



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI
PERSONELOR VÂRSTNICE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI" DIN
CLUJ



UNIVERSITATEA „BABEȘ-BOLYAI”
CLUJ-NAPOCA
Facultatea de Știința și Ingineria Mediului



INFLUENȚA HAZARDELOR NATURALE ASUPRA INFRASTRUCTURII CRITICE

- Rezumatul tezei de doctorat -

Conducător de doctorat:

Prof. univ. dr. Alexandru Ozunu

Doctorand:

Augusta-Diana Crișan (Gheorghiu)

CLUJ-NAPOCA - 2013



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI
PERSOANELOR VÂRSTNICE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI" DIN
IASI

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijinul financiar al proiectului
**“STUDII DOCTORALE PENTRU PERFORMANȚE EUROPENE ÎN
CERCETARE ȘI INOVARE (CUANTUMDOC)”** POSDRU/107/1.5/S/79407.

Proiectul **“STUDII DOCTORALE PENTRU PERFORMANȚE EUROPENE ÎN
CERCETARE ȘI INOVARE (CUANTUMDOC)”** POSDRU/107/1.5/S/79407,
este un proiect strategic care are ca obiectiv general *„Aplicarea de
strategii manageriale, de cercetare și didactice destinate îmbunătățirii
formării inițiale a viitorilor cercetători prin programul de studii universitare
de doctorat, conform procesului de la Bologna, prin dezvoltarea unor
competențe specifice cercetării științifice, dar și a unor competențe
generale: managementul cercetării, competențe lingvistice și de
comunicare, abilități de documentare, redactare, publicare și comunicare
științifică, utilizarea mijloacelor moderne oferite de TIC, spiritul
antreprenorial de transfer al rezultatelor cercetării. Dezvoltarea
capitalului uman pentru cercetare și inovare va contribui pe termen lung
la formarea doctoranzilor la nivel european cu preocupări
interdisciplinare. Sprijinul financiar oferit doctoranzilor va asigura
participarea la programe doctorale în țara și la stagii de cercetare în
centre de cercetare sau universități din UE. Misiunea proiectului este
formarea unui tânăr cercetător adaptat economiei de piață și noilor
tehnologii, având cunoștințe teoretice, practice, economice și
manageriale la nivel internațional, ce va promova principiile dezvoltării
durabile și de protecție a mediului înconjurător.”*

Proiect finanțat în perioada 2010 - 2013

Finanțare proiect: **16.810.100,00 RON**

Beneficiar: Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași

Partener: Universitatea „Babeș Bolyai” din Cluj-Napoca

Director proiect: Prof. univ. dr. ing. Mihai BUDESCU

Responsabil proiect partener: Prof. univ. dr. ing. Alexandru OZUNU

Cuprinsul tezei de doctorat

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCERE | 1 |
| PARTEA I: CERCETARE TEORETICĂ | |
| CAPITOLUL 1. Considerații teoretice privind Infrastructura Critică și cercetarea evenimentelor NaTech | 5 |
| 1.1. Infrastructura critică – concept, definiții și observații | 5 |
| 1.2. Cadrul legal privind protecția infrastructurii critice – în Europa | 6 |
| 1.3. Cadrul legal privind protecția infrastructurii critice – în România | 8 |
| 1.4. Vulnerabilități, hazarduri și amenințări privind infrastructura critică din România | 12 |
| 1.4.1. Tipuri de hazarduri și amenințări la adresa Infrastructurii Critice din România | 14 |
| 1.4.1.1. Hazarduri și amenințări cosmice, climatice și geofizice | 15 |
| 1.4.1.2. Hazarduri și amenințări datorate activității umane | 15 |
| 1.4.1.3. hazarduri și amenințări la dresa infrastructurii critice din mediul cibernetic | 16 |
| 1.5. Dezastre naturale, dezastre tehnologice, NaTech | 17 |
| 1.5.1. Tendințe globale privind dezastrele naturale și tehnologice | 17 |
| 1.5.1.1. Dezastrele naturale | 17 |
| 1.5.1.2. Dezastrele tehnologice | 19 |
| 1.5.2. Accidentele NaTech | 19 |
| 1.5.3. Provocări în evaluarea riscului NaTech | 20 |
| 1.6. Concluzii | 21 |
| PARTEA a II-a: CERCETARE APLICATĂ | |
| CAPITOLUL 2. Analiza sistematică de risc | 23 |
| 2.1. Descrierea metodologiei | 23 |
| 2.2. Definirea termenilor utilizați în metodologie | 25 |
| 2.3. Analiza preliminară | 26 |
| 2.3.1. Definirea scopului și obiectivelor analizei preliminare | 26 |
| 2.3.2. Identificarea instalațiilor și a secțiunilor supuse analizei | 26 |
| 2.3.3. Descrierea fiecărei secțiuni | 27 |
| 2.3.5. Analiza hazardurilor | 27 |
| 2.4. Analiza criterială | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4.1. Potențialul de generare a accidentelor majore | 30 |
| 2.4.2. Existența pericolului de dispersie toxică, incendiu sau explozie | 30 |
| 2.4.3. Criteriul risc și consecințe | 30 |
| 2.4.4. Calcularea Indicelui Accident de Mediu | 30 |
| 2.5. Analiza detaliată | 32 |
| 2.5.1. Analiza detaliată 1 | 32 |
| 2.5.1.1. Metode „bazate pe consecințe” | 32 |
| 2.5.1.2. Metode „bazate pe risc” | 33 |
| 2.5.2. Analiza detaliată 2: Scurgeri de substanțe periculoase în mediu | 33 |
| 2.6. Rezultate și concluzii ale metodologiei de analiză sistematică de risc | 34 |
| 2.7. Concluzii | 34 |
| CAPITOLUL 3. Studiu de caz: Analiză de risc NaTech pentru un parc de stocare a produselor petroliere localizat într-o zonă seismică din România, aplicând metodologia de analiză sistematică a riscului pentru infrastructura critică – subsectorul Petrol și Gaze | |
| | 37 |
| 3.1. Analiza preliminară | 37 |
| 3.1.1. Prezentarea mediului în care este situat obiectul studiului de caz | 38 |
| 3.1.1.1. Informații generale | 38 |
| 3.1.1.2. Istoricul amplasamentului | 39 |
| 3.1.1.3. Geologie | 39 |
| 3.1.1.4. Structură tectonică, activitate seismică | 39 |
| 3.1.1.5. Clima | 42 |
| 3.1.2. Descrierea instalației | 44 |
| 3.1.3. Descrierea substanțelor periculoase stocate în parcul de rezervoare | 46 |
| 3.1.4. Identificarea hazardurilor naturale în zona studiată | 48 |
| 3.1.5. Descriere detaliată a scenariilor de accidente posibile | 49 |
| 3.1.5.2. Incendii | 48 |
| 3.1.5.3. Explozii | 49 |
| 3.1.5.4. Efect domino | 50 |
| 3.1.6. Sinteză a unor accidente tipice care au avut loc în amplasamente similare | 51 |
| 3.1.7. Descrierea scenariilor de accidente majore posibile în amplasamentul selectat | 66 |
| 3.1.8. Analiza hazardurilor | 71 |
| 3.2. Analiza criterială | 72 |
| 3.3. Analiza detaliată | 74 |
| 3.3.1. Analiza de risc pentru accidente tehnologice | 74 |

