liu, 2021).



Slika 3-25. Fano faktor analiza (Girgin i Krausmann, 2016; Bianchini et al., 2018)

3.6. Baza podataka „Spill“ Nacionalnog centra za hitne intervencije SAD-a

Nacionalni centar za hitne intervencije (engl. *National Response Center*, NRC) (<https://www.epa.gov/emergency-response/national-response-center>) dio je federalno uspostavljenog Nacionalnog sustava za hitne intervencije (engl. *National Response System*, NRS). NRC je javno dostupan federalni kontaktni centar za prijavu izlivanja na području teritorija SAD-a, kojemu mogu pristupiti sve osobe koje prve primijete izlivanje nafte, kemijskih, radioloških, bioloških i etioloških tvari u okoliš. Također, NRC zaprima i prijave o sumnjivim pomorskim aktivnostima i narušavanju sigurnosti unutar voda SAD-a i njihovih teritorija (Environmental Protection Agency [EPA], 2024).

Uspostavljena baza podataka obuhvaća ispuštanja opasnih tvari u okoliš, bez obzira na njihov volumen, koja su se desila na teritoriju SAD-a, u periodu od 1982. do 2012. godine (EPA, 2024). Sakupljeni podaci o akcidentima namijenjeni su agencijama koje imaju

regulatornu/izvršnu ili interventnu ovlast za ekološke, željezničke ili pomorske sigurnosne incidente.

3.7. Baza podataka Odbora za sigurnost u prometu Kanade

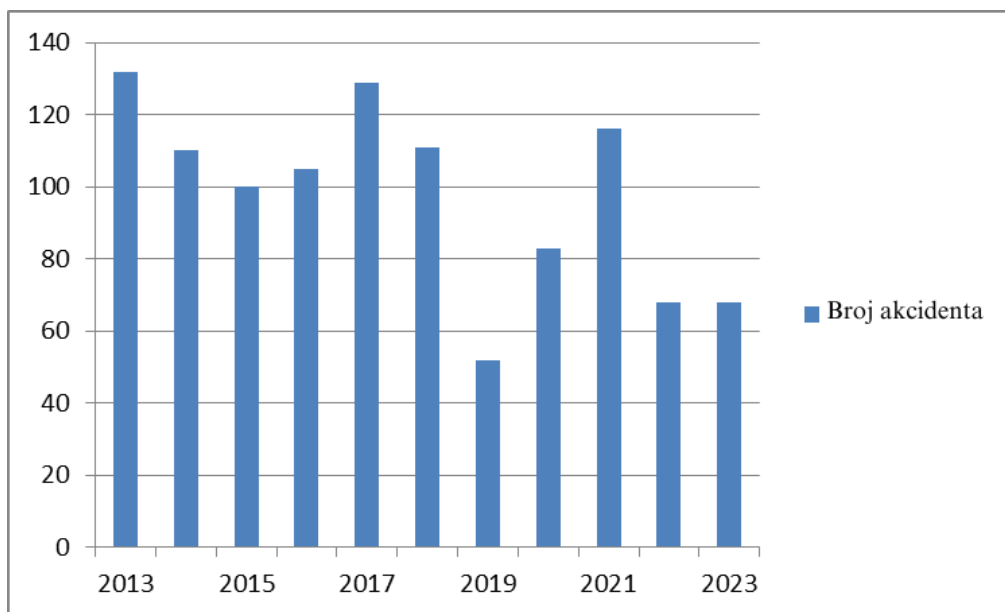
Odbor za sigurnost u prometu Kanade (engl. *Transport Safety Board of Canada*, TSBC) (<https://www.tsb.gc.ca>) je neovisna agencija, posvećena poboljšanju sigurnosti prometa u Sjevernoj Americi putem istraga nesreća pomorskih, cjevovodnih, željezničkih i zračnih oblika transporta. Primarne funkcije TSB-a uključuju provođenje detaljnih istraga kako bi se otkrili nedostaci u sigurnosti te izdavanje detaljnih izvješća s preporukama za povećanje sigurnosti (Transport Safety Board of Canada [TSB], 2021). TSB djeluje neovisno od drugih vladinih odjela i agencija, osiguravajući nepristrane i objektivne istrage. Istragama su obuhvaćeni različiti aspekti, poput ljudskih čimbenika, opreme, okoliša i organizacijskih pitanja. Na temelju analize prikupljenih podataka o prometnim akcidentima, TSB identificira trendove i nove sigurnosne probleme (TSB, 2021).

Istragama nesreća upravlja Upravni odbor kojeg imenuje Guverner u Vijeću, što jamči operativnu neovisnost (TSB, 2021). Preporuke TSB-a imaju značajan utjecaj na standarde, procedure i sigurnosne prakse u sektoru transporta diljem Sjeverne Amerike (TSB, 2021). Međunarodno prepoznata, izvješća i preporuke TSB-a, često su kao najbolje prakse citirane od strane različitih globalnih organizacija za sigurnost prometa i regulatornih tijela.

U bazi podataka Odbora za sigurnost u prometu Kanade, u 2023. godini je evidentirano 68 akcidenta u transportu cjevovodima, što ne predstavlja razliku u odnosu na prethodnu godinu, ali je za 33 % manje od desetogodišnjeg prosjeka. Od osnivanja Transport Safety Board of Canada (TSB) 1990. godine, u sektoru transporta nafte i plina cjevovodima nisu zabilježene nesreće niti smrtni slučajevi (TSB, 2024).

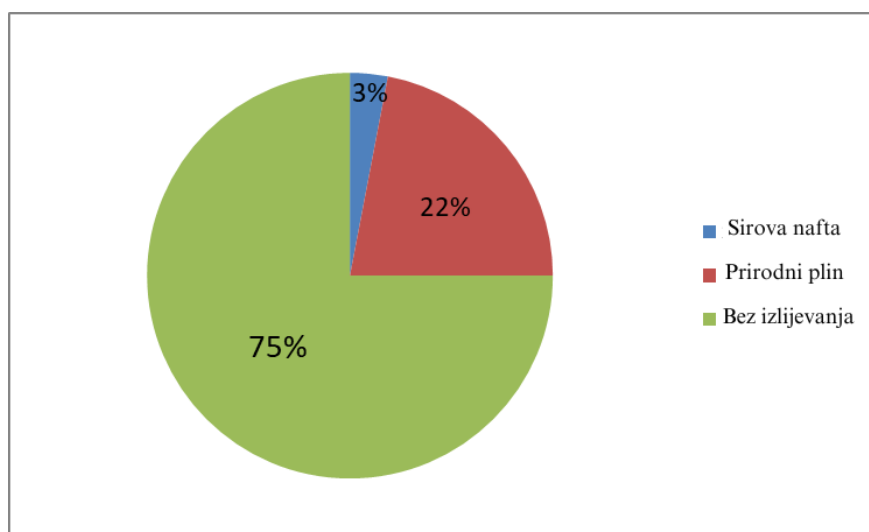
Kanadski sustav cjevovoda, u ukupnoj duljini od 68 200 kilometara u 2023. godini, koristilo je čak 100 kompanija, prenoseći ukupno $18,8 \cdot 10^{18}$ J energije tijekom godine (TSB, 2024).

Slika 3-26. prikazuje broj akcidenata u transportu cjevovodima iz TSB-ove baze podataka. Vidljivo je da broj akcidenata u Kanadi varira između 45 i 130 akcidenata godišnje.



Slika 3-26. Broj akcidenata upisanih u bazu TSB po godini (izrađeno prema TSB, 2024)

Od 68 slučajeva akcidenata prijavljenih u 2023. godini, njih 17 je uključivalo ispuštanje transportiranog medija u okoliš, što je najmanji broj u posljednjih 11 godina. Slika 3-27. prikazuje da se većina ispuštanja (15) odnosi na prirodni plin, dok su dva akcidenta uključivala sirovu naftu (TSB, 2024).



Slika 3-27. Pregled akcidenata po pojedinim kategorijama baze podataka u 2023. godini (izrađeno prema TSB, 2024)

Akcidenti su dalje klasificirani prema prirodi događaja. Najčešći akcidenti u 2023. godini su: oštećenja zbog kontakta s objektom (17 događaja, tj. 25 %), geotehnički ili okolišni akcidenti (15 događaja, tj. 22 %), požari (12 događaja, tj. 18 %) i akcidenti uzrokovani neovlaštenim aktivnostima treće strane (4 događaja, tj. 0,05 %).

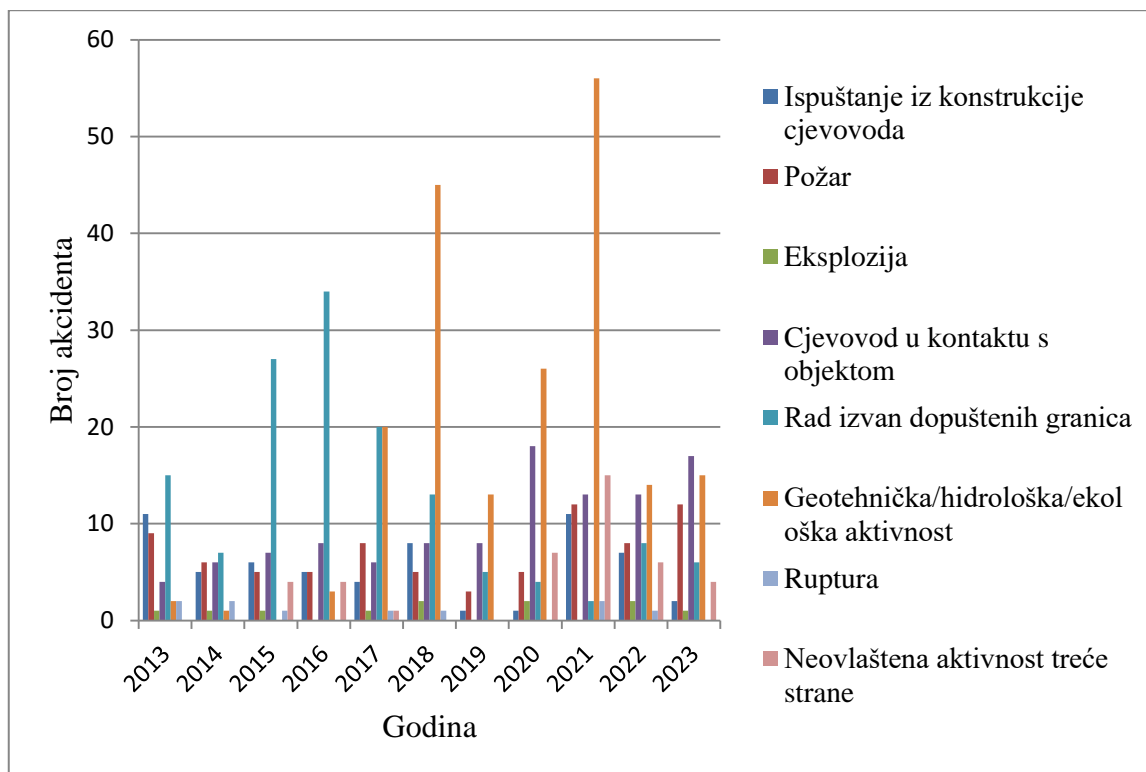
S ukupno 36 prijavljenih slučajeva u 2023. godini, Alberta je provincija s najviše akcidenata, a povećanje broja akcidenata zabilježeno je i u provincijama Saskatchewan i

Sjeverozapadnim teritorijima, dok je smanjenje broja akcidenata primijećeno u Ontariju, Britanskoj Kolumbiji, Manitobi, New Brunswicku i Nunavutu (TSB, 2024).

Od 28 prijavljenih akcidenata na naftno-plinskim postrojenjima, većina ih se dogodila na kompresorskim stanicama (21), dok su preostali akcidenti zabilježeni na terminalima (4), mjernim stanicama (2) i na drugim lokacijama (1). Na samim cjevovodima zabilježeno je 40 akcidenata. Stopa akcidenata iznosi 1,0 akcident na 1 000 kilometara cjevovoda (TSB, 2024).

Slika 3-28. prikazuje sve vrste neželjenih događaja u cjevovodnom transportu koji su rezultirali izljevanjem, a prijavljeni su u bazu TSB-a u periodu od 2013. do 2023. godine. Neki akcident mogu biti kategorizirani u više kategorija. Kategorija „geotehnička/hidrološka/ekološka aktivnost“ (engl. *Geotechnical/hyrotechnical/environmental activity*) koja uključuje prirodne pojave kao što su pomicanje tla ili erozija tla uz rijeke koje su djelovale na dio cjevovoda, bila je najčešći uzrok akcidenata, s najviše slučajeva zabilježenih 2021. godine (56 slučajeva). Kategorija „požar“ (engl. *Fire*) uključuje bilo koji akcident u kojem je došlo do izbijanja plamena u ili oko cjevovoda, što može biti uzrokovano izljevanjem zapaljivih materijala, iskrenjem od obližnjih izvora ili drugim čimbenicima, s najviše slučajeva u 2021. i 2023. godini (12 slučajeva). „Eksplozije“ (engl. *Explosion*) su obično uzrokovane nakupljanjem zapaljivih plinova ili drugih materijala unutar ili oko cjevovoda. U ovoj kategoriji zabilježena su po dva slučaja u 2018., 2020. i 2022. godini. „Rad izvan dopuštenih granica“ (engl. *Operation beyond limits*) odnosi se na akcidente u kojima su radni parametri cjevovoda izvan projektiranih operativnih granica, uslijed prekomjernog pritiska, temperature ili drugih uvjeta koji nadilaze sigurne operativne specifikacije, s najviše zabilježenih slučajeva u 2014. godini (34 slučaja). „Ruptura“ (engl. *Rupture*), kategorija koja se odnosi na fizičko oštećenje cjevovoda zbog prekomjernog pritiska, mehaničkog oštećenja ili korozije, imala je po dva slučaja u 2013., 2014. i 2020. godini. „Neovlaštena aktivnost treće strane“ (engl. *Unauthorized third-party activity affecting pipeline structural integrity*) uključuje akcidente u kojima neovlaštene radnje ili aktivnosti treće strane, poput građevinskih radova, sabotaza ili nesvjesnog oštećenja, narušavaju strukturni integritet cjevovoda, s najviše slučajeva u 2021. godini (15 slučajeva). „Ispuštanje iz konstrukcije cjevovoda“ (engl. *Release from line pipe body*) uključuje akcidente u kojima je došlo do nenamjernog ili nekontroliranog ispuštanja sadržaja cjevovoda, što može biti uzrokovano neispravnošću spojeva ili ventila, s najviše slučajeva zabilježenih u 2011. i 2021. godini (13 slučajeva). „Cjevovod u kontaktu s objektom“ (engl. *Pipeline contacted by an object*) uključuje akcidente u kojima je

cjevovod oštećen zbog kontakta s nekim objektom, poput građevinske opreme, vozila, poljoprivrednih strojeva ili drugih predmeta koji slučajno ili namjerno dođu u kontakt s cjevovodom. Najviše slučajeva u ovoj kategoriji bilo je zabilježeno u 2018. godini (18 slučajeva) (TSB, 2024).



Slika 3-28. Podjela akidenata po uzrocima (izrađeno prema TSB, 2024)

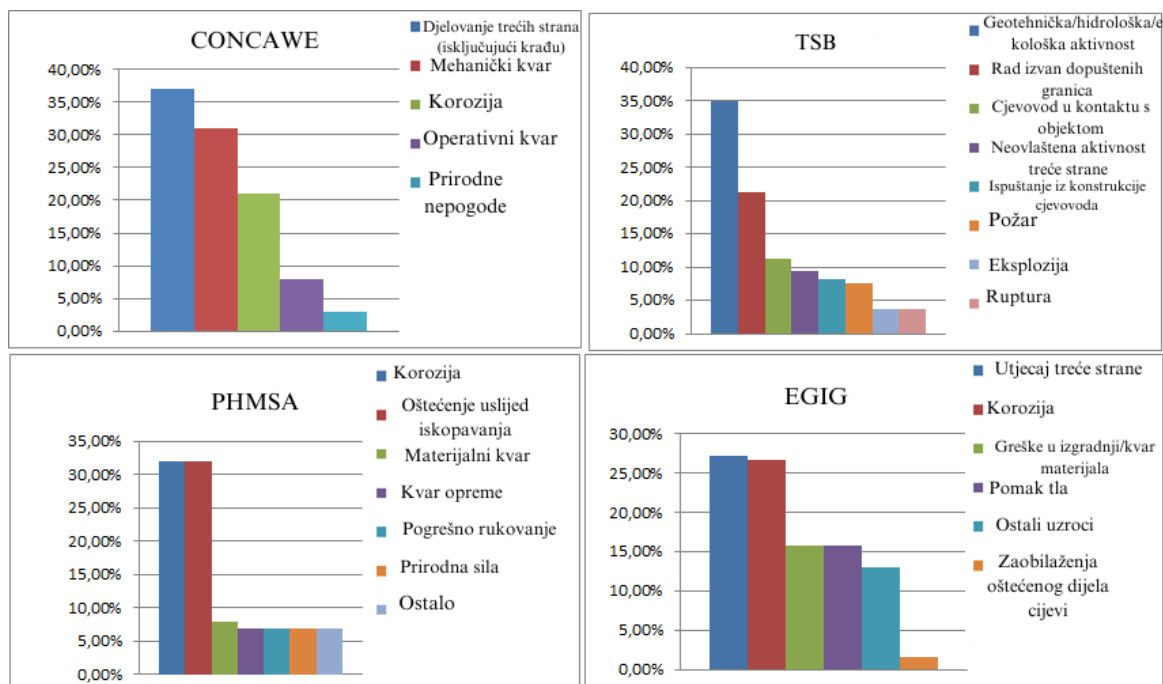
4. ANALIZA UZROKA IZLIJEVANJA

U ovom poglavlju provedena je sveobuhvatna analiza akcidenata u sustavima transporta naftovodima i plinovodima, kroz usporedbu podataka dostupnih u ranije prikazanim bazama. Svaka baza podataka ima svoje specifične prednosti i koristi se za različite vrste analiza. Ključni podaci prikazani su u Tablici 4-1. i na Slici 4-1. Usporedba akcidenata na Slici 4-1. prikazana je prema četiri najznačajnije baze podataka (EGIG, CONCAWE, TSB, PHMSA) obrađene u diplomskom radu. Baza podataka Nacionalnog centra za hitne intervencije SAD-a „Spill“ nije navedena, niti analizirana, zbog slabe dostupnosti, odnosno ograničenosti detaljnih podataka navedenih u Excel tablicama.

Za potrebe izrade diplomskog rada i donošenje generalnih zaključaka, kategorije uzroka oštećenja cjevovoda organizirane su u pet glavnih skupina kako bi se jasnije razumjeli uzroci akcidenata. Prva skupina kategorija, nazvana „Korozija i oštećenja materijala“, obuhvaća ranije objašnjene kategorije pojedinih baza, kako slijedi: koroziju (iz svih baza gdje se pojavljuje), greške u izgradnji/kvar materijala, oštećenje uslijed iskopavanja i materijalni kvar. Druga skupina kategorija, „Utjecaj okoliša i prirodnih sila“, uključuje kategorije: pomak tla, klizišta, potresi, munje, poplave, prirodne nepogode i prirodne sile. Treća skupina kategorija, „Ljudski faktor i operativni kvarovi“, uključuje kategorije: utjecaj treće strane, djelovanje trećih strana (isključujući krađu), mehanički kvar, operativni kvar, pogrešno rukovanje, rad izvan dopuštenih granica, neovlaštena aktivnost treće strane. Četvrta skupina, „Tehnički kvarovi“, uključuje: kvar opreme i ostalo, dok peta skupina kategorija, nazvana „Izvanredni akcidenti i sigurnosni propusti“, uključuje kategorije: geotehnička/hidrološka/ekološka aktivnost, cjevovod u kontaktu s objektom, ispuštanje iz konstrukcije cjevovoda, požar, eksplozija, ruptura, te zaobilaženja oštećenog dijela cijevi.

Tablica 4-1. Usporedba baza podataka

Baza podataka	Opći podaci	Kriteriji za bilježenje akcidenata	Broj akcidenata do 2023.	Najčešći uzroci akcidenata	Regija
EGIG	Osnovana 1982., 17 članova-operatora, pokriva više od 135 000 km plinovoda.	Čelični cjevovodi, radni tlak > 15 bara, kopneni cjevovodi izvan postrojenja.	više od 1411	Utjecaj treće strane, korozija, greške u izgradnji/kvar materijala, pomak tla, ostali uzroci i zaobilaženja oštećenog dijela cijevi.	Europa
Concawe	Osnovana 1963., 43 člana, pokriva oko 35 307 km naftovoda.	Duljina cjevovoda > 2 km, minimalna izlivena količina > 1 m ³ .	789	Djelovanje treće strane (isključujući krađu), mehanički kvar korozija, operativni kvar i prirodne nepogode.	Europa
eNatech	Baza tehnoloških akcidenata uzrokovanih prirodnim katastrofama	Tehnološki akcidenti uzrokovani prirodnim katastrofama ..	13	Klizišta, potresi, munje, te poplave.	Globalna razina, fokus na europske zemlje
PHMSA	Nadzire više od 3 milijuna km plinovodne mreže u SAD-u.	Nema specifičnih kriterija navedenih u analizi.	više od 12700	Korozija, oštećenje uslijed iskopavanja, materijalni kvar, kvar opreme, pogrešno rukovanje, prirodna sila i ostalo.	SAD
TSB	Pokriva 68200 km cjevovoda u Kanadi.	Nema specifičnih kriterija navedenih u analizi.	1095	Geotehnička/ hidrološka/ ekološka aktivnost, rad izvan dopuštenih granica, cjevovod u kontaktu s objektom, neovlaštena aktivnost treće strane, ispuštanje iz konstrukcije cjevovoda, požar, eksplozija i ruptura.	Kanada
ARIA	Prikuplja informacije o industrijskim akcidentima, uglavnom u Francuskoj i inozemstvu.	Nema specifičnih kriterija navedenih u analizi.	N/A	N/A	Globalna razina, fokus na Francusku



Slika 4-1. Usporedba podataka o akcidentima prikupljenih u različitim bazama podataka

Za izračunavanje broja akcidenta unutar svake specifične kategorije korištene su sljedeće jednadžbe:

$$Ba = \left(\frac{P}{100} \right) \times Ua \quad (3-1)$$

gdje je:

Ba = broj akcidenta po specifičnoj kategoriji

P = postotak unutar određene grupe, %

Ua = ukupan broj akcidenta za određenu grupu

Nakon toga su sumirani akcidenti za sve specifične kategorije unutar svake glavne skupine kako bi se dobili ukupni brojevi akcidenta po skupini. Te sume su zatim pretvorene u postotke od ukupnog broja akcidenta kako bi se dobila relativna težina svake skupine:

$$Ps = \left(\frac{Bs}{Tba} \right) \times 100\% \quad (3-2)$$

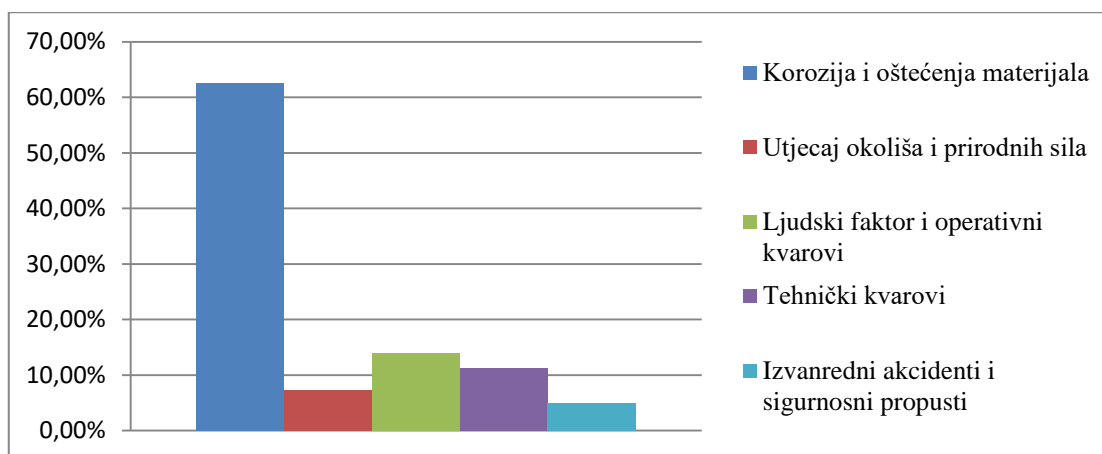
gdje je:

Ps = postotak za grupu u odnosu na ukupan broj akcidenta

Bs = broj akcidenta po grupi

Tba = ukupan broj akcidenta za sve grupe

Slika 4-2. prikazuje rezultate izračuna, a iz njih je vidljivo da skupina Korozija i oštećenja materijala predstavlja najveći udio, sa 62,61 % svih akcidenata evidentiranih u analiziranim bazama podataka, što ukazuje na to da su ovi uzroci najčešći. S druge strane, skupina Izvanredni akcidenti i sigurnosni propusti čini svega 4,95 % akcidenata, sugerirajući da su takvi incidenti rjeđi, ali potencijalno vrlo ozbiljni.



Slika 4-2. Podjela akcidenata po uzrocima

Na temelju analize dostupnosti i sadržaja samih podataka dostupnim u analiziranim bazama, preporučuje se korištenje pojedinih baza podataka, ovisno o potrebama, kako slijedi:

- Baza podataka EGIG je najbolja za sveobuhvatne studije akcidenata na plinovodima u Europi, zbog detaljnih statističkih podataka i dugoročnih trendova. Objavljuje ažurirane podatke te je do sada objavljeno 11 izvještaja.
- Baza podataka Concawe je primjerena za ekološke studije i analize sigurnosnih rizika na naftovodima, pružajući detaljne informacije o izlivanju nafte. Nije ažurirana kao EGIG, ali daje obiman broj izvještaja vezanih uz naftovode i utjecaj na okoliš.
- Baza podataka eNatech sadrži „natech“ akcidente. Iako sama baza podataka nema puno informacija vezanih za akcidente na cjevovodima, korištenje iste može biti korisno za općenitu pretragu „natech“ akcidenta.
- Baza podataka PHMSA je najopsežnija baza za akcidente u SAD-u, javno dostupna i pruža sveobuhvatne podatke o akcidentima i njihovim posljedicama.
- Baza podataka TSB je korisna za analizu sigurnosnih trendova i pojedinačnih akcidenata u Kanadi, s neovisnim i objektivnim podacima.

- ARIA je korisna za analizu industrijskih nesreća uglavnom u Francuskoj, ali i u inozemstvu, s detaljnim opisima akcidenata.

Usporedba podataka iz baza EGIG, CONCAWE, PHMSA i TSB jasno otkriva značajne regionalne razlike u uzrocima akcidenata na cjevovodima koji se koriste za transport nafte i plina u Europi, SAD-u i Kanadi. U Europi su, prema podacima koje pružaju EGIG i CONCAWE, najčešći uzroci akcidenata na cjevovodima djelovanje treće strane, što čini 27 % svih incidenata na plinovodima i 37 % na naftovodima. Slijede problemi s korozijom, koja je odgovorna za 26 % akcidenata na plinovodima i 21 % na naftovodima. Ovi podaci naglašavaju važnost pravilnog održavanja i zaštite cjevovoda od vanjskih utjecaja i unutarnjih degradacija.

S druge strane, u SAD-u, podaci PHMSA-e pokazuju da je korozija dominantan uzrok akcidenata, odgovorna za čak 32 % svih slučajeva, što je znatno veći udio u usporedbi s europskim prosjekom od 23,5 %. Oštećenja uslijed iskopavanja također su čest uzrok incidenata u SAD-u, sa sličnim udjelom od 32 %. Ovi rezultati ukazuju na specifične izazove s kojima se suočavaju operateri cjevovoda u SAD-u, gdje su prevencija korozije i kontrola aktivnosti u blizini cjevovoda kritični za smanjenje rizika.

U Kanadi, prema podacima baze TSB situacija je različita i u odnosu na Europu i na SAD. Prema toj bazi, geotehnički, hidrološki i ekološki faktori uzrokuju čak 35 % svih akcidenata, što je znatno veći udio u usporedbi s Europom, gdje ti faktori čine 15,76 % akcidenata na plinovodima i samo 3 % na naftovodima, kao i s SAD-om, gdje ti faktori uzrokuju samo 7 % incidenata. Kontakt s objektima u Kanadi također uzrokuje 11,25 % akcidenata, dok neovlaštene aktivnosti treće strane uzrokuju 9,38 % incidenata, što ukupno čini 20,63 %. Kada se usporede ovi uzroci s onima u Europi i SAD-u, gdje djelovanje treće strane prosječno uzrokuje 32 % akcidenata, očigledno je da su ti specifični uzroci u Kanadi manje zastupljeni. Ova razlika naglašava važnost lokalnih geotehničkih i ekoloških uvjeta kao ključnih faktora u planiranju i održavanju sigurnosti cjevovoda u Kanadi.

5. REGULATIVA I SIGURNOSNI STANDARDI ZA TRANSPORT NAFTE I PLINA

Regulativa i sigurnosni standardi za transport nafte i plina su izuzetno važni za osiguranje sigurnosti, zaštitu okoliša i učinkovit rad transportnih sustava. Regulatorna usklađenost podrazumijeva poštivanje nacionalnih i međunarodnih propisa, kao i sigurnosnih standarda organizacija kao što su npr. standardi Međunarodne organizacije za standardizaciju (engl. *International Organization for Standardization*, ISO), API-a te Američkog društva inženjera strojarstva (ASME). Valja istaknuti i preporuke organizacija, kao što su npr. Preporuke UN-a (engl. *UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods*), koje služe kao temelj za izradu mnogih nacionalnih propisa.

5.1. Međunarodni standardi

Standard ISO 45001:2018 je međunarodni standard za sustave upravljanja zdravljem i sigurnošću na radu (engl. *Occupational Health and Safety Management System*, OHSMS). Pruža okvir organizacijama za poboljšanje sigurnosti zaposlenika, smanjenje rizika na radnom mjestu te stvaranje boljih, sigurnijih uvjeta rada globalno. Ovaj standard pomaže organizacijama u prevenciji ozljeda, bolesti i smrtnih slučajeva povezanih s radom, implementacijom sustavnog pristupa upravljanju zdravljem i sigurnošću (Animah i Shafiee, 2022; Rodríguez-Martín et al., 2023).