| | |
|---|------------|
| 3.3.1.1. Incendiu în cuva de retenție – analiza consecințelor _____ | 77 |
| 3.3.1.2. Incendiu în cuva de retenție – risc individual și societal _____ | 109 |
| 3.3.1.3. Explozie sau flash fire (în afara rezervorului) _____ | 116 |
| 3.3.1.4. Explozia rezervorului _____ | 122 |
| 3.3.1.5. Concluzii ale analizei de risc tehnologic _____ | 147 |
| 3.3.2. Analiza de risc NaTech _____ | 150 |
| 3.3.2.1. Rezultate ale analizei de risc NaTech _____ | 151 |
| 3.3.2.2. Concluzii ale analizei de risc NaTech _____ | 157 |
| 3.3.3. Măsurile de protecție și reducere a riscului în amplasament _____ | 160 |
| 3.4. Concluzii și discuție _____ | 161 |
| CAPITOLUL 4. Concluzii finale, contribuții personale și cercetări viitoare _____ | 165 |
| 4.1. Concluzii finale _____ | 165 |
| 4.2. Contribuții personale și cercetări viitoare _____ | 170 |
| BIBLIOGRAFIE _____ | 173 |

Lista publicațiilor și participări la manifestări științifice

Cuvinte cheie: accidente NaTech, metodologie de analiză a riscului, risc individual și societal, hazard seismic, infrastructură critică.

Rezumatul conține părți din rezultatele tezei, concluzii generale și bibliografie selectivă. Rezumatul conține aceleași notații pentru cuprins, capitole, sub-capitole, figuri, tabele și ecuații ca și teza de doctorat.

INTRODUCERE

În lumea în care trăim riscul nu poate fi eliminat, dar poate fi controlat și redus la niveluri acceptabile. Pentru a gestiona și a reduce riscurile, trebuie să cunoaștem riscul și tot ce îl influențează pe acesta, pentru a putea să luăm măsurile necesare de prevenire și protecție. Protecția infrastructurilor critice (IC) este un subiect de mare interes pentru autoritățile naționale și internaționale deopotrivă. Preocuparea factorilor decizionali se concentrează pe dezvoltarea procedurilor și metodologiilor de identificare și protejare a infrastructurilor critice, deoarece impactul negativ generat de acțiunile umane rău intenționate, precum și de dezastrele naturale și accidentele tehnologice afectează numeroase comunități din întreaga lume. Agenția Europeană de Mediu recunoaște faptul că este necesară punerea în aplicare a unei politici integrate de management al riscului, o politică care include aspecte de prevenire, pregătire, intervenție și recuperare pentru toate hazardurile din Europa (EEA, 2011). Pentru elaborarea acestei politici este necesară identificarea și analiza riscurilor.