ISO 45001 zamijenio je prethodni standard OHSAS 18001:2007 i integrira se s drugim ISO standardima za sustave upravljanja, poput ISO 9001:2015 za upravljanje kvalitetom i ISO 14001:2015 za upravljanje okolišem. Ovi standardi osiguravaju da tvrtke sustavno pristupaju kvaliteti i zaštiti okoliša u svojim operacijama.

ISO 31000:2018 je još jedan važan standard koji pomaže organizacijama da prepoznaju, analiziraju i upravljaju rizicima na sustavan način. Uključuje integraciju upravljanja rizicima u sve organizacijske procese, prilagodbu specifičnim potrebama organizacije, te kontinuirano praćenje i poboljšanje procesa upravljanja rizicima (Animah i Shafiee, 2022; Rodríguez-Martín, Rodríguez-Gonzálvez, i Domingo, 2023).

ISO 13623:2017 postavlja stroge standarde za projektiranje, izgradnju i rad cjevovodnih sustava u industrijama nafte i prirodnog plina, osiguravajući sigurnost i pouzdanost tijekom cijelog radnog vijeka cjevovoda. Jedna od ključnih specifikacija je maksimalno dopušteni radni tlak (engl. *Maximum Allowable Operating Pressure*, MAOP), koji se određuje hidrostatskim ili pneumatskim ispitivanjem, pri čemu ispitni tlak mora biti najmanje 1,25 puta veći od MAOP-a, obično održavan u trajanju od 4 do 24 sata, kako bi se potvrdio

integritet cjevovoda. Standard također nalaže da opterećenje po obodu cijevi, ključan dizajnerski faktor, ne smije premašiti 72 % specificirane minimalne vlačne čvrstoće materijala (engl. *Specified Minimum Mield Strength*, SMYS) za kopnene cjevovode, osiguravajući da cjevovod može izdržati unutarnje tlakove. Za odobalne cjevovode ovaj faktor opterećenja često je postavljen između 60 % i 70 % vrijednosti SMYS-a zbog dodatnih okolišnih opterećenja. Standard specificira minimalnu debljinu stijenke cjevovoda, koja se izračunava na temelju radnog tlaka, promjera cijevi i čvrstoće materijala, često uključujući sigurnosnu debljinu od oko 3 mm za zaštitu od korozije (StudyLib.net, n.d.).

Nadalje, API i ASME su također međunarodno priznate organizacije koje razvijaju standarde. API izdaje ključne standarde, poput API 5L, API 570, API 1014, te API 1160. API 5L je specifikacija za bešavne i zavarene čelične cijevi koje se koriste u transportnim sustavima naftne i plinske industrije. Standard uključuje zahtjeve za proizvodnju na dvije razine specifikacije proizvoda (PSL1 i PSL2) te se ne primjenjuje na lijevane cijevi. API 5L obuhvaća različite vrste i razrede cijevi, uključujući bešavne cijevi (engl. *Seamless*, SMLS), elektrootporno zavarene cijevi (engl. *Electric Resistance Welding*, ERW), uzdužno potopno lučno zavarene cijevi (engl. *Longitudinal Submerged Arc Welding*, LSAW) i spiralno zavarene cijevi (engl. *Spiral Submerged Arc Welding/Helical Submerged Arc Welding*, SSAW/HSAW). Ključni aspekti uključuju kemijski sastav, mehanička svojstva i zahtjeve za testiranje kao što su: hidrostatsko ispitivanje za kontrolu otpornosti na tlak, test savijanja za ocjenu duktilnosti i test gnječenja za procjenu sposobnosti materijala da izdrži deformaciju pod pritiskom, bez stvaranja pukotina (API, 2020; API, 2023).

API 570 je standard koji pruža smjernice za inspekciju, popravak, izmjenu i ponovno ocjenjivanje cjevovodnih sustava u radu. Ovaj standard je ključan za održavanje sigurnosti i integriteta cjevovodnih sustava u rafinerijama nafte, kemijskim postrojenjima, postrojenjima za obradu prirodnog plina i drugim industrijama. Ključni aspekti API 570 uključuju smjernice za očuvanje strukturne stabilnosti cjevovoda, uključujući primjenu različitih inspekcijskih tehnologija. Uključuje i detaljne zahtjeve za pravilnu izvedbu popravaka i promjena na postojećim cjevovodima, s ciljem očuvanja njihove funkcionalnosti, sigurnosti i usklađenosti sa standardima (API, 2020).

API 1104 je standard za zavarivanje naftovoda i pripadajućih objekata. Nedavnom revizijom uključene su napredne tehnike zavarivanja koje poboljšavaju sigurnost i učinkovitost. Ove promjene uključuju korištenje automatiziranih sustava zavarivanja koji

omogućuju veću točnost i konzistentnost zavarivača. U 22. izdanju norme API 1104 uvedene su izmjene koje poboljšavaju sigurnost cjevovoda, strukturni integritet i učinkovitost, definirajući detaljne postupke zavarivanja za kvalificirane profesionalne zavarivače, inspektore i inženjere (API, 2021; API, 2023).

API 1160 je standard koji je usmjeren na upravljanje integritetom cjevovoda, osiguravajući da su naftovodi i plinovodi projektirani, izgrađeni, održavani i upravljani na način koji smanjuje rizike od kvarova i ekoloških šteta. Ovaj standard pruža smjernice za kontinuirano praćenje i održavanje integriteta cjevovoda kako bi se spriječile nesreće i povećala sigurnost operacija (API, 2019).

Na međunarodnoj razini, standardi poput ASME B31.4 (za transport tekućih ugljikovodika) i ASME B31.8 (za prijenos i distribuciju plina) također su široko primjenjivani i osiguravaju visoku razinu sigurnosti i učinkovitosti. Među europskim standardima za cjevovodne sustave su BS EN 14161 za transportne sustave nafte i prirodnog plina te BS EN 1594 za plinovodne sustave za maksimalne radne pritiske iznad 16 bara. Ovi standardi osiguravaju da su svi aspekti transporta nafte i plina, od dizajna do operacija, pokriveni i regulirani (British Standards Institution, 2024).

5.2. Zakonska regulativa na području sigurnosti transporta opasnih tvari cjevovodima

Transport opasnih tvari cjevovodom reguliran je brojnim propisima diljem svijeta. U SAD-u, ključni regulatorni okvir čini regulativa Ministarstva prometa (engl. *Department of Transportation*, DOT). Unutar DOT-a, Uprava za sigurnost cjevovoda i opasnih materijala (engl. *Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration*, PHMSA) odgovorna je za sigurnost cjevovoda i transport opasnih materijala. PHMSA postavlja standarde za projektiranje, izgradnju, održavanje i rad cjevovoda koji prenose opasne tvari, uključujući naftu i plin. Kodeks saveznog zakonodavstva (engl. *Code of Federal Regulations*, CFR) - Title 49, uključuje specifične odredbe za transport opasnih materijala cjevovodima. Ove odredbe obuhvaćaju zahtjeve za označavanje, dokumentaciju, inspekciju i preventivne mjere kako bi se spriječile nesreće.

U regulaciji okolišnih aspekata transporta opasnih tvari cjevovodom važnu ulogu ima i Agencija za zaštitu okoliša SAD-a (engl. *U.S. Environmental Protection Agency*, EPA).

Od europskih regulativa, veliki utjecaj na sigurnost transporta nafte i plina ima Uredba REACH br. 1907/2006 (engl. *Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of*

Chemicals). Zahtijeva detaljnu evidenciju kemikalija koje se koriste u industriji i njihovu sigurnosnu procjenu. Kroz registraciju, evaluaciju, autorizaciju i postavljanje ograničenja korištenja kemikalija, kao ključne komponente regulative, postižu se glavni ciljevi u smislu zaštite zdravlja i okoliša, povećanje transparentnosti i odgovornosti proizvođača i uvoznika za sigurnost kemikalija koje stavljaju na tržište. Zadnje izmjene i dopune provedene su kroz Uredbu (EU) 2020/878, koja je na snazi od 1. siječnja 2021. godine (UNECE, 2024).

Osim toga, Europska unija je usvojila i Direktivu 2010/75/EU o industrijskim emisijama (engl. *Industrial Emissions Directive*, IED), koja postavlja minimalne standarde za emisije u zrak, vodu i tlo iz industrijskih postrojenja, uključujući postrojenja za preradu nafte i plina te zahtijeva primjenu najboljih dostupnih tehnika (engl. *Best Available Techniques*, BAT) za smanjenje utjecaja industrijskih aktivnosti, uključujući transport nafte i plina. Ova direktiva ima značajan utjecaj na postrojenja za preradu nafte i plina, zahtijevajući smanjenje emisija onečišćujućih tvari, kao što su sumporov dioksid (SO₂), dušikovi oksidi (NO_x) i prašina, te postizanje visoke razine zaštite okoliša kroz integrirane dozvole i redovita preispitivanja uvjeta rada (EUR-Lex, 2020).

Direktiva 2013/30/EU, poznata kao Direktiva o sigurnosti odobalnih naftnih i plinskih operacija, uspostavlja minimalne zahtjeve za sprječavanje velikih nesreća u odobalnim operacijama te za ograničavanje posljedica takvih nesreća. Glavni elementi uključuju obvezu pripreme Izvješća o velikim opasnostima, provjeru sigurnosnih odredbi i mjera zaštite okoliša od strane nacionalnih tijela te osiguranje transparentnosti i odgovornosti. Ova direktiva također zahtijeva suradnju između država članica EU za dijeljenje najboljih praksi i poboljšanje standarda sigurnosti (EUR-Lex, 2013).

U prosincu 2021. godine, Europska komisija je predložila novu regulativu za smanjenje emisija metana u energetske sektoru (engl. *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Methane Emissions Reduction in the Energy Sector*), te kroz predviđene mjere koje uključuju izvješćivanje i verifikaciju emisija metana (engl. *Monitoring, Reporting and Verification*, MRV), kako bi se osiguralo točnije informacije o izvorima emisija, mjere za otkrivanje i popravak mjesta istjecanja metana iz sustava (engl. *Leak Detection and Repair*, LDAR) te smanjenje rutinskog spaljivanja i ispuštanja metana u atmosferu (engl. *Reduction of Routine Venting and Flaring*, RRVF). Ista zahtijeva od operatera naftnih i plinskih postrojenja poduzimanje koraka za zaustavljanje nepotrebnog spaljivanja plina i smanjenje emisija metana tijekom normalnih operacija. Ove mjere su

dio inicijative "Fit for 55", koja ima za cilj postići klimatsku neutralnost EU-a do 2050. godine i smanjiti emisije stakleničkih plinova za 55 % do 2030. godine (EUR-Lex, 2021).

5.3. Nacionalna regulativa RH

U Hrvatskoj, regulativa za cjevovode koji se koriste za transport nafte i plina obuhvaća nekoliko ključnih zakona i pravilnika koji osiguravaju visoke standarde sigurnosti i učinkovitosti. Prvo, Zakon o osnovama sigurnosti transporta naftovodima i plinovodima (NN 64/73, 53/91) postavlja tehničke norme i sigurnosne uvjete za transport tekućih i plinovitih ugljikovodika. Ovaj zakon propisuje da se naftovodi i plinovodi mogu koristiti tek nakon što tehnički pregled potvrdi da odgovaraju važećim tehničkim normama i sigurnosnim uvjetima. Cilj je osigurati da svi sustavi za transport nafte i plina rade u skladu s najvišim standardima sigurnosti kako bi se spriječili akcidenti i ekološke štete.

Zakon o tržištu nafte i naftnih derivata (NN 19/14, 73/17, 96/19) uređuje uvjete i način poslovanja na tržištu nafte i naftnih derivata u Republici Hrvatskoj s ciljem osiguranja stabilnosti, transparentnosti i konkurentnosti. Zakon omogućava slobodan ulazak na tržište svim sudionicima koji zadovoljavaju tehničke, financijske i druge uvjete, čime se potiče tržišno natjecanje. Također, propisuje obvezu održavanja minimalnih zaliha naftnih derivata kako bi se osigurala stabilna opskrba u slučaju izvanrednih okolnosti. Zakon postavlja stroge standarde za sigurnost u cijelom lancu distribucije, od proizvodnje do krajnje potrošnje. Iako tržište djeluje prema principima slobodnog formiranja cijena, zakon predviđa mogućnost državne intervencije u svrhu zaštite potrošača ili stabilizacije tržišta u izvanrednim situacijama. Kroz inspekcijski nadzor osigurava se da svi sudionici na tržištu djeluju u skladu s propisima, čime se štite interesi potrošača i održava stabilnost tržišta.

Zakon o tržištu plina (NN 18/18, 23/20) regulira prava i obveze vezane uz transport plina, uključujući korištenje usluga operatora transportnog sustava, distribucijskih sustava i skladišta plina. Ovaj zakon postavlja pravila za ugovaranje i korištenje mreže plinovoda, osiguravajući transparentnost i sigurnost u opskrbi plinom. Također, definira uvjete pod kojima operatori mogu raditi i povezivati sustave, te mjere za sigurnost i održavanje infrastrukture.

Zakon o sigurnosti pri odobalnom istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (NN 78/15, 50/20) detaljno regulira sigurnosne standarde, tehničke zahtjeve i vremenske okvire kako bi se osigurala sigurnost i zaštita okoliša tijekom odobalnih operacija u Hrvatskoj. U

slučaju velike nesreće, operatori su dužni obavijestiti Koordinaciju za sigurnost u roku od tri dana, dok se eksploatacijski objekti na kojima su radovi trajno obustavljeni moraju ukloniti u roku od 270 dana. Zakon propisuje obaveznu neovisnu verifikaciju svih elemenata kritičnih za sigurnost, okoliš i prirodu, uključujući procjenu i potvrdu valjanosti dokumentacije koju su izradili operatori ili vlasnici. Svaki operator ili vlasnik mora izraditi "Plan intervencija odobalnog objekta" kako bi se spriječilo širenje i ograničile posljedice velike nesreće. Koordinacija za sigurnost ima ključnu ulogu u nadzoru i provedbi sigurnosnih mjera. Sastoji se od predstavnika relevantnih javnopravnih tijela, stručnjaka iz znanstvene i stručne javnosti, te predstavnika državnih tijela nadležnih za energetiku i zaštitu okoliša. Članovi Koordinacije moraju biti neovisni i nepristrani stručnjaci, bez poslovnih veza s investitorima ili operatorima, kako bi se izbjegao sukob interesa. Prema članku 10. Zakona, Koordinacija mora redovito izrađivati i javno objavljivati planove nadzora, te se sastaje najmanje jednom u tri mjeseca kako bi donosila odluke o izvješćima o velikim opasnostima. Članak 17. Zakona propisuje da Ministarstvo nadležno za energetiku mora koordinirati aktivnosti vezane za izdavanje dozvola i nadzor nad odobalnim radovima, dok Članak 18. precizira ulogu Nacionalne središnjice za usklađivanje traganja i spašavanja na moru (engl. *Maritime Rescue Coordination Centre*, MRCC) u pružanju podrške Koordinaciji u hitnim slučajevima, uključujući spašavanje i sanaciju u slučaju nesreća.