Comisia Europeană a făcut demersuri pentru stabilirea unor metodologii de evaluare a riscurilor pentru managementul dezastrelor, elaborând „Ghidul de evaluare și cartografiere a riscurilor pentru managementul dezastrelor”, care oferă exemple de metodologii pentru evaluarea riscurilor dezastrelor naturale și a celor produse de om (EC, 2011). Provocările constau în efectuarea de analize multi-risc, care iau în considerare efectele imediate ale pericolelor unice, precum și a celor în cascadă, în creștere și a efectelor domino care pot apărea, odată cu analiza și posibila amplificare datorată interacțiunii cu alte hazarduri. Având în vedere că dezastrele naturale au fost mai frecvente în ultimele decenii, protecția infrastructurilor critice împotriva acestui tip de evenimente este o prioritate (EM-DAT, 2013a). Teza se axează pe amplasamentele aparținând sectorului energetic al infrastructurii critice și mai precis subsectoarelor de petrol și gaze.

Realizarea analizei de risc pentru infrastructurile critice constând în amplasamente industriale este adesea un proces dificil și consumator de resurse, din cauza numărului mare de instalații și procese complexe care se desfășoară în aceste instalații. În cazul în care amplasamentul industrial este situat într-o zonă dens populată, procesul de evaluare a riscurilor este de un interes deosebit, fiind necesară utilizarea metodelor adecvate de evaluare a riscurilor pentru evaluarea impactului real al instalației asupra comunității, nu doar asupra mediului înconjurător.

Obiectivele principale ale tezei sunt elaborarea unei metodologii de evaluare sistematică a riscurilor pentru subsectoarele de petrol și gaze ale infrastructurii critice și aplicarea acesteia pe studiul de caz selectat pentru analiză, luând în considerare cauze tehnologice, precum și hazardurile naturale ca posibile cauze pentru accidentele industriale din domeniu. Studiul de caz prezintă un parc de rezervoare de stocare a produselor petroliere, situat într-o zonă seismică, în partea central-sudică a României. Analiza de risc se concentrează pe sublinierea diferenței dintre riscurile individuale și cele societale, în cazul unui accident tehnologic (cauze intrinseci) și apoi adăugarea unui scenariu NaTech (declanșat de cutremur) pentru același parc de rezervoare.

Pentru a atinge aceste obiective principale, au fost realizate o serie de sarcini specifice, pentru a oferi o mai bună înțelegere a contextului și a subiectului analizat:

- Sinteza legislației disponibile în domeniul protecției infrastructurilor critice la nivel european și național;
- Rezumatul tendințelor de producere a catastrofelor naturale și tehnologice la nivel global;
- Identificarea riscurilor naturale susceptibile să apară în zona studiului de caz;
- Caracterizarea amplasamentului studiului de caz, a instalațiilor și substanțelor periculoase prezente pe amplasament;
- Sinteza exemplurilor de accidente tehnologice și NaTech care au avut loc pe amplasamente similare și elaborarea de scenarii de accidente pentru amplasamentul studiului de caz;
- Simulări care utilizează instrumente software recunoscute pentru estimarea efectelor fizice și a riscurilor individuale și societale pentru amplasamentul selectat.
- Analiza rezultatelor și elaborarea de concluzii.

Teza este structurată în două părți completate de o introducere și de referințe bibliografice.

Partea I: Cercetarea teoretică include Capitolul 1: Considerații teoretice privind infrastructura critică și cercetarea evenimentelor NaTech. Acest capitol cuprinde șase subcapitole, care prezintă un studiu de literatură privind conceptul și definiții ale infrastructurii critice, cadrul legal privind protecția infrastructurilor critice în Europa și în România și vulnerabilitățile, hazardurile și amenințările la adresa infrastructurilor critice din România. Sectoarele și subsectoarele infrastructurii critice din România sunt prezentate conform legislației naționale. Tendințele globale privind dezastrelor naturale și tehnologice sunt de asemenea prezentate în partea teoretică a cercetării. Este prezentat conceptul de eveniment NaTech și sunt descrise de asemenea provocările în procesul de evaluare a riscurilor de accidente NaTech. Concluziile acestui capitol rezumă necesitatea de a efectua evaluări de risc NaTech în plus față de evaluarea riscurilor tehnologice pentru instalații industriale.

Partea a II-a: Cercetarea aplicată include Capitolul 2. Analiza sistematică de risc și Capitolul 3. Studiu de caz: Evaluarea riscului NaTech pentru un parc de rezervoare de stocare a produselor petroliere situat într-o zonă seismică din România, aplicând metodologia de analiză sistematică a riscurilor pentru infrastructurile critice – subsectorul de petrol și gaze.

Capitolul 2 descrie conceptul și schema generală a metodologiei de analiză sistematică a riscurilor pentru subsectorul de petrol și gaze al infrastructurii critice. Metodologia este o adaptare a metodologiei de analiză sistematică a riscurilor dezvoltată pentru industria minieră extractivă (Ozunu et al, 2011b; Gheorghiu et al 2013c, Crișan (Gheorghiu), 2013). Metodologia urmează o abordare în trei etape, care cuprinde analiza preliminară, analiza criterială și analiza detaliată, urmate de concluzii. Fiecare dintre aceste etape și modul lor de aplicare sunt descrise în acest capitol. Etapa de analiză criterială este de o importanță deosebită deoarece permite evaluatorului să evalueze ce scenarii necesită o analiză aprofundată în faza de evaluare detaliată

și care sunt suficient analizate în evaluarea preliminară a amplasamentului. Prin eliminarea din etapa de evaluare detaliată a acestor instalații care sunt în mod pertinent considerate a nu contribui în mod semnificativ la riscul de ansamblu al amplasamentului, se poate economisi timp și cheltuieli, fără a compromite relevanța și pertinenta concluziilor evaluării riscurilor. Ca atare, abordarea în trei etape permite evaluatorilor să ajungă la concluzii pertinente cu privire la riscul de ansamblu al unui amplasament, prin selectarea și analiza instalațiilor și secțiunilor care contribuie cel mai mult la acest risc total.