Najvažniji i najdetaljniji pravilnik vezan uz transport nafte i plina cjevovodima je Pravilnik o tehničkim uvjetima i normativima za siguran transport tekućih i plinovitih ugljikovodika magistralnim naftovodima i plinovodima te naftovodima i plinovodima za međunarodni transport (NN 26/15). Ovaj pravilnik propisuje detaljne tehničke zahtjeve i sigurnosne mjere koje moraju biti implementirane tijekom dizajniranja, izgradnje i održavanja cjevovoda. Cilj mu je osigurati visoku razinu sigurnosti i zaštite okoliša, te minimizirati rizik od nesreća i izljeva. Pravilnik također uključuje odredbe o inspekcijama, testiranju opreme i potrebnim procedurama u slučaju incidenta. Kroz strogu regulaciju, ovaj pravilnik pomaže u održavanju integriteta cjevovoda i smanjenju potencijalnih ekoloških šteta.

Pravilnici koji reguliraju tehničke norme, sigurnost i zaštitu pri istraživanju i eksploataciji ugljikovodika u Hrvatskoj igraju ključnu ulogu u osiguravanju sigurnosti radnika i zaštiti okoliša. Pravilnik o tehničkim normativima pri istraživanju i eksploataciji

nafte, zemnih plinova i slojnih voda (NN 43/79, 41/81, 15/82, 53/91) postavlja temeljne tehničke standarde i zahtjeve koji se moraju poštovati tijekom ovih aktivnosti.

Pravilnik o bitnim tehničkim zahtjevima, sigurnosti i zaštiti pri istraživanju i eksploataciji ugljikovodika iz podmorja Republike Hrvatske (NN 36/04, 52/10) detaljno opisuje tehničke i sigurnosne zahtjeve specifične za odobalne platforme. Ovaj pravilnik, između ostalog, propisuje da platforme moraju biti opremljene sustavima za stalni nadzor plinova, sensorima za detekciju eksplozivnih smjesa, te obveznim sustavima za gašenje požara. Primjerice, bušaće i proizvodne platforme s posadom moraju biti opremljene sustavom stalnog nadzora plinovitih ugljikovodika i štetnih plinova, a također moraju imati prenosive detektore za štetne i opasne plinove. Na bušaćim platformama mora postojati stanica za zaštitu radnika od štetnih plinova, opremljena svim potrebnim sredstvima za zaštitu dišnih organa i pružanje prve pomoći, uz zahtjev da stanica ima 10 % više izolacionih aparata nego što je prisutno osoba.

Navedenom nacionalnom regulativom je osigurano da su svi aspekti transporta nafte i plina, od dizajna i izgradnje do održavanja i operacija, pokriveni i regulirani na način koji osigurava visoku razinu sigurnosti i učinkovitosti.

6. OČUVANJE INTEGRITETA CJEVOVODA

Cjelovitost cjevovoda ključna je za naftnu i plinsku industriju, a praktično se ostvaruje kroz primjenu različitih tehničkih (kvaliteta materijala, dizajn cjevovoda, redovite inspekcije i održavanje cjevovoda, sustavi za detekciju puknuća) i operativnih mjera (postupanje u izvanrednim situacijama, praćenje kvalitete nafte i plina) u domeni prevencije i detekcije samih akcidenata, ali i mitigacije njihovih utjecaja, kako bi se smanjio rizik od neželjenih događaja i izbjegle/smanjile ekološke i ekonomske posljedice (Tablica 6-1). **Prevencija** se odnosi na mjere i strategije koje se primjenjuju kako bi se spriječio nastanak akcidenata. Uključuje planiranje, projektiranje, održavanje i edukaciju osoblja s ciljem minimiziranja rizika. **Detekcija** podrazumijeva sustave i metode koji se koriste za rano otkrivanje problema ili akcidenata kako bi se na njih moglo brzo reagirati. **Mitigacija** uključuje mjere koje se poduzimaju kako bi se smanjile posljedice akcidenta, nakon što su se oni već dogodili. U nastavku rada data je proširena analiza mjera koje se primjenjuju, s naglaskom na napredne tehnologije i specifične uređaje.

Tablica 6-1. Grupe mjera koje se provode u svrhu prevencije i detekcije puknuća, te mitigacije učinaka akcidenata

Kategorija	Opis
Prevencija	Dizajn (osiguravanje kvalitete materijala, ugradnja zaštitnih ventila i sigurnosnih sustava)
	Održavanje infrastrukture
	Terenske inspekcije
	Ispitivanje integriteta i stanja cjevovoda (npr. tlačno ispitivanje, linijska inspekcija)
	Provođenje procjena rizika
	Edukacija osoblja
Detekcija	Ograničavanje pristupa/zaštita od djelovanja treće strane
	Mjerenje tlaka i protoka/sustavi za daljinski nadzor i upravljanje
	Upotreba senzora (akustični, termalni, infracrvene kamere)
Mitigacija	Alarmni sustavi
	Hitni planovi evakuacije
	Intervencije za sprečavanje širenja štetnih tvari
	Postupci sanacije oštećenja

6.1. Prevencija

Konvencionalne metode za skeniranje područja uključuju terenske inspekcije, koje podrazumijevaju fizičke provjere stanja cjevovoda i okolnog tla. Iako su ove metode pouzdane, one su vremenski zahtjevne i često ograničene pristupačnosti terena. Također,

koriste se i zračne inspekcije pomoću aviona ili dronova, dok su kopnene patrole zakonski obvezne (Yorick-Oden-Plants, 2017).

Napredne tehnologije uključuju Synthetic Aperture Radar (SAR) i Geographical Information Systems (GIS). SAR je radarska tehnologija koja omogućava praćenje deformacija tla bez obzira na vremenske uvjete, što je korisno za detekciju pomaka uzrokovanih seizmičkim aktivnostima, klizištima ili erozijom (Cigna et al., 2012). GIS integrira i analizira podatke iz različitih izvora omogućujući tako planiranje trasa cjevovoda i praćenje njihovog stanja, čime se prepoznaju potencijalni problemi (Paton i Johnston, 2001). Kombinacija ovih tehnologija pruža sveobuhvatne informacije za učinkovito upravljanje rizicima, značajno naprednije u odnosu na konvencionalne metode koje su se oslanjale na terenske inspekcije (British Geological Survey, 2021).

6.1.1. Održavanje i operacije

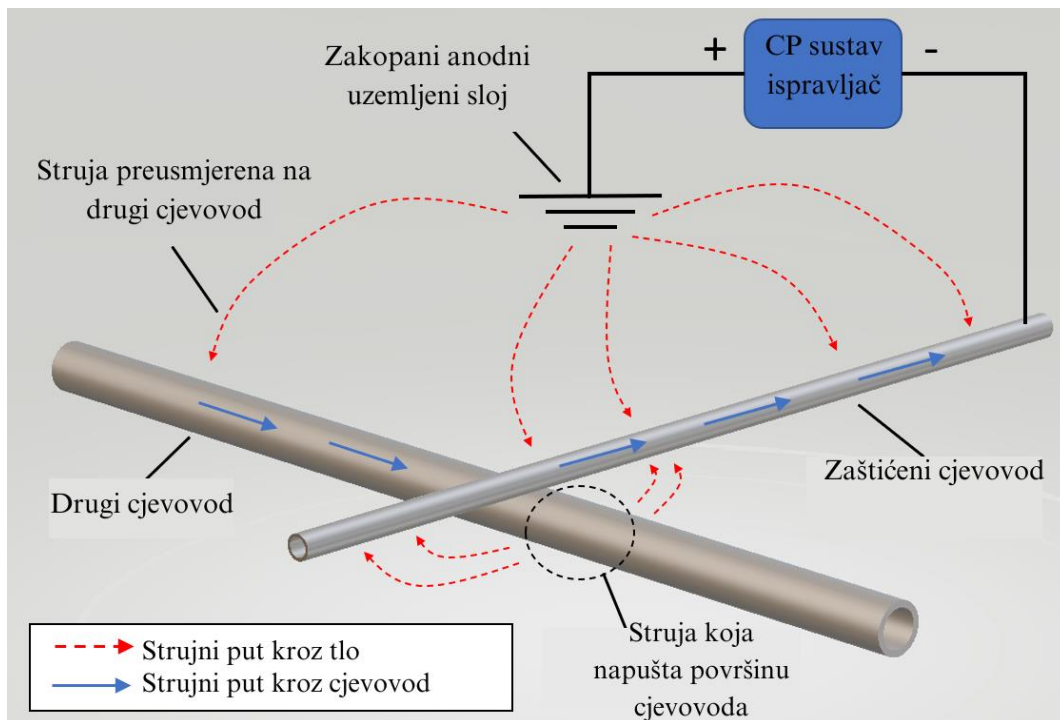
Redovitim čišćenjem cjevovoda osigurava se njegov pouzdan rad uz maksimalnu učinkovitost. U čestoj uporabi su različiti tipovi čistača koji se koriste za mehaničko čišćenje i kontrolu prohodnosti cjevovoda (engl. *Pipeline Inspection Gauge* ili *Pipeline Intervention Gadget*, “pig“). Uređaj se više puta protiskuje kroz cjevovod, i na taj način uklanja naslage, sve dok ne bude izvađen u relativno čistom stanju. U kombinaciji s mehaničkim čistačem, korištenje kemikalija pomaže pri uklanjanju veće količine naslaga u manje prolaza. Dok se mehaničko čišćenje može provoditi na aktivnim i neaktivnim cjevovodima, kemijsko čišćenje zahtijeva privremeno deaktiviranje cjevovoda. Sekcija koja se čisti mora biti zatvorena, nakon čega se ispunjava kemikalijama. Tijekom postupka prate se brzina protoka i pH kemikalija (obje vrijednosti rastu). Kada se brzina protoka i pH stabiliziraju, cjevovod se ispiru i ponovno aktivira (Yorick-Oden-Plants, 2017).

Najjednostavniji i najučinkovitiji način sprječavanja korozije cjevovoda je održavanje cjevovoda izvan kontakta s okolinom. Svaki cjevovod koji je ukopan ili potopljen je u skladu sa zakonskim propisima zaštićen izvana najčešće vanjskim premazom za kontrolu vanjske korozije (Yorick-Oden-Plants, 2017). Mnogi operateri cjevovoda koriste epoksidne premaze. Iako su epoksidni premazi najpopularniji, raznovrsnost terena kroz koji prolaze cjevovodi ponekad zahtijeva specijalizirane premaze. U svjetskoj praksi poznati su i cementni premaz za cjevovode koji prolaze ispod rijeka kako bi se povećala stabilnost cijevi i spriječilo njihovo pomicanje (Yorick-Oden-Plants, 2017). Također postoje napredni premazi poput 3M Scotchkote i Denso™ Tape Systems, koji su izrazito otporni na utjecaje okoline i tako značajno poboljšavaju zaštitu od korozije (Moore, 2020).

Katodna zaštita cjevovoda (engl. *Cathodic protection of pipeline*) provodi se kao sustav umjetnoga elektrokemijskoga galvanskoga članka kojim se ukopani čelični cjevovod štiti od korozije. Katodna zaštita mijenja električni potencijal metala, na način da on postane katoda u elektrokemijskoj ćeliji, čime se sprječava oksidacija i korozija. Sustav katodne zaštite sastoji se od izvora istosmjerne struje, anodnoga uzemljenja te električnih vodova. Negativni pol izvora spaja se s cjevovodom, koji postaje katoda koja se štiti, a pozitivni pol s uzemljenom anodom, koja se zatvaranjem istosmjernoga strujnoga kruga troši. Anode se izrađuju od grafita, čelika, olovnih i srebrnih slitina i dr. (Tehnički leksikon, 2007a).

U sustavu katodne zaštite, ispravljač osigurava istosmjernu električnu struju osigurava koja se prenosi do ukopanog anodnog uzemljivača. Struja putuje od anode kroz tlo prema cijevi i vraća se do ispravljača putem metalnog vodiča cijev, čime se zatvara strujni krug. Metalna površina cijevi na mjestima gdje struja ulazi zaštićena je od korozije. Količina struje potrebna za održavanje odgovarajućeg zaštitnog potencijala na površini cijevi ovisi o veličini površine izložene cijevi, udaljenosti do anodnog uzemljivača i specifičnom otporu tla kao elektrolita (TSB, 2022).

Pojam lutajuće struje (engl. *vagabond current*) odnosi se na električnu struju koja nenadzirano teče kroz zemlju (tlo ili vodu) kao povratnim vodičem u električnim sustavima. Zbog loših spojeva struja se prema izvoru vraća i kroz zemlju. Ako naiđe na čelične cijevi, ili druge metalne konstrukcije, teče i kroz njih. Na mjestima gdje struja iz metala (anoda) prelazi u zemlju kroz korozijski galvanski članak, dolazi do korozije, tj. odnošenja čestica metala u zemlju. Izmjenične lutajuće struje također uzrokuju koroziju metalnih objekata položenih u zemlju (Tehnički leksikon, 2007b). U područjima gdje se više cjevovoda nalazi u blizini, može doći do interakcije između cjevovoda. Struja koju ispravljač jednog sustava isporučuje za zaštitu jednog cjevovoda može biti nenamjerno preusmjerena na obližnje cjevovode (Slika 6-1.). Kada lutajuća struja napusti površinu drugog cjevovoda kroz tlo, može izazvati anodnu reakciju koja potiče koroziju na tom cjevovodu (TSB, 2022).



Slika 6-1. Interferencija sa lutajućom strujom (TSB, 2022)

Konvencionalne metode upravljanja vibracijama i hidrauličkim udarima uključuju mehaničke prigušnice i fleksibilne spojnice. Tradicionalne mehaničke prigušnice, poput metalnih opruga, koriste se za ublažavanje vibracija, ali imaju ograničenu sposobnost prilagodbe različitim vrstama opterećenja i radnim uvjetima. Fleksibilne spojnice napravljene od osnovnih gumenih materijala koriste se za upravljanje termalnom ekspanzijom i kontrakcijom cjevovoda, ali su manje učinkovite u ekstremnim uvjetima, u usporedbi s modernim gumenim ekspanzijskim spojevima poput Elaflex ERV (Slika 6-2.) (Johnson, 2021).



Slika 6-2. Elaflex ERV (Kenovel, 2024)

6.2. Detekcija

Operateri koriste razne metode nadzora kako bi brzo otkrili kvarove, a to uključuje zračne i kopnene patrole, 24/7 nadzor kontrolora i SCADA (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition*) sustave. SCADA sustavi su industrijski upravljački sustavi koji prikupljaju podatke u stvarnom vremenu iz udaljenih lokacija, kako bi omogućili operaterima da nadziru, kontroliraju i analiziraju radne uvjete cjevovodnih sustava. Prikupljaju i obrađuju podatke o tlaku, protoku i temperaturi unutar cjevovoda.

Postoje razni uređaji za kontrolu i detekciju stanja cjevovoda (engl. *in-line*).