Capitolul 3 este cel mai vast și constă în aplicarea metodologiei de analiză sistematică a riscurilor pe studiul de caz selectat. Analiza preliminară este compusă din prezentarea mediului în care este situat amplasamentul (inclusiv date privind populația, istoricul amplasamentului, geologia, activitatea seismică și clima), descrierea rezervoarelor și a substanțelor periculoase stocate în parcul de rezervoare, identificarea hazardurilor naturale susceptibile să apară în zona studiului de caz. Analiza preliminară a inclus și o descriere a scenariilor de accidente tipice pentru parcurile de rezervoare cu produse petroliere, precum și o trecere în revistă a mai multor accidente care au avut loc pe amplasamente similare. S-a acordat de asemenea atenție selectării accidentelor produse atât din cauze tehnologice, cât și NaTech. Scenariile de accidente posibile pentru amplasamentul selectat sunt descrise și analizate cu ajutorul matricilor de risc. După aplicarea criteriilor asupra scenariilor în etapa de analiză criterială, unele scenarii sunt selectate pentru evaluarea detaliată, întrucât s-a considerat că acestea au potențialul de a genera un impact semnificativ asupra amplasamentului și zonei rezidențiale învecinate. Analiza detaliată a scenariilor selectate include utilizarea instrumentelor avansate de modelare EFFECTS și ARIPAR 4.0 folosite pentru simularea scenariilor de accidente. Este realizată o evaluare a riscului pentru accidentele tehnologice și NaTech folosind metodele bazate consecințe și pe risc, luând în considerare un scenariu de cutremur de referință pe care literatura de specialitate în domeniu îl menționează ca posibil în zona de studiu (Ardeleanu et al, 2005, Sokolov et al., 2007, Leydecker et al. 2008). O comparație a riscului total individual și societal pentru amplasament s-a realizat pentru cauzele intrinseci ale riscului individual și societal, și incluzând apoi cauzele NaTech, comparație descrisă în concluziile capitolului 3, precum și stabilirea contribuției fiecărui scenariu la riscul societal total. Această clasificare a scenariilor în funcție de contribuția lor subliniază aspectele în care este cea mai mare nevoie de reducerea riscului și este un instrument util în procesul de luare a deciziilor. Un pas important în analiza riscului NaTech pentru amplasamentul selectat este calcularea frecvențelor seturilor de combinații de rezervoare care ar putea fi avariate simultan în caz de cutremur, determinându-se astfel numărul de rezervoare care ar putea fi afectate simultan. Procedura de evaluare a riscurilor generale include atât identificarea calitativă, cât și analiza pericolelor și estimarea cantitativă a riscului. Utilizarea combinată a acestor metode este considerată a fi cea mai potrivită pentru estimarea riscului, având în vedere nivelul ridicat de experiență și cunoștințe în acest domeniu și contextul actual al cunoașterii în domeniul modelării și simulării asistate pe calculator.

Capitolul 4 prezintă concluziile finale ale tezei de față, contribuțiile personale și dezvoltări viitoare.

PARTEA I: CERCETARE TEORETICĂ

Capitolul 1. Considerații teoretice privind infrastructura critică și cercetarea evenimentelor NaTech

1.1. Infrastructura critică – concept, definiții și observații

IC este determinată de ansamblul de elemente esențiale pentru buna funcționare a unei societăți. International Journal of Critical Infrastructures definește IC pe website-ul său (IJCIS, 2012) ca fiind „rețelele pentru furnizarea de servicii de telecomunicații și de informare, servicii de producere a energiei (energie electrică, gaze naturale, petrol și energie termică), alimentarea cu apă, transport de persoane și mărfuri, servicii bancare și financiare, servicii guvernamentale și servicii de urgență”.

Cohen (2010) consideră IC ca fiind ceva de care oamenii depind, direct sau indirect, în ceea ce privește viața și bunăstarea, în orice interval de timp. Ca atare, identificarea și protejarea corespunzătoare a acesteia are o mare importanță pentru guverne, fiind întreprinse acțiuni în acest caz de către Uniunea Europeană și țări din întreaga lume (Gheorghiu et. al, 2013a).

1.4. Vulnerabilități, hazarduri și amenințări privind infrastructura critică din România

Evaluarea vulnerabilităților în corelație cu infrastructurile critice devine tot mai importantă, datorită necesității stringente de a le proteja împotriva dezastrelor naturale, împotriva exploatării tehnologice defectuoase, împotriva dezastrelor provocate de factorul uman, voluntar sau involuntar, precum și împotriva altor tipuri de întreruperi care pot afecta aceste elemente. În opinia noastră, vulnerabilitatea poate fi definită în linii mari, ca rezultatul combinației dintre riscurile existente asociate unei entități și capacitatea acesteia de a rezista și de a depăși situațiile de urgență interne și externe (Gheorghiu et. al, 2013a).

În România, amenințările la adresa infrastructurii fizice sunt cu atât mai notabile cu cât vulnerabilitatea acestui tip de infrastructuri a crescut de-a lungul anilor, datorită măsurilor ineficiente sau inconsistente de optimizare în ceea ce privește integritatea fizică a sistemelor care constituie ICN (infrastructura de transport, numeroase instalații industriale și în general mediul construit).

1.5. Dezastre naturale, dezastre tehnologice, NaTech

Amplasamentele industriale sunt o realitate obișnuită în epoca modernă în zonele urbane, contribuind la progresul tehnologic al societății, oferind locuri de muncă și, în general, conducând la creșterea standardelor de viață pentru societate prin randamente ridicate și metode eficiente de producție. Pe lângă avantajele evidente, amplasamentele industriale periculoase au reprezentat întotdeauna o amenințare pentru comunități. Accidentele majore din cadrul amplasamentelor industriale pot fi cauzate de factori intrinseci, cum ar fi defectarea echipamentelor, erori umane, lipsa măsurilor de siguranță etc., precum și factori externi, cum ar fi evenimente naturale. În cazul unor accidente tehnologice declanșate de evenimente naturale,

astfel de accidente sunt de obicei numite NaTech. Experiența generală a demonstrat că accidentele NaTech provoacă pierderi economice mult mai mari și afectează suprafețe mult mai extinse în comparație cu accidentele tehnologice provocate de cauze intrinseci (Gheorghiu et al., 2013b).

PARTEA A II-A: CERCETAREA APLICATĂ

Capitolul 2. Analiza sistematică a riscurilor

Printr-o abordare sistematică avem în vedere identificarea și evaluarea hazardurilor și a riscurilor pentru toate instalațiile (sub-sisteme), secțiuni și echipamente de pe un anumit amplasament, precum și operațiunile derulate în fiecare instalație și secțiune, echipamentele principale implicate în operațiuni și substanțele existente. În urma identificării pericolelor pentru fiecare instalație/secțiune este aplicată o evaluare criterială în vederea stabilirii priorităților pentru evaluarea detaliată a riscurilor. Această etapă de analiză criterială este necesară deoarece numărul total de instalații și secțiuni de pe un amplasament poate fi destul de ridicat. Deoarece nu toate instalațiile și secțiunile contribuie în mod semnificativ la riscul apariției unui accident major, nu este eficient să includem toate instalațiile și secțiunile în evaluarea detaliată a riscurilor. Ca atare, este necesară utilizarea unei metode de selecție pentru a indica instalațiile care contribuie cel mai mult la riscul indus de amplasamentul respectiv. Instalațiile selectate sunt apoi luate în considerare în evaluarea detaliată a riscurilor.

2.1. Descrierea metodologiei

Metodologia de analiză sistematică a riscurilor se bazează pe definițiile din Directiva 96/82/CE a Consiliului privind controlul asupra riscului de accidente majore care implică substanțe periculoase, modificată prin Directiva 2003/105/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 16 decembrie 2003, precum și pe definițiile din Ghidul „Purple Book” (Purple Book, 2005), elaborat de compania olandeză TNO.

Diagrama generală a metodologiei propuse de analiză sistematică a riscurilor este prezentată în Figura 4.