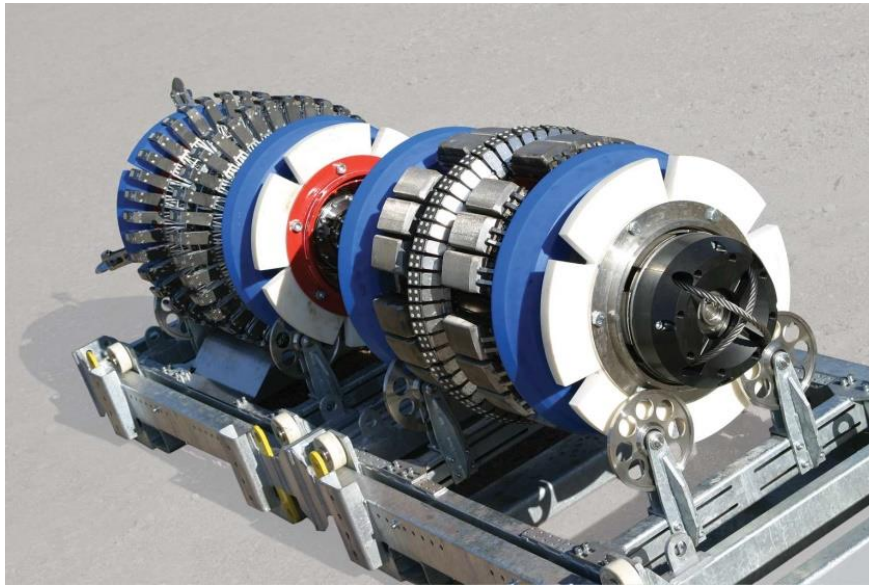
Kaliperi su uređaji koji se koriste za detekciju deformacija unutar cjevovoda. Opremljeni su vrlo osjetljivim oprugama koje detektiraju varijacije u unutarnjem promjeru cjevovoda. Kaliper može otkriti deformacije na bilo kojem dijelu cijevi i daje informaciju o GPS (engl. *Global Positioning System*) lokaciji tih deformacija. Osim toga, kaliper prikuplja podatke o veličini i obliku svake otkrivene deformacije, što je ključno za procjenu ozbiljnosti i potencijalnog utjecaja na integritet cjevovoda. Različite tipove kalipera prikazuje Slika 6-3. (Yorick-Oden-Plants, 2017).



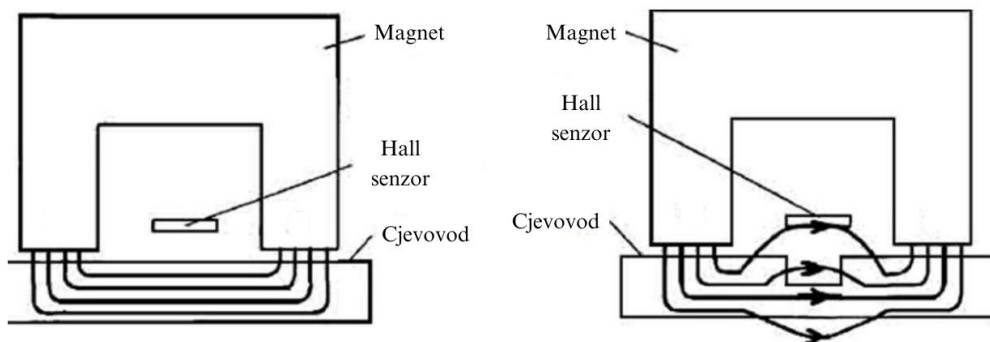
Slika 6-3. Tipovi kalipera (Aprodit, 2024)

Čistači za kontrolu stanja cjevovoda koji rade na principu promjene magnetskog toka (engl. *Magnetic Flux Leakage*, MFL) (Slika 6-4.) induciraju magnetsko polje unutar cjevovoda i mjere promjene u tom polju. Osnovni princip MFL-a je magnetizacija feromagnetnog materijala blizu zasićenja pod utjecajem magnetskog polja. Kada nema defekta, linije magnetskog toka prolaze kroz materijal neometano. U prisustvu defekta kao

što su pukotine ili korozija, zbog promjena u magnetskim svojstvima materijala magnetski otpor raste, iskrivljujući magnetsko polje i stvarajući polje propuštanja (Slika 6-5.). Magnetski senzori detektiraju ovo polje i generiraju električne signale za analizu stanja defekta. S obzirom da metoda MFL ne može razlikovati unutarnja i vanjska oštećenja cjevovoda, za analizu i klasifikaciju prikupljenih podataka koristi se algoritam strojnog učenja (Shi et al., 2015).



Slika 6-4. MFL uređaj (Rosen Group, 2024)



Slika 6-5. Cjevovod bez deformacija i s deformacijama (Shi et al., 2015)

Na magnetsko polje propuštanja utječu: debljina stjenki cjevovoda, materijal od kojeg je cjevovod izrađen, magnetski spojni krugovi, udaljenosti između magnetskih polova, brzina kretanja detektora i varijacije tlaka. Za poboljšanje točnosti, treba odabrati visoku snagu magnetizacije, odgovarajući razmak magnetskih polova i osigurati kretanje detektora za

postizanje najboljih rezultata (Shi et al., 2015). Da bi uređaj mogao detektirati promjene na stijenci plinovoda brzina kretanja čistača treba biti oko 4 m/s, a opada s povećanjem debljine stijenke. S razvojem elektroničkih, računalnih tehnologija i senzora, metode mjerenja magnetskog polja su znatno napredovale. Glavne metode uključuju:

- Hallov efekt (engl. *Hall Effect*): ova metoda koristi Hallove senzore za mjerenje magnetskog polja. Temelji se na naponu koji se generira preko vodiča kada kroz njega prolazi električna struja u prisutnosti magnetskog polja.
- Magnetorezistivni senzori (engl. *Magnetoresistive Sensors*): koriste promjene električnog otpora materijala pod utjecajem magnetskog polja za mjerenje jačine magnetskog polja.
- Fluxgate senzori (engl. *Fluxgate Sensors*): senzori visoke osjetljivosti koji koriste zasićenje magnetskog materijala za detekciju magnetskog polja.
- Optičke metode (engl. *Optical Methods*): koriste optičke senzore za mjerenje promjena u svjetlosnom putu ili intenzitetu uzrokovanih magnetskim poljem, poput Faradayevog efekta.
- Supervodljivi kvantni interferencijski uređaji (engl. *Superconducting Quantum Interference Devices*, SQUID): najosjetljiviji senzori za mjerenje magnetskog polja, koriste supervodljive petlje za detekciju vrlo malih magnetskih polja.

Obrada signala detekcije uključuje prikupljanje podataka, pohranu i komprimiranje te smanjenje šuma. Ovisno o promjeru cjevovoda, broj senzora se mijenja. Nemagnetski podaci uključuju radno stanje detektora, brzinu, položaj, tlak i temperaturu cjevovoda. Statističke metode identifikacije uspostavljaju vezu između oblika defekta i signala magnetskog toka propuštanja. Analizom podataka kvantificiraju se i klasificiraju oblici defekata (Shi et al., 2015).

Čistači za kontrolu stanja cjevovoda mogu koristiti i ultrazvučnu tehnologiju za mjerenje debljine stijenke i detekciju nesavršenosti. Pretvornik proizvodi ultrazvučne valove koji putuju kroz transportirani medij i reflektiraju se od unutarnjih stjenki cjevovoda. Interpretacijom vremena potrebnog za povrat valova do prijemnika određuje se debljina stijenke i detektiraju mjesta oslabljena. Primjer takvog uređaja prikazan je na Slici 6-6. (Yorick-Oden-Plants, 2017).



Slika 6-6. Uređaj koji koristi ultrazvučne valove (LIN SCAN, 2024)

Atmos Pipe je napredni sustav za detekciju propuštanja u cjevovodima koji integrira podatke iz više izvora i senzora instaliranih duž cjevovoda. Atmos Pipe koristi ove podatke za analizu i detekciju propuštanja koristeći SPRT (engl. *Sequential Probability Ratio Test*, SPRT) algoritam. Optička vlakna, raspoređena duž cijele duljine cjevovoda služe za mjerenje temperature (engl. *Distributed Temperature Sensing*, DTS) i kao akustičko osjetilo (engl. *Distributed Acoustic Sensing*, DAS) i tako omogućuju kontinuirano praćenje i točno lociranje propuštanja. Ovi senzori pružaju visoku razinu preciznosti u detekciji vrlo malih propuštanja. Atmos Pipe učinkovito detektira propuštanja i na unutarnjoj i na vanjskoj površini cjevovoda (Atmos International, 2023; AP Sensing, 2023; OptaSense, 2023).

Atmos Eclipse je sustav za detekciju propuštanja, dizajniran za brzu instalaciju. Montira se pomoću stezaljki, čime se eliminira potreba za bušenjem ili zavarivanjem (Slika 6-7.). Ovaj sustav koristi mjerenje protoka, tlaka i temperature kako bi detektirao propuštanja u stvarnom vremenu. Podržava višestruke načine komunikacije putem žičanog ethernet-a, mobilne mreže i radijskih veza. Zahvaljujući svojoj sposobnosti rada u autonomnom načinu, Atmos Eclipse je posebno koristan za primjenu u udaljenim i teško dostupnim područjima (Atmos International, 2023).



Slika 6-7. Atmos Eclipse (Atmos International, 2023)

6.3. Mitigacija

Proizvodi koji se transportiraju cjevovodima opasni su za okolinu te je potrebna hitna intervencija u slučaju bilo kakvog propuštanja medija u okoliš. Najčešći proizvodi koji se transportiraju, kao i njihovi pokazatelji propuštanja i opasnosti, sukladno pripadajućim sigurnosno tehničkim listovima (engl. *Safety Data Sheets*, SDS), navedeni su u Tablici 5-2.

Tablica 6-2. Fluidi koji se transportiraju pomoću cjevovoda (European Chemicals Agency, 2024)

Tvar	Sigurnosno tehnički list	Pokazatelji propuštanja	Opasnosti od ispuštanja	Kontrolne mjere zaštite
Sirova nafta (engl. <i>Crude oil</i> , <i>Petroleum</i>) EC br. 232-298-5	Mercuria Energy Trading B.V. (2021)	Miris nafte, zviždanje ili šištanje, vidljivo ispuštanje tekućine ili pare, mrtva vegetacija u okolici.	Ekstremno zapaljiva tekućina i para, može stvoriti eksplozivne smjese sa zrakom, može uzrokovati ozbiljno oštećenje organa kroz dugotrajnu ili ponovljenu izloženost, otrovna za vodeni okoliš s dugotrajnim učincima.	Osigurati odgovarajuću ventilaciju, koristiti eksplozijski sigurnu opremu i alate, nositi zaštitne rukavice, zaštitnu odjeću, zaštitu za oči i lice, spriječiti ispuštanje u okoliš.
Prirodni plin (engl. <i>Natural gas</i>) EC br. 265-048-9	Gas Networks Ireland (2022)	Miris pokvarenih jaja, glasno tutnjanje poput mlaznog motora, zviždanje, vatra koja izlazi iz tla ili gori na površini, zemlja koja se diže iz rupe u tlu, područje	Vrlo zapaljiv, može istisnuti kisik i uzrokovati gušenje, požar može proizvesti iritantne i/ili otrovne plinove, pare mogu stvoriti eksplozivnu smjesu s zrakom, pare mogu izazvati	Osigurati odgovarajuću ventilaciju, koristiti eksplozijski sigurnu opremu, implementirati sustav radnih dozvola za aktivnosti održavanja, redovito provjeravati sustave na ispuštanje, koristiti odjeću otpornu na plamen i antistatičnu odjeću, osigurati aparate za disanje sa samostalnim dovodom zraka.

Tvar	Sigurnosno tehnički list	Pokazatelji propuštanja	Opasnosti od ispuštanja	Kontrolne mjere zaštite
		zamrznutog tla ljeti, područje otopljenog snijega zimi, područje uginule vegetacije, te mjehurići u lokvama vode.	vrtočlavicu ili gušenje bez upozorenja, lakši je od zraka—može migrirati pod zemljom i u zatvorene prostore.	
Ukapljeni naftni plin (engl. <i>Petroleum gases, liquefied</i>) EC br. 270-704-2	Valero Marketing & Supply Company (2014)	Puhanje prljavštine iz otvora u tlu, smrznuto tlo ljeti, otopljeni snijeg zimi, područja s uginulom vegetacijom, mjehurići u vodenim lokvama.	Vrlo zapaljiv, može istisnuti kisik uzrokujući gušenje, kontakt s kožom može uzrokovati opekline, ozljede ili smrzotine, vatra može proizvesti toksične plinove, pare mogu stvoriti eksplozivnu smjesu s zrakom.	Osigurati odgovarajuću ventilaciju u svim radnim prostorima, izbjegavati izvore topline, iskre i otvoreni plamen, nositi zaštitnu opremu uključujući rukavice i zaštitu za oči, spriječiti ispuštanje u okoliš i koristiti eksplozijski sigurnu opremu.
Naftne tekućine (engl. <i>Fuel gases, crude oil distillates</i>) EC broj 270-670-9	Watson Fuels (2022)	Lokve tekućine na tlu, miris naftnih tekućina ili benzina, uljni film na površini vode, područje s uginulom vegetacijom.	Vrlo zapaljiv, pare su teže od zraka i skupljaju se u niskim područjima, kontakt s kožom može uzrokovati opekline, vatra može proizvesti toksične plinove, otjecanje može uzrokovati zagađenje tla i podzemnih voda, pare mogu stvoriti eksplozivnu smjesu s zrakom.	Koristiti odgovarajuću ventilaciju, eksplozijski sigurnu opremu i alate, nositi zaštitne rukavice, zaštitnu odjeću, zaštitu za oči i lice, spriječiti ispuštanje u okoliš.
Bezvodni amonijak (engl. <i>Ammonia, anhydrous</i>) EC br. 231-635-3	Valero Marketing & Supply Company (2022a)	Bijeli oblak pare, šuštanje ili zviždanje, puhanje prljavštine iz pukotine, nadražujući i oštar miris.	Može istisnuti kisik i uzrokovati gušenje, pare su teže od zraka i skupljaju se u niskim područjima, kontakt s kožom može uzrokovati opekline i ozljede, toksičan i može biti smrtonosan ako se udiše ili apsorbira kroz kožu, pare su izrazito nadražujuće i korozivne, vatra može proizvesti toksične plinove, otjecanje može uzrokovati onečišćenje okoliša.	Osigurati odgovarajuću ventilaciju u svim radnim prostorima, nositi odgovarajuću osobnu zaštitnu opremu (rukavice, zaštitu za oči i lice, respirator), izbjegavati izvore topline i otvoreni plamen, spriječiti ispuštanje u okoliš i koristiti sigurnosnu opremu otpornu na koroziju.
Ugljikov dioksid (engl. <i>Carbon dioxide</i>) EC br. 204-696-9	Airgas USA, LLC. (2018)	Šuštanje ili zviždanje, puhanje prljavštine iz pukotine, područje smrznutog tla ljeti, neobično područje otopljenog snijega zimi, mjehurići u vodenim lokvama.	Može istisnuti kisik i uzrokovati gušenje, kontakt s kožom može uzrokovati opekline, pare su teže od zraka i skupljaju se u niskim područjima, ozljede	Osigurati adekvatnu ventilaciju u radnim prostorima, koristiti osobnu zaštitnu opremu, uključujući rukavice i zaštitu za oči, pohraniti spremnike daleko od izvora topline i sunčeve svjetlosti