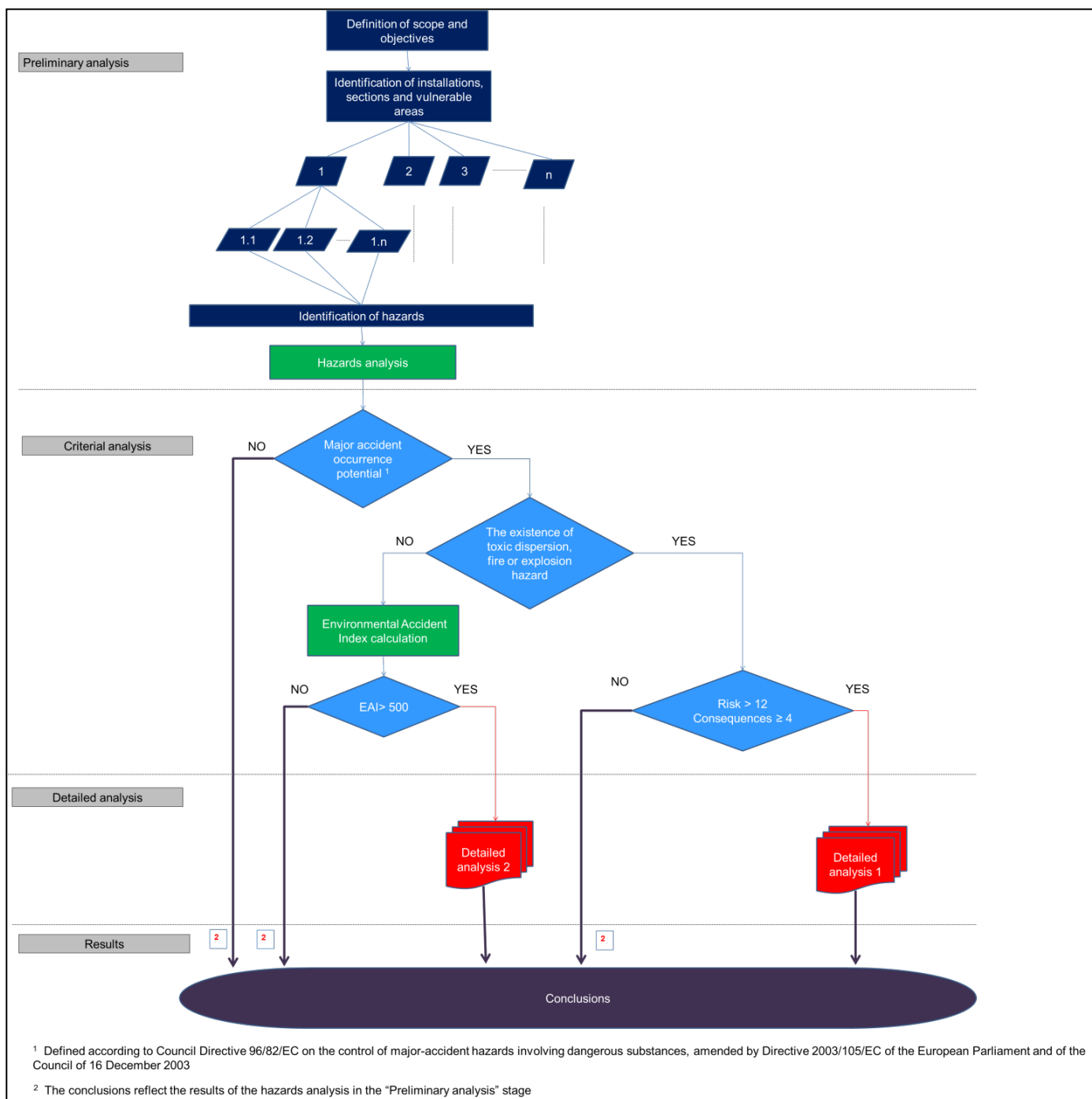


Figura 4. Diagrama generală a metodologiei de analiză sistematică a riscurilor pentru infrastructurile critice - subsectoarele de petrol și gaze

Etaplele generale ale analizei sistematice a riscurilor sunt următoarele:

- Analiza preliminară
- Analiza criterială
- Analiza detaliată
- Rezultate și concluzii

Metodologia de analiză sistematică a riscurilor pentru infrastructurile critice - subsectoarele de petrol și gaze - prezentată în această teză este o adaptare a metodologiei de analiză sistematică a riscurilor dezvoltată pentru industria minieră extractivă (Ozunu et al., 2011b; Gheorghiu et al., 2013c; Crișan (Gheorghiu), 2013).

2.3. Analiza preliminară

Etapă preliminară de analiză a metodologiei de analiză sistematică a riscurilor include următorii pași:

- Definierea domeniului de aplicare și obiectivele analizei preliminare
- Identificarea de instalații și secțiuni care urmează a fi analizate
- Descrierea fiecărei secțiuni
- Identificarea hazardurilor pentru fiecare secțiune (antropice sau naturale)
- Analiza hazardurilor

2.3.5. Analiza hazardurilor

Pentru fiecare dintre hazardurile identificate, se menționează dacă acesta prezintă posibilitatea producerii unui accident major.

Analiza este realizată având în vedere *cauzele care duc la producerea accidentului, consecințele imediate și finale care se așteaptă în cazul în care hazardul se transformă în accident, nivelul de severitate și probabilitatea* (estimată prin alocarea de note, definite conform criteriilor prezentate mai jos) și *măsurile de prevenire existente*.

Riscul se calculează conform ecuației $R = L \times C$, unde L este probabilitatea de apariție a unui eveniment și C este gravitatea consecințelor (Lees, 1996; Ozunu, 2000, 2007).

Măsura probabilității de apariție este stabilită calitativ printr-o serie de cinci nivele, de la „puțin probabil” la „frecvent”. *Măsura calitativă a consecințelor* este stabilită, de asemenea, prin intermediul a cinci niveluri de severitate, de la „nesemnificative” la „catastrofice”, rezultând într-o matrice de risc.

Matricele de evaluare a riscului au fost folosite timp de mulți ani în clasificarea riscului (Lees, 1996, Ozunu, 2000, 2007). Conform metodologiei de evaluare, riscul este situat pe o matrice (Figura 5). Nivelurile de risc care corespund valorilor din matrice sunt prezentate în Tabelul 3.

| | | Consecințe | | | | | |
|---------------|----------------|-----------------|--------|----------|--------|--------------|----|
| | | Nesemnificative | Minore | Moderate | Majore | Catastrofice | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Probabilitate | Puțin probabil | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | Izolată | 2 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | Ocazional | 3 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| | Probabil | 4 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 |
| | Frecvent | 5 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |

Figura 5. Matricea riscului

Tabelul 3. Nivelurile de risc

| Nivelul de risc | Definiție |
|-----------------|--------------------------|
| 1 – 3 | <i>Risc foarte redus</i> |
| 4 – 6 | <i>Risc redus</i> |
| 7 – 12 | <i>Risc moderat</i> |
| 13 – 19 | <i>Risc ridicat</i> |
| 20 – 25 | <i>Risc extrem</i> |

2.4. Analiza criterială

Conform diagramei generale a metodologiei de analiză sistematică a riscurilor (Figura 4) pentru selecția hazardurilor care corespund diferitelor instalații și secțiuni care pot contribui în mod semnificativ la riscul total al unui amplasament și, ca atare, ar necesita o analiză detaliată, sunt aplicate o serie de criterii pentru diferențiere.

Aceste criterii și modul lor de aplicare, în sensul prezentei metodologii sunt prezentate după cum urmează.

2.4.1. Potențialul de producere a accidentelor majore

Pentru fiecare secțiune sunt identificate pericolele care au potențialul de a genera un *accident major* în conformitate cu Directiva 96/82/CE a Consiliului privind controlul asupra riscului de accidente majore care implică substanțe periculoase, modificată prin Directiva 2003/105/CE a Parlamentului European. Ca atare, au fost identificate ca având potențialul de a genera un accident major acele riscuri care implică substanțele clasificate ca periculoase în conformitate cu Directiva 96/82/CE.

Riscurile identificate ca având potențialul de a genera un accident major trec în următoarea etapă de analiză criterială. Pentru riscurile care nu au fost identificate ca având potențialul de a genera accidente majore, concluziile vor fi trase pe baza analizei preliminare.

2.4.2. Existența pericolului de dispersie toxică, de incendiu sau de explozie

Sunt selectate pentru evaluare detaliată a riscurilor secțiunile în care substanțele periculoase sunt prezente sau pot fi generate într-un proces chimic industrial, care poate duce la dispersii toxice în atmosferă, incendii sau explozii (substanțe care sunt toxice, inflamabile sau explozive în conformitate cu Directiva 67/548/CEE a Consiliului din 27 iunie 1967).

2.4.3. Criteriul risc și consecințe

Din secțiunile selectate în etapa anterioară, acele riscuri care prezintă un nivel de risc, estimat în etapa de evaluare preliminară, mai mare de 12 (ridicat sau risc extrem) sau un nivel al consecințelor de 4 (major) sau 5 (catastrofic) sunt selectate pentru evaluarea detaliată a riscurilor.

2.4.4. Calcularea Indicelui accident de mediu

„Indicele suedez accident de mediu (EAI)” este un instrument de evaluare care combină proprietățile substanțelor chimice cu proprietăți specifice amplasamentului.

EAI se bazează pe o serie de variabile chimice și pe câteva variabile specifice amplasamentului, cum ar fi solul și apele subterane (ec. 1). Acesta este compus din 3 componente: toxicitate acută pentru organismele acvatice (**Tox**), cantitatea de substanță depozitată sau transportată (**Am**); trei factori care afectează dispersia substanțelor chimice (**Con**, **Sol** și **Sur**). Con reprezintă consistența sau viscozitatea/starea fizică a substanței chimice, Sol este solubilitatea substanței chimice în apă, în timp ce Sur descrie potențialul substanței de a penetra solul, în funcție de adâncimea și mobilitatea apei subterane.

$$EAI = Tox * Am * (Con + Sol + Sur) \quad (Ec. 1)$$

După calcularea EAI, acesta poate fi utilizat pentru identificarea nivelului de evaluare a riscului necesar într-un anumit scenariu, în conformitate cu o scară de clasificare dat (Fischer, 1995).

Scara de clasificare cu trei niveluri pentru a determina necesitatea unei evaluări suplimentare a riscurilor este prezentată în Tabelul 4 de mai jos.

Tabelul 4. Scara de clasificare pentru Indexul de accident de mediu

| Scorul EAI | Tipul de analiză necesar |
|-----------------------|--|
| EAI: 0 – 100 | Este necesară o analiză de hazard (HA) pentru proprietățile intrinseci ale substanței chimice; |
| EAI: 100 – 500 | HA + Evaluarea introductivă a riscului de mediu (ERA) |
| EAI: > 500 | HA + ERA introductivă + ERA avansată |

Evaluarea introductivă și avansată a riscurilor de mediu pentru poluarea solului și a apelor subterane se poate realiza prin diverse metode stabilite și prin utilizarea sistemelor de sprijin de modelare și de decizie și a software-ului descris în altă parte (**Steazar et al., 2011, 2013**).

2.5. Analiza detaliată

Amploarea analizei de risc și intensitatea măsurilor de prevenire și reducere ar trebui să fie proporționale cu riscul implicat. Simpla identificare a hazardurilor și metodele de analiză a hazardurilor nu sunt întotdeauna eficiente și, ca atare, utilizarea evaluărilor detaliate este uneori necesară. Există mai multe metode pentru analiza cantitativă a riscurilor. Alegerea unei tehnici speciale este specifică scenariului de accident analizat. Metodele de evaluare propuse în acest documentele cuprind câteva metode de evaluare detaliată populare și utilizate pe scară largă (Christou et al, 2006).

2.5.1. Analiza detaliată 1

2.5.1.1. Metode „bazate pe consecințe”

Abordarea „bazată pe consecință” pornește de la evaluarea consecințelor unor accidente posibile, fără a cuantifica în mod explicit probabilitatea de apariție a acestor accidente. În acest fel, se evită cuantificarea frecvențelor de producere a unor eventuale accidente și incertitudinile asociate.

Consecințele accidentelor sunt luate în considerare prin calcularea distanțelor la care efectele asupra populației (de exemplu concentrația toxică), pe o anumită perioadă de timp, ating o anumită valoare prag, care corespunde începutului efectului nedorit (de exemplu efectele ireversibile asupra sănătății umane sau victime) (Christou et. al, 2006).