Tvar	Sigurnosno tehnički list	Pokazatelji propuštanja	Opasnosti od ispuštanja	Kontrolne mjere zaštite
			ili smrzotine.	
Etanol (engl. <i>Ethanol</i>) EC br. 200-578-6	Fisher Scientific Company (2022)	Lokve tekućine na tlu, miris naftnih tekućina ili benzina, područje s uginulom vegetacijom.	Vrlo zapaljiv, pare su teže od zraka i skupljaju se u niskim područjima, kontakt s kožom može uzrokovati opekline, ozljede ili smrzotine, vatra može proizvesti iritantne i/ili toksične plinove, otjecanje može uzrokovati zagađenje, pare mogu stvoriti eksplozivnu smjesu s zrakom.	Osigurati odgovarajuću ventilaciju u svim prostorima, koristiti eksplozijski sigurnu električnu/ventilacijsku/rasvjetnu opremu, skladištiti na hladnom, dobro prozračenom mjestu, daleko od izvora topline, nositi zaštitu za oči i rukavice.
Benzin (engl. <i>Gasoline</i>) EC br. 289-220-8	Valero Energy Ltd. (2023)	Miris benzina, vidljive pare ili maglica u zraku, curenje iz spremnika ili opreme.	Ekstremno zapaljiv, lako se zapali i može stvoriti eksplozivne smjese sa zrakom, iritacija kože pri dodiru, mogućnost smrtnih posljedica pri udisanju uslijed ulaska u dišne putove, može izazvati vrtoglavicu i pospanost pri udisanju, moguća toksičnost za vodeni okoliš s dugotrajnim učincima.	Osigurati odgovarajuću ventilaciju u svim prostorima, koristiti eksplozijski sigurnu električnu/ventilacijsku/rasvjetnu opremu, skladištiti na hladnom, dobro prozračenom mjestu daleko od izvora topline, nositi zaštitne rukavice i odjeću, izbjegavati ispuštanje u okoliš i koristiti odgovarajuće sustave za kontrolu ispuštanja.
Kerozin (engl. <i>Kerosene</i>) EC br. 953-852-9	Valero Marketing & Supply Company (2023)	Miris kerozina, vidljive pare ili maglica u zraku, curenje iz spremnika ili opreme.	Zapaljiv, može stvoriti eksplozivne smjese sa zrakom, uzrokuje iritaciju kože, štetno ako se udahne, može izazvati pospanost i vrtoglavicu, vrlo toksično za vodeni okoliš s dugotrajnim učincima.	Osigurati odgovarajuću ventilaciju u svim prostorima, koristiti eksplozijski sigurnu električnu/ventilacijsku/rasvjetnu opremu, skladištiti na hladnom, dobro prozračenom mjestu daleko od izvora topline, nositi zaštitne rukavice i odjeću, izbjegavati ispuštanje u okoliš.
Dizel (engl. <i>Diesel</i>) EC br. 269-822-7	Valero Marketing & Supply Company (2022b)	Miris dizela, vidljive pare ili maglica u zraku, curenje iz spremnika ili opreme.	Zapaljiv; može stvoriti eksplozivne smjese sa zrakom, štetno ako se udahne; može uzrokovati pospanost i vrtoglavicu, uzrokuje iritaciju kože, sumnja se na kancerogenost, opasno za vodeni okoliš s dugotrajnim učincima.	Osigurati odgovarajuću ventilaciju u svim prostorima, koristiti eksplozijski sigurnu električnu/ventilacijsku/rasvjetnu opremu, izbjegavati ispuštanje u okoliš.

Tvar	Sigurnosno tehnički list	Pokazatelji propuštanja	Opasnosti od ispuštanja	Kontrolne mjere zaštite
Vodik (engl. <i>Hydrogen</i>) EC br. 215-605-7	Airgas USA, LLC. (2020)	Šuštanje ili zviždanje, neobično područje otopljenog snijega zimi, područje s mrtvom vegetacijom, mjehurići u vodenim lokvama.	Vrlo zapaljiv, lakši je od zraka i može istisnuti kisik i uzrokovati gušenje, vatra može proizvesti iritantne i/ili toksične plinove, pare mogu stvoriti eksplozivnu smjesu s zrakom.	Osigurati odgovarajuću ventilaciju u svim prostorima, držati dalje od izvora topline, iskrica i otvorenog plamena, koristiti eksplozijski sigurnu električnu/ventilacijsku/rasvjetnu opremu, skladištiti na hladnom, dobro prozračenom mjestu, daleko od izvora topline

Sigurnosno-tehnički list (STL) za određenu tvar pruža detaljan prikaz svih ključnih informacija potrebnih za sigurno rukovanje, skladištenje i transport te tvari, s posebnim naglaskom na njezine fizikalno-kemijske karakteristike, opasnosti, te odgovarajuće mjere zaštite. STL je strukturiran kako bi omogućio korisnicima razumijevanje potencijalnih rizika i pravilno upravljanje tim rizicima u industrijskom okruženju. Prvi dio STL-a sadrži osnovne identifikacijske podatke, uključujući naziv tvari, njezin kemijski sastav, te informacije o proizvođaču ili distributeru. Zatim slijedi identifikacija opasnosti, gdje su navedene glavne opasnosti povezane s tvari. Tako npr., benzin je klasificiran kao izrazito zapaljiv, što znači da postoji visok rizik od požara ili eksplozije pri neodgovarajućem rukovanju. Također, može uzrokovati ozbiljne zdravstvene probleme, uključujući oštećenje organa uslijed dugotrajne ili ponovljene izloženosti, te predstavlja značajnu opasnost za okoliš, osobito za vodene ekosustave (Valero Energy Ltd., 2023).

STL dalje pruža detaljne upute za pružanje prve pomoći u slučaju izloženosti tvari. Upute za prvu pomoć uključuju:

- **Inhalacija:** U slučaju udisanja, odmah osigurati svježi zrak. Ako osoba ne diše, započeti s umjetnim disanjem i hitno potražiti medicinsku pomoć.
- **Kontakt s kožom:** U slučaju kontakta s kožom, odmah isprati zahvaćeno područje s puno vode i sapuna. Kontaminiranu odjeću treba odmah skinuti i isprati prije ponovne upotrebe. Ako se pojavi iritacija ili osip, potražiti liječničku pomoć.
- **Kontakt s očima:** U slučaju kontakta s očima, odmah ih temeljito isprati s puno vode u trajanju od najmanje 15 minuta, povremeno podižući gornje i donje kapke. Ako se iritacija nastavi, potražiti medicinsku pomoć.
- **Gutanje:** Ako se tvar proguta, ne izazivati povraćanje. Osobi treba dati vodu, ali samo ako je pri svijesti i ako nije u grču. Odmah potražiti medicinsku pomoć.

Protupožarne mjere su posebno istaknute s obzirom na zapaljivost tvari. STL opisuje preporučena sredstva za gašenje požara, poput pjene, CO₂, ili suhog kemijskog praha, te upozorava na opasnosti od otrovnih plinova koji mogu nastati tijekom gorenja.

Dio koji se bavi postupcima u slučaju slučajnog ispuštanja tvari naglašava važnost brzog djelovanja kako bi se spriječilo daljnje širenje tvari i minimizirala ekološka šteta. Preporučene su metode za izolaciju područja i sprječavanje ulaska tvari u vodene tokove.

Mjere za sigurno rukovanje i skladištenje tvari uključuju preporuke za ventilaciju, korištenje eksplozijski sigurne opreme, te mjere osobne zaštite, poput nošenja zaštitne odjeće, rukavica i zaštite za oči. STL također daje smjernice za sigurno skladištenje, poput održavanja niskih temperatura i izbjegavanja blizine izvora topline.

Stabilnost i reaktivnost tvari su opisani s posebnim naglaskom na uvjete koje treba izbjegavati kako bi se spriječila opasna razgradnja ili kemijske reakcije. To uključuje izbjegavanje kontakta s oksidansima, kiselinama i drugim reaktivnim kemikalijama.

Toksični podaci ukazuju na potencijalne učinke tvari na ljudsko zdravlje, uključujući akutne i kronične učinke. Ekotoksični podaci, s druge strane, opisuju utjecaj tvari na okoliš, s posebnim naglaskom na vodene ekosustave, gdje tvar može imati dugotrajne štetne učinke.

Mjere zbrinjavanja detaljno opisuju postupke za sigurno odlaganje tvari i ambalaže, kako bi se minimizirao utjecaj na okoliš. Konačno, transportne informacije pružaju smjernice za siguran transport tvari, uz poštivanje međunarodnih standarda za opasne materijale (Valero Energy Ltd., 2023)

Reakcija osoblja u slučaju propuštanja cjevovoda ključna je za brzo i učinkovito suzbijanje potencijalno opasnih situacija te smanjenje štete po okoliš i zdravlje ljudi. U mnogim regulatornim okvirima postoje obveze za subjekte koji mogu onečistiti okoliš za ugovaranjem usluga hitne intervencije. Ove obveze su usmjerene na sprječavanje i minimiziranje štete u slučaju incidenta koji može izazvati zagađenje okoliša. Tako u Republici Hrvatskoj, sukladno Zakonu o zaštiti okoliša (NN 80/13, 153/13, 78/15, 12/18, 118/18), ali i pripadajućim aktima, prije svega Uredbi o odgovornosti za štete u okolišu (NN 31/17 i 50/20), kao i Uredbi o sprječavanju velikih nesreća koje uključuju opasne tvari (NN 44/14, 31/17, 45/17), a prema načelu otklanjanja i sanacije štete u okolišu na izvoru nastanka, ako je šteta u okolišu nastala kao rezultat obavljanja djelatnosti fizičke ili pravne osobe, isti su je dužni otkloniti, odnosno sanirati. Prema Zakonu o zaštiti na radu (NN 71/14, 118/14, 94/18 i 96/18), poslodavac mora poduzeti mjere za zaštitu od požara i spašavanje radnika. To uključuje izradu plana

evakuacije i spašavanja, imenovanje radnika odgovornih za provedbu tih mjera, te omogućavanje i koordinaciju s javnim službama zaduženim za zaštitu od požara i spašavanje, u skladu s odgovarajućim propisima.

Koraci u postupanju kod akcidenata vezanih uz transport cjevovodima, prema DOT-u uključuju sljedeće (Pipeline Association for Public Awareness, 2023):

- Korak 1: Oprezno pristupiti lokaciji

Kako bi se osigurala sigurnost hitnih službi tijekom akcidenta koji uključuje propuštanje, izlivanje ili požar na cjevovodu, pristupa se mjestu događaja s oprezom. Smanjuje se rizik od izlaganja opasnim parama, dimu i izlivanjima. Koristi se odgovarajuća oprema za praćenje zraka kako bi se utvrdio opseg širenja para. Ključno je odoljeti porivu za brzim djelovanjem dok se ne saznaju dodatne informacije o proizvodu i povezanim opasnostima, s obzirom na potencijalnu prisutnost različitih požarnih i zdravstvenih rizika.

- Korak 2: Osigurati mjesto akcidenta

Potrebno je izolirati područje i zabraniti ulaz neovlaštenim osobama. U slučaju vjetra, potrebno je provesti evakuaciju svih osoba. Veličina područja koje treba ograničiti određuje se lokacijom i veličinom izlivanja, kao i atmosferskim uvjetima koji utječu na udaljenosti izolacije. Za označavanje ugroženih zona koriste se vidljive oznake, trake i prometni čunjevi. Definiraju se rute za ulazak i izlazak te plan evakuacije u slučaju pogoršanja uvjeta, osiguravajući dovoljno prostora za uklanjanje vlastite opreme.

- Korak 3: Identificirati opasnosti

Fizička i kemijska svojstva proizvoda definiraju njegovo ponašanje. Hitne službe analiziraju problem i procjenjuju potencijalne ishode na temelju uključenih opasnih materijala. Razumijevanje opasnosti omogućuje shvaćanje rizika i odabir najboljeg tijeka akcija koje pokazuju najmanji rizik. Koristi se oprema za praćenje kvalitete zraka primjerena materijalima u cjevovodu. Primjenjuje se najviša razina zaštite dok se ne utvrdi da je područje sigurno od zapaljivih, toksičnih, mehaničkih i električnih opasnosti.

- Korak 4: Zatražiti dodatnu pomoć

U slučaju potrebe, do aktiviranja lokalnog plana hitne intervencije, potrebno je poslati dodatno obučeno osoblje na mjesto akcidenta. Osigurava se da su obaviješteni i drugi lokalni odjeli za hitne intervencije. Prilikom odgovora na akcident, potreban je oprez s obzirom na mogućnost pojave eksplozivne atmosfere. Putem hitne telefonske linije

obavještava se operater cjevovoda. Kontrolni centar cjevovoda također može imati mogućnost daljinskog otvaranja i zatvaranja ventila na razdjelnicima.

- Korak 5: Zaštita ljudi, imovine i okoliša

Zaštita ljudi je najviši prioritet. Dok operater cjevovoda radi na izolaciji cjevovoda, hitne službe zadužene su za uklanjanje izvora paljenja i evakuaciju javnosti iz opasnog područja. Izvori paljenja uključuju: električne motore, vatreno oružje, vozila, telefone, mobitele, cigarete, građevinsku opremu, osobne elektroničke uređaje, statički elektricitet, otvoreni plamen ili iskre. Hitna vozila parkiraju se na sigurnoj udaljenosti. Zabranjene su određene aktivnosti, poput paljenja šibica, pokretanja motora, korištenja telefona, ili bilo čega što može izazvati iskr.

Prema potrebi nalaže se ostanak u skloništu, uz davanje jasnih uputa i čestih ažuriranja obavijesti za javnost. U ugroženo područje se ulazi samo s odgovarajućom zaštitnom opremom, poput zaštitne odjeće za vatrogasce i samostalnog aparata za disanje. Koristi se najviša razina opreza, jer niti jedan materijal za zaštitnu odjeću ne štiti od svih opasnih materijala.

Akcidenti na cjevovodima zahtijevaju koordinaciju informacija i resursa između svih sudionika. Primjena sustava zapovijedanja u izvanrednim situacijama (engl. *Incident Command System*, ICS) osigurava zajedničku terminologiju, organizacijsku strukturu, dužnosti i operativne postupke među operativnim osobljem i raznim federalnim, državnim i lokalnim agencijama koje mogu biti uključene u operacije odziva na neželjeni događaj (Pipeline Association for Public Awareness, 2023).

6.3.1. Postupak rehabilitacije cjevovoda

Prilikom odlučivanja kako popraviti oštećenje na cjevovodu, operateri uzimaju u obzir ozbiljnost oštećenja, trošak popravka i rizik za ljude i okoliš. Brušenje je česta metoda koja se koristi za popravak udubljenja i pukotina na cjevovodima, ali je primjenjiva samo pod određenim okolnostima. Kada se može ukloniti sav oštećeni metal, bez ugrožavanja nosivosti cjevovoda, brušenje se smatra trajnim rješenjem. Prema federalnim propisima u Kanadi i SAD-u, dopušteno je ukloniti 40 % nominalne debljine stjenke. U slučaju kada popravak podrazumijeva uklanjanje više od 40 % nominalne debljine stjenke, potrebno je kombinirati brušenje i ugradnju čeličnog ojačanog rukavca ili kompozitnog materijala kako bi se očuvala strukturna stabilnost i sigurnost sustava.

Alternativno, cjevovod se može ojačati vanjskom obujmicom ili nemetalnim kompozitnim omotačem, čime se sprječava daljnje oštećenje i produžuje vijek trajanja cjevovoda. Čelične obujmice koje potpuno obuhvaćaju cjevovod tradicionalno su bile široko korištene za popravke kopnenih cjevovoda. Međutim, zbog potrebe za zavarivanjem njihova primjena je manje popularna kod podmorskih cjevovoda. Podvodno zavarivanje nosi značajne rizike, uključujući povećanu vjerojatnost loše kvalitete zavara, odnosno posljedično može doći do istjecanja sadržaja u okoliš, i ozljeda osoblja tijekom rada uslijed električnog udara, eksplozija i dekompresijske bolesti.

Čelični rukavci sastoje se od dvije polovice cilindričnog segmenta koji se postavlja oko oštećenog segmenta cijevi. Postoje dvije vrste čeličnih rukavaca: tip A i tip B. Rukavci tipa A pružaju ojačanje cjevovoda bez potrebe za zavarivanjem što ih čini jednostavnijim za instalaciju. Međutim, ne mogu se koristiti za popravak kružno orijentiranih defekata jer ne smanjuju uzdužni stres, tj. ne pomažu u smanjenju napetosti duž cijevi, niti su dizajnirani da drže ili kontroliraju unutarnji tlak u cijevi. U takvim situacijama se često koriste kompozitno ojačani rukavci, izrađeni od materijala poput stakloplastike koji dodatno osiguravaju strukturnu stabilnost. Rukavci tipa B su zavareni na nosivu cijev na svakom kraju, što im omogućuje popravak i ojačanje kružno usmjerenih defekata. Za razliku od rukavaca tipa A, rukavci tipa B koji su zavareni na cijev na oba kraja, dizajnirani su da zadrže unutarnji pritisak i pružaju potporu cijeloj dužini oštećenog segmenta (Yorick-Oden-Plants, 2017).

U određenim slučajevima najsigurniji način sanacije oštećenog cjevovoda je zamjena oštećenog segmenta. Ovaj postupak zahtijeva privremeno isključenje cjevovoda ili izolaciju oštećenog segmenta uz smanjeni tlak. Sustav se propuhuje inertnim plinom kako

bi se uklonila sirova nafta i smanjila mogućnost eksplozije. Ukoliko se ne uklanja sadržaj cjevovoda, operateri mogu zatvoriti ventile na oba kraja oštećenog segmenta. Operateri ponekad za istu svrhu koriste zamrzavanje. Postupak zamrzavanja koristi tekući dušik za zamrzavanje sadržaja prije i poslije segmenta koji treba zamijeniti. Nakon što je proizvod uklonjen ili izoliran, oštećeni segment cjevovoda se izrezuje u obliku cilindra i zamjenjuje unaprijed hidrotestiranom cijevi, čime se osigurava da novi dio može izdržati radni tlak. Nakon inspekcije zavara, protok proizvoda može se nastaviti. U nekim slučajevima, operateri koriste metodu poznatu kao "hot tie-in", pri kojoj se cjevovod uklanja dok je proizvod još uvijek prisutan u sustavu. Održavanjem niskog pozitivnog tlaka u cjevovodu, osoblje može obavljati postupke zavarivanja i rezanja cijevi, istovremeno kontrolirano spaljujući ispušteni proizvod. Iako je uklanjanje jedan od skupljih postupaka popravka, smatra se trajnim rješenjem za bilo koji defekt cjevovoda (Yorick-Oden-Plants, 2017).

Ponekad se za popravak cjevovoda koristi postupak poznat kao "hot tapping". Ovaj postupak započinje zavarivanjem spojnice na cijev bez potrebe za ispuštanjem sadržaja. Nakon toga se na priрубnicu postavlja ventil, koji se otvara i kroz njega se spušta uređaj za "hot tapping" koji je opremljen rezačem cijevi. Slijedi rezanje cijevi, uređaj se povlači kroz ventil zajedno s izrezanim dijelom cjevovoda. Kroz otvoren ventil potom se postavlja uređaj za brtvljenje (engl. *plugging machine*) (Slika 6-8.), koji umeće proširivi čep (engl. *expandable plug*). Nakon toga se uređaj za brtvljenje uklanja, a ventil se zatvara. Postupak se ponavlja na drugom kraju segmenta cijevi kojeg je potrebno zamijeniti. Na taj način, samo nafta ili plin između dva čepa trebaju biti ispušteni iz sustava. Nakon što se zamijeni dio cjevovoda, čepovi se uklanjaju, te se cjevovod pušta u rad. Dobro planiran i izveden postupak može se završiti za manje od 24 sata, čime se minimizira vrijeme kada je cjevovod izvan upotrebe (Miesner i Leffler, 2020).



Slika 6-8. "Hot tapping" uređaj (Pacific Flow Control, 2021)

Kada potreba za opskrbom ne omogućuje potpuno zaustavljanje cjevovoda, potrebno je uspostaviti zaobilaznicu oko dijela koji se mijenja, kako bi se omogućio daljnji protok nafte ili plina. U takvim slučajevima također se primjenjuje uređaj „hot tapping“. Postupak uključuje zavarivanje spojnih elemenata i ventila na obje strane oštećenog dijela cjevovoda. Jedan set služi za obustavu protoka u glavnom cjevovodu, dok se drugi spaja na zaobilaznu cijev koja omogućuje nastavak protoka izvan oštećenog dijela. Nakon što se oštećeni dio cjevovoda sanira, zaobilaznica se uklanja. Spojni elementi su dizajnirani da ostanu na cjevovodu kao stalni dijelovi sustava, omogućavajući buduće popravke i prilagodbe bez potrebe za velikim prekidima u radu. Nakon što su spojni elementi zatvoreni, cjevovod se podvrgava testiranju kako bi se provjerila funkcionalnost i sigurnost (Miesner i Leffler, 2020).

7. ZAKLJUČAK

Analizirani su akcidenti u cjevovodnim sustavima transporta nafte i plina, s ciljem identifikacije uzroka nesreća, procjene njihove učestalosti i posljedica. Na temelju analize podataka dostupnih baza, kao što su EGIG, CONCAWE, PHMSA i druge, uočava se značajno smanjenje učestalosti akcidenata na cjevovodima tijekom posljednjih desetljeća, što je direktno povezano s implementacijom naprednijih tehnologija i pojačanim sigurnosnim mjerama. Međutim, analiza također pokazuje da korozija i utjecaji treće strane ostaju dominantni uzroci incidenta, što upućuje na potrebu za daljnjim fokusom na preventivne mjere. Standardi zaštite od korozije, iako poboljšani, još su uvijek nedovoljni u odnosu na potencijalne rizike u određenim geografskim i operativnim uvjetima. Nadalje, utjecaj treće strane, uključujući nenamjerna oštećenja tijekom provođenja građevinskih radova, zahtijevaju bolju koordinaciju i informiranje lokalnih zajednica o postojanju i lokaciji cjevovoda. Ovi nalazi upućuju na nužnost razvoja integriranih strategija koje kombiniraju tehnička rješenja, regulatorne reforme i obrazovne kampanje usmjerene na sve sudionike u ekosustavima cjevovoda. Ovako sveobuhvatan pristup će biti ključan za održavanje trenda smanjenja akcidenata i osiguranje dugoročne sigurnosti i održivosti globalnih transportnih sustava nafte i plina. Također je ukazano na važnost međunarodnih i europskih regulativa u osiguravanju uniformnih sigurnosnih standarda cjevovodnih sustava, naglašavajući potrebu za daljnjim unaprjeđenjem standarda u skladu s novim tehnološkim dostignućima i klimatskim promjenama. Naime, s obzirom na pretpostavku da klimatske promjene utječu na otpornost infrastrukture, potrebna su dodatna istraživanja

kako bi se razumjelo kako ekstremni vremenski uvjeti utječu na sustave cjevovoda i koje mjere prilagodbe je moguće primijeniti.

Zaključno, ovaj rad pridonosi razumijevanju složenosti sigurnosnih izazova u transportu nafte i plina te naglašava važnost integriranog pristupa u upravljanju rizicima, koji uključuje tehničke, regulativne i organizacijske mjere kako bi se minimizirale posljedice nesreća i osigurala stabilnost opskrbe energijom. Učinkovitost specifičnih tehnoloških napredaka u praćenju i održavanju, poput „inteligentnog“ pregleda cjevovoda (engl. *smart pigging*), praćenja podataka u stvarnom vremenu i naprednih mjera zaštite od korozije značajno je doprinijela smanjenju učestalosti kvarova. Buduća istraživanja trebala bi se fokusirati na integraciju umjetne inteligencije i strojnog učenja za predviđanje i prevenciju kvarova prije njihova nastanka. Jačanje međunarodnih i europskih regulativa također može igrati ključnu ulogu kod prilagođavanja novih tehnoloških dostignuća okolišnoj problematici.

8. LITERAURA

1. Airgas USA, LLC. 2018. *Safety Data Sheet: Carbon Dioxide* (Version 0.03). URL: <https://www.airgas.com>
2. Airgas USA, LLC. 2020. *Safety Data Sheet: Hydrogen* (Version 1.01). URL: <https://www.airgas.com>
3. American Geosciences Institute. 2018. *Pipeline Transportation of Oil and Gas*. URL: <https://www.americangeosciences.org>
4. American Petroleum Institute (API). 1999. *API 1104: Standard for Welding Pipelines and Related Facilities* (19th ed., Errata 1, October 31, 2001). Washington, D.C.: Author. URL: <https://www.api.org> (1. rujana 2024.)
5. American Petroleum Institute. 2019. *API Recommended Practice 1160: Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines* (3rd ed.). URL: <https://www.api.org> (10. kolovoza 2024.)
6. American Petroleum Institute (API). 2020. *API Specification 5L: Specification for Line Pipe* (46th ed.). Washington, DC: API Publishing. URL: <https://www.api.org>
7. American Petroleum Institute (API). 2021. *API Standards: Welding of Pipelines and Related Facilities*. URL: https://pubs.aws.org/Download_PDFS/API1104-2021-PV.pdf (11. kolovoza 2024.)
8. American Petroleum Institute (API). 2023. *API Standards: Safety and Environmental Protection for the Oil and Gas Industry*. URL: <https://www.api.org> (11. kolovoza 2024.)
9. ANIMAH, I., SHAFIEE, M. 2022. *Status of ISO 45001:2018 implementation in Seaports: A Case Study*. Proceedings of the 32nd European Safety and Reliability Conference (ESREL 2022), str. 1100-1107. Research Publishing, Singapore. DOI: 10.3850/978-981-18-5183-4_R19-04-596-cd.

10. AP Sensing. 2023. *Distributed Temperature Sensing (DTS) for Pipeline Monitoring*. URL: <https://www.apsensing.com> (26.srpnja 2024.)
11. Aprodit. 2024. *Equipment for Pigging and Inspections of Pipelines*. URL: <https://www.pigging.tools/> (11. srpnja 2024.)
12. Atmos International. 2023. *Atmos Pipe: Advanced Leak Detection for Pipelines*. URL: <https://www.atmosi.com> (17. kolovoza 2024.)
13. ARIA. 2022. *Analysis, Research and Information on Accidents (ARIA) Database*. Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles. URL: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr> (3.srpnja 2024.)
14. BARPI. 2013. *Analysis, Research and Information on Accidents (ARIA) Database*. Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles. URL: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr> (3.srpnja 2024.)
15. BARPI. 2014. *Analysis of Pipeline Accidents in France and International Examples: Case Study of the Marshall Oil Spill (ARIA 44816)*. Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles. URL: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr> (3.srpnja 2024.)
16. BARPI. 2015. *Analysis of the Wesseling Refinery Kerosene Spill (ARIA 43139)*. Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles. URL: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr> (3.srpnja 2024.)
17. BIANCHINI, A., GUZZINI, A., PELLEGRINI, M., SACCANI, C. 2018. *Natural gas distribution system: A statistical analysis of accidents data*. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 168, 24-38.
18. BP. 2021. *Baku-Tbilisi-Ceyhan Pipeline Overview*. BP Azerbaijan, URL: https://www.bp.com/en_az/caspian/operationsprojects/pipelines/BTC.html (14.srpnja 2024.)
19. British Geological Survey (BGS). 2021. *Advancements in Risk Management Using Geospatial Technologies: A Comparison with Traditional Methods*. URL: <https://www.bgs.ac.uk> (14.srpnja 2024.)
20. British Standards Institution. 2024. *BS EN 14161:2011 - Petroleum and natural gas industries - Pipeline transportation systems*. BSI.
21. BUBBICO, R. 2018. *A statistical analysis of causes and consequences of the release of hazardous materials from pipelines: The influence of layout*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 56, 458-466.

22. Bureau of Transportation Statistics (BTS.gov). 2024. *Pipeline Safety and Management Standards in the United States*. URL: <https://www.bts.gov> (16.srpnja 2024.)
23. BURGESS, N. 2015. *First Successful U.S. Oil Pipeline*. EARTH Magazine, URL: www.earthmagazine.org/article/benchmarks-october-9-186 (6.srpnja 2024.)
24. CIGNA, F., OSMANOGLU, B., CABRAL-CANO, E. 2012. *Advanced Techniques for Pipeline Monitoring: Synthetic Aperture Radar (SAR) and Geographical Information Systems (GIS) Applications*. Journal of Applied Remote Sensing, 6(1), 061703. URL: <https://doi.org/10.1117/1.JRS.6.061703>
25. Concawe. 2010a. *History and Mission of CONCAWE*. URL: <https://www.concawe.eu> (4.srpnja 2024.)
26. Concawe. 2010b. *Membership and Industry Representation*. URL: <https://www.concawe.eu> (4.srpnja 2024.)
27. Concawe. 2019. *Performance of European Cross-Country Oil Pipelines: Statistical Summary of Reported Spillages in 2017 and Since 1971*. Report no. 7/24. URL: <https://www.concawe.eu> (4.srpnja 2024.)
28. Concawe. 2020. *Annual Report 2020: Oil Pipeline Spills and Environmental Impact*. URL: <https://www.concawe.eu> (4.srpnja 2024.)
29. Concawe. 2024. *Performance of European Cross-Country Oil Pipelines: Statistical Summary of Reported Spillages in 2022 and Since 1971*. Report no. 7/24. URL: <https://www.concawe.eu> (4.srpnja 2024.)
30. Energy Connections Canada. 2023. *Pipeline Types and Their Uses in Energy Transportation*. URL: <https://energyconnectionsCanada.com/pipeline-types> (21.srpnja 2024.)
31. Environmental Protection Agency. 2024. *National Response Center: Reporting Oil and Chemical Spills*. Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/emergency-response/national-response-center> (21.srpnja 2024.)
32. European Chemicals Agency (ECHA). 2024. *Registered substances*. URL: <https://echa.europa.eu/>
33. European Union. 2022. *Directive (EU) 2022/2555 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 on measures for a high common level of cybersecurity across the Union*. Official Journal of the European Union. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content> (13.srpnja 2024.)

34. Eur-Lex. 2013. *Directive 2013/30/EU on the Safety of Offshore Oil and Gas Operations*. URL: <https://eur-lex.europa.eu> (9.srpnja 2024.)
35. Eur-Lex. 2020. *Directive 2010/75/EU on Industrial Emissions (Integrated Pollution Prevention and Control)*. URL: <https://eur-lex.europa.eu> (9.srpnja 2024.)
36. Eur-Lex. 2021. *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Methane Emissions Reduction in the Energy Sector*. URL: <https://eur-lex.europa.eu> (9.srpnja 2024.)
37. European Commission. 2024. *eNatech Database: Understanding and Preventing Natech Accidents*. URL: <https://european-union.europa.eu> (3.srpnja 2024.)
38. European Gas Pipeline Incident Data Group (EGIG). 2020. *11th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970 – 2019)*. URL: <https://www.egig.eu> (13.lipnja 2024.)
39. Fisher Scientific Company. 2022. *Safety Data Sheet: Ethanol, Anhydrous (Histological)*. URL: <https://www.fishersci.com> (4.rujna 2024.)
40. Gas Networks Ireland. 2022. *Safety Data Sheet: Natural Gas*. URL: <https://www.gasnetworks.ie> (15.kolovoza 2024.)
41. Gazprom. 2021. *Yamal-Europe Pipeline*. Gazprom, URL: <https://www.gazprom.com/projects/yamal-europe> (20.kolovoza 2024.)
42. GIRGIN, S., KRAUSMANN, E. 2016. *Historical analysis of U.S. onshore hazardous liquid pipeline accidents triggered by natural hazards*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 578-590.
43. GlobalData Plc. 2023. *Oil and Gas Pipelines Industry Outlook in Europe to 2023*. URL: <https://www.globaldata.com> (2.srpnja 2024.)
44. Global Energy Monitor. 2024. *Urengoy-Pomary-Uzhgorod Gas Pipeline*. GEM Wiki. URL: https://www.gem.wiki/Urengoy-Pomary-Uzhgorod_Gas_Pipeline (14.srpnja 2024.)
45. HAO, Y., YANG, W., XING, Z., YANG, K., SHENG, L., YANG, J. 2019. *Calculation of accident probability of gas pipeline based on evolutionary tree and moment multiplication*. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 176, 103955.
46. JOHNSON, R. 2021. *Advanced Techniques in Vibration and Hydraulic Surge Management: The Evolution of Mechanical Dampers and Flexible Couplings*. *Journal of Pipeline Engineering*, 43(4), 223-235. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jpipelineeng.2021.03.007>

47. Kenovel. 2024. *Compensateur Caoutchouc Elaflex* URL: <https://kenovel.be/compensateur-caoutchouc-elaflex.html?locale=de> (4.kolovoza 2024.)
48. LAM, C., ZHOU, W. 2016. *Statistical analyses of incidents on onshore gas transmission pipelines based on PHMSA database*. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 145, 29-40.
49. LIN SCAN. 2024. *Advanced Pipeline & Tank Services Private Limited*. URL: <https://www.indiamart.com/lin-scan-advanced-pipeline-tank-services-private-limited/> (24.kolovoza 2024.)
50. LIU, S. 2021. *Statistically analyzing the characteristics of gas pipelines accidents based on PHMSA database*. Paper presented at the ASME 2021 Pressure Vessels & Piping Conference, July 13-15, Virtual Conference. DOI: 10.1115/PVP2021-61937
51. Mentor IMC Group. (2019). *World's Longest Pipelines: Natural Gas*. URL: <https://www.mentorimcgroup.com> (27.kolovoza 2024.)
52. Mercuria Energy Trading B.V. 2021. *Safety Data Sheet: Petroleum, Crude oil* (Version 2.0). URL: <https://www.mercuria.com> (19.kolovoza 2024.)
53. MIESNER, T. O., LEFFLER, W. L. 2020. *Oil and Gas Pipelines in Nontechnical Language* (2nd ed.). PennWell Books. ISBN: 9781593705015.
54. MOORE, J. 2020. *Advanced Pipeline Coating Solutions: 3M Scotchkote and Denso™ Tape Systems*. Journal of Pipeline Engineering, 39(2), 105-117. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jpipelineeng.2020.02.004>
55. Nord Stream AG. n.d. *Nord Stream Pipeline Overview*. Nord Stream AG, URL: <https://www.nord-stream.com> (16.srpnja 2024.)
56. U.S. Environmental Protection Agency. 1970. *Clean Air Act*. URL: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview> (16.srpnja 2024.)
57. U.S. Environmental Protection Agency. 1972. *Summary of the Clean Water Act*. URL: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act> (26.srpnja 2024.)
58. O'KEEFE, T. n.d. *Big Inch and Little Big Inch*. Texas State Historical Association. URL: <https://www.tshaonline.org/handbook/entries/big-inch-and-little-big-inch> (10.srpnja 2024.)
59. Oil Region Alliance. 2023. *History of Oil and Gas Pipelines*. URL: <https://oilregion.org> (6.kolovoza 2024.)

60. OptaSense. 2023. *Distributed Acoustic Sensing (DAS) for Pipeline Monitoring*. URL: <https://www.optasense.com> (29.srpnja 2024.)
61. PALMER J.D., JOHNSON J. 2024. *Big Inch and Little Big Inch*. Handbook of Texas Online, URL: <https://www.tshaonline.org/handbook/entries/big-inch-and-little-big-inch> (26.srpnja 2024.)
62. Pacific Flow Control. 2021. *Hot Tapping*. URL: <https://pacificflowcontrol.ca/hot-tapping> (17.kolovoza 2024.)
63. PARKER, C. M. 2004. *The Pipeline Industry Meets Grief Unimaginable: Congress Reacts with the Pipeline Safety Improvement Act of 2002*. Natural Resources Journal, 44, 243-282. URL: <https://pstrust.org/a-brief-history-of-federal-pipeline-safety-laws> (17.kolovoza 2024.)
64. PATON, D., JOHNSTON, D. (2001). *Disaster Management and GIS: Integration and Applications*. Journal of Applied Geography, 21(1), 53-68. URL: [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(00\)00017-8](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(00)00017-8)
65. PHMSA. 2024. *Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration: Ensuring Safe Transportation of Energy and Hazardous Materials*. URL: <https://www.phmsa.dot.gov> (17.srpnja 2024.)
66. Pipeline Association for Public Awareness. 2023. *Pipeline emergency response guidelines*. URL: <https://pipelineawareness.org> (17.srpnja 2024.)
67. Pravilnik o tehničkim uvjetima i normativima za siguran transport tekućih i plinovitih ugljikovodika magistralnim naftovodima i plinovodima te naftovodima i plinovodima za međunarodni transport. Narodne novine, broj 26/15. URL: <https://narodne-novine.nn.hr> (10.kolovoza 2024.)
68. Pravilnik o tehničkim normativima pri istraživanju i eksploataciji nafte, zemnih plinova i slojnih voda. Narodne novine, broj 43/79, 41/81, 15/82, 53/91. URL: <https://narodne-novine.nn.hr> (10.kolovoza 2024.)
69. Pravilnik o bitnim tehničkim zahtjevima, sigurnosti i zaštiti pri istraživanju i eksploataciji ugljikovodika iz podmorja Republike Hrvatske. Narodne novine, broj 36/04, 52/10. URL: <https://narodne-novine.nn.hr> (10.kolovoza 2024.)
70. RODRÍGUEZ-MARTÍN, M., RODRÍGUEZ-GONZÁLVEZ, P., DOMINGO, R. 2023. *Asking about Risk in a Company: A New Approach to Learning ISO 45001 in Engineering Programs*. Standards, 3(1), 21-30. DOI: 10.3390/standards3010003
71. Rosen Group 2024. URL: <https://www.rosen-group.com/en> (17.srpnja 2024.)

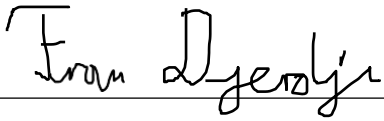
72. SHI, Y., ZHANG, C., LI, R., CAI, M., JIA, G. 2015. *Theory and Application of Magnetic Flux Leakage Pipeline Detection*. *Sensors*, 15(12), 29845-29867. URL: <https://doi.org/10.3390/s151229845>
73. SMITH, J. A. 1950. *The Transformation of the Big Inch and Little Big Inch Pipelines: From War Assets to National Infrastructure*. New York: XYZ Publishing.
74. Southern Gas Corridor AG. 2024. *TANAP - The Trans Anatolian Natural Gas Pipeline Project*. URL: <https://www.tanap.com> (20.kolovoza 2024.)
75. StudyLib.net. n.d. *ISO 13623:2017 Petroleum and natural gas industries – Pipeline transportation systems*. URL: <https://studylib.net/document/25238837/iso-13623-2017-petroleum-and-natural-gas-industries-pipeline-transportation-systems> (11.kolovoza 2024.)
76. Tehnički leksikon. 2007a. *Katodna zaštita cjevovoda*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža.
77. Tehnički leksikon. 2007b. *Lutajuća struja*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža.
78. TELESCA, L., LOVALLO, M. 2008. *Analysis of the temporal properties in car accident time series*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(13), 3299-3304.
79. The George C. Marshall Foundation. 2024. *The Marshall Plan: Rebuilding Europe After World War II*. URL: <https://www.marshallfoundation.org/the-marshall-plan> (10.kolovoza 2024.)
80. Trans-Austria Gasleitung GmbH. 2024. *Company Overview and Pipeline Information*. URL: <https://www.taggmbh.at> (11.kolovoza 2024.)
81. Transport Safety Board of Canada. 2021. *About the TSB: Improving Transportation Safety*. URL: <https://www.tsb.gc.ca> (10.srpnja 2024.)
82. Transport Safety Board of Canada. 2024. *Annual Report 2023: Pipeline Transportation Safety Statistics*. URL: <https://www.tsb.gc.ca> (10.srpnja 2024.)
83. Transportation Safety Board of Canada. 2022. *Pipeline transportation safety investigation report P22H0023: Pipeline rupture and fire – NOVA Gas Transmission Ltd. 8-inch Simonette Lateral natural gas pipeline near Fox Creek, Alberta*. URL: <https://www.tsb.gc.ca> (10.srpnja 2024.)
84. UNECE. 2024. *REACH Regulation and Its Impact on the Oil and Gas Industry*. URL: <https://unece.org> (10.srpnja 2024.)

85. Uredba o odgovornosti za štete u okolišu. n.d. (Narodne novine, br. 31/17 i 50/20). URL: <https://narodne-novine.nn.hr> (28.srpnja 2024.)
86. Uredba o sprječavanju velikih nesreća koje uključuju opasne tvari. n.d. (Narodne novine, br. 44/14, 31/17, 45/17). URL: <https://narodne-novine.nn.hr> (10.srpnja 2024.)
87. Valero Energy Ltd. 2023. *Safety Data Sheet: European Grade Gasolines - All Grades* (Version 02). URL: <https://www.valero.com> (10.kolovoza 2024.)
88. Valero Marketing & Supply Company. 2014. *Safety Data Sheet: Liquefied Petroleum Gas (LPG)*. URL: <https://www.valero.com> (10.kolovoza 2024.)
89. Valero Marketing & Supply Company. 2022a. *Safety Data Sheet: Anhydrous Ammonia* (Version 02). URL: <https://www.valero.com> (10.kolovoza 2024.)
90. Valero Marketing & Supply Company. 2022b. *Safety Data Sheet: Diesel Fuels* (Version 07). URL: <https://www.valero.com> (10.kolovoza 2024.)
91. Valero Marketing & Supply Company. 2023. *Safety Data Sheet: Kerosene* (Version 06). URL: <https://www.valero.com> (10.kolovoza 2024.)
92. VETTER, C. P., KUEBEL, L. A., NATARAJAN, D., MENTZER, R. A. 2019. *Review of failure trends in the US natural gas pipeline industry: An in-depth analysis of transmission and distribution system incidents*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 60, 317-333.
93. WANG, D., LIANG, P., YU, Y., FU, X., HU, L. 2019. *An integrated methodology for assessing accident probability of natural gas distribution station with data uncertainty*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 62, 103941.
94. Watson Fuels. 2022. *Gas Oil Safety Data Sheet*. URL: <https://watsonfuels.co.uk/media/0ubfz43b/gas-oil-safety-data-sheet.pdf> (15.srpnja 2024.)
95. XU, C., ZHANG, H., LI, Y. 2020. *Heat Transfer and Flow Characteristics in Hot Pipelines for Viscous Fluids*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 154, 119-130.
96. YANG, Y., WANG, J., YANG, H., MANG, J. 2009. *Visibility graph approach to exchange rate series*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 388(20), 4431-4437.
97. YORICK-ODEN-PLANTS. 2017. *Inspection and Maintenance of Crude Oil Transmission Pipelines in the Great Lakes-St. Lawrence River Region*. Doris Duke Conservation Scholars Program. URL: <https://www.glc.org/wp->

- [content/uploads/GLSLR-Oil-pipeline-inspection-maintenance-report-Sept2017.pdf](#)
(1.kolovoza 2024.)
98. *Zakon o sigurnosti pri odobalnom istraživanju i eksploataciji ugljikovodika.* Narodne novine, br. NN 78/15, 50/20. URL: <https://www.zakon.hr> (15.kolovoza 2024.)
99. *Zakon o tržištu nafte i naftnih derivata.* Narodne novine, br. NN 19/14, 73/17, 96/19. URL: <https://www.zakon.hr> (15.kolovoza 2024.)
100. *Zakon o tržištu plina.* Narodne novine, br. NN 18/18, 23/20. URL: <https://www.zakon.hr/> (15.kolovoza 2024.)
101. *Zakon o zaštiti okoliša.* (Narodne novine, br. NN 80/13, 153/13, 78/15, 12/18, 118/18). URL: <https://www.zakon.hr/> (15.kolovoza 2024.)
102. *Zakon o zaštiti na radu.* (Narodne novine, br. NN 71/14, 118/14, 94/18 i 96/18). URL: <https://narodne-novine.nn.hr> (15.kolovoza 2024.)
103. *Zakon o osnovama sigurnosti transporta naftovodima i plinovodima* (Narodne novine, br. NN 64/73, 53/91). URL: <https://narodne-novine.nn.hr> (15.kolovoza 2024.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.


Ime Prezime



KLASA: 602-01/24-01/161
URBROJ: 251-70-12-24-2
U Zagrebu, 24. 9. 2024.

Fran Djerđji, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/161, URBROJ: 251-70-12-24-1 od 16.09.2024. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

AKCIDENTI U SUSTAVIMA TRANSPORTA NAFTE I PLINA CJEVOVODIMA

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

Mentorica:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Karolina Novak
Mavar

(titula, ime i prezime)

Predsjednica povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Karolina
Novak Mavar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)