2.5.1.2. Metode „bazate pe risc”

Cea de a doua categorie principală de abordări este cea „bazată pe risc” (cunoscută și sub numele de abordare probabilistică). În general, abordarea bazată pe risc definește riscul ca o combinație între consecințele produse de mai multe accidente posibile și probabilitatea lor de apariție.

Pot fi calculate două tipuri de riscuri: *riscul individual* și *riscul societal*. Riscul individual este prezentat de obicei sub formă de curbe de risc, în timp ce curbele F-N redau riscul societal.

2.5.2. Analiza detaliată 2: Deversări de substanțe periculoase în mediu

În cadrul acestui modul de analiză detaliată, este inclusă modelarea și simularea dispersiei poluanților în mediul subteran și în apele de suprafață. Sistemele de modelare recomandate pentru simularea debitului de apă și transportul poluanților în mediul subteran includ: GMS (Groundwater Modeling System - Sistem de modelare al apelor subterane, modelul MODFLOW, MT3D (model de simulare trei-dimensională a transportului multispeciilor pentru simularea advecției, dispersării și reacțiilor chimice de contaminanți în sistemele de ape subterane).

Modelarea matematică și simularea transportului poluanților în apele de suprafață pot fi realizate cu următoarele sisteme de modelare: SMS (Surface Water Modeling System – Sistem de modelare a apei de suprafață), modelarea impactului poluării în sistemele hidrografice: modelul dezvoltat de către Chapra și Whitehead (2009).

2.7. Concluzii

Metodologia de analiză sistematică a riscurilor pentru subsectorul petrol și gaze al infrastructurilor critice descrise în acest capitol propune o abordare în trei etape, cu utilizarea de metodologii stabilite pentru evaluarea riscului, în scopul de a urmări un proces de analiză comprehensivă a hazardurilor și evaluare a riscurilor.

Abordarea în trei etape permite evaluatorilor să tragă concluzii pertinente cu privire la riscul total al unui amplasament, prin selectarea și analiza instalațiilor și secțiunilor care contribuie cel mai mult la acest risc total. Prin eliminarea din etapa de evaluare detaliată a acelor

instalații care sunt în mod pertinent considerate a nu contribui în mod semnificativ la riscul total al amplasamentului, se pot economisi timp și cheltuieli, fără a compromite relevanța și pertinenta concluziilor analizei de risc.

Capitolul 3. Studiu de caz: evaluare a riscului NaTech pentru un parc de rezervoare de stocare a produselor petroliere amplasat într-o zonă seismică din România, aplicând metodologia de analiză sistematică a riscului pentru infrastructura critică – subsectorul Petrol și Gaze

Studiul de caz analizează un parc de rezervoare pentru stocarea produselor petroliere la presiune atmosferică, amplasat în apropierea unei zone rezidențiale, într-o regiune seismică din România. Obiectivul analizei este de a pune în evidență diferența dintre riscul individual și societal în cazul unor accidente tehnologice din cauze intrinseci și în cazul adăugării la analiză a evenimentelor NaTech declanșate de cutremure de magnitudine ridicată, pentru același parc de rezervoare. Din cele 46 de rezervoare existente au fost selectate 15, pentru simplificarea calculelor și pe baza proximității acestora față de zona locuită.

Studiul de caz urmărește metodologia de analiză sistematică a riscului pe parcursul etapelor de analiză preliminară, criterială și detaliată.

3.1. Analiza preliminară

3.1.1. Prezentarea mediului în care este situat obiectul studiului de caz

3.1.1.1. Informații generale

Parcul de rezervoare selectat pentru studiul de caz este situat în partea Nord-Estică a municipiului Ploiești și face parte dintr-o rafinărie.

Un aspect particular al zonei luată în considerare pentru studiul de caz îl reprezintă clădirile administrative ale rafinării și zona rezidențială care sunt amplasate în imediata vecinătate a parcului de rezervoare, pe latura sudică. Figura 6 prezintă rezervoarele luate în considerare pentru studiul de caz și zonele rezidențiale aflate în apropierea lor.



Figura 6. Hartă reprezentând zona de studiu evidențiată în galben și zona populată evidențiată în roșu.

Zona rezidențială din apropierea parcului de rezervoare este compusă din locuințe cu un singur nivel. Datorită lipsei datelor sigure privind numărul de locuitori din zonă, o valoare arbitrară de 3 locuitori/locuință a fost utilizată, rezultând o densitate a populației de 39,13 locuitori/ha pentru zona studiată, constituită în principal din angajați ai rafinăriei și familiile lor. Prezența populației în zonă a fost calculată ca valoare medie între valorile standard pentru noapte și zi date în Purple Book (Purple Book, 2005), cu o pondere de 96% în interior și 4% în exterior, probabilitate de prezență 100%.

3.1.1.4. Structură tectonică, activitate seismică

Proiectarea clădirilor pentru condiții seismice în România se bazează pe hărți speciale, precum cea prezentată în Codul P.100-1/2006 (P100, 2006), redată în Figura 7b, care arată zonarea teritoriului României pe baza valorilor de vârf a accelerației terenului (PGA – Peak Ground Acceleration). Harta prezintă valori ale PGA pentru cutremure cu o perioadă de revenire de 100 de ani.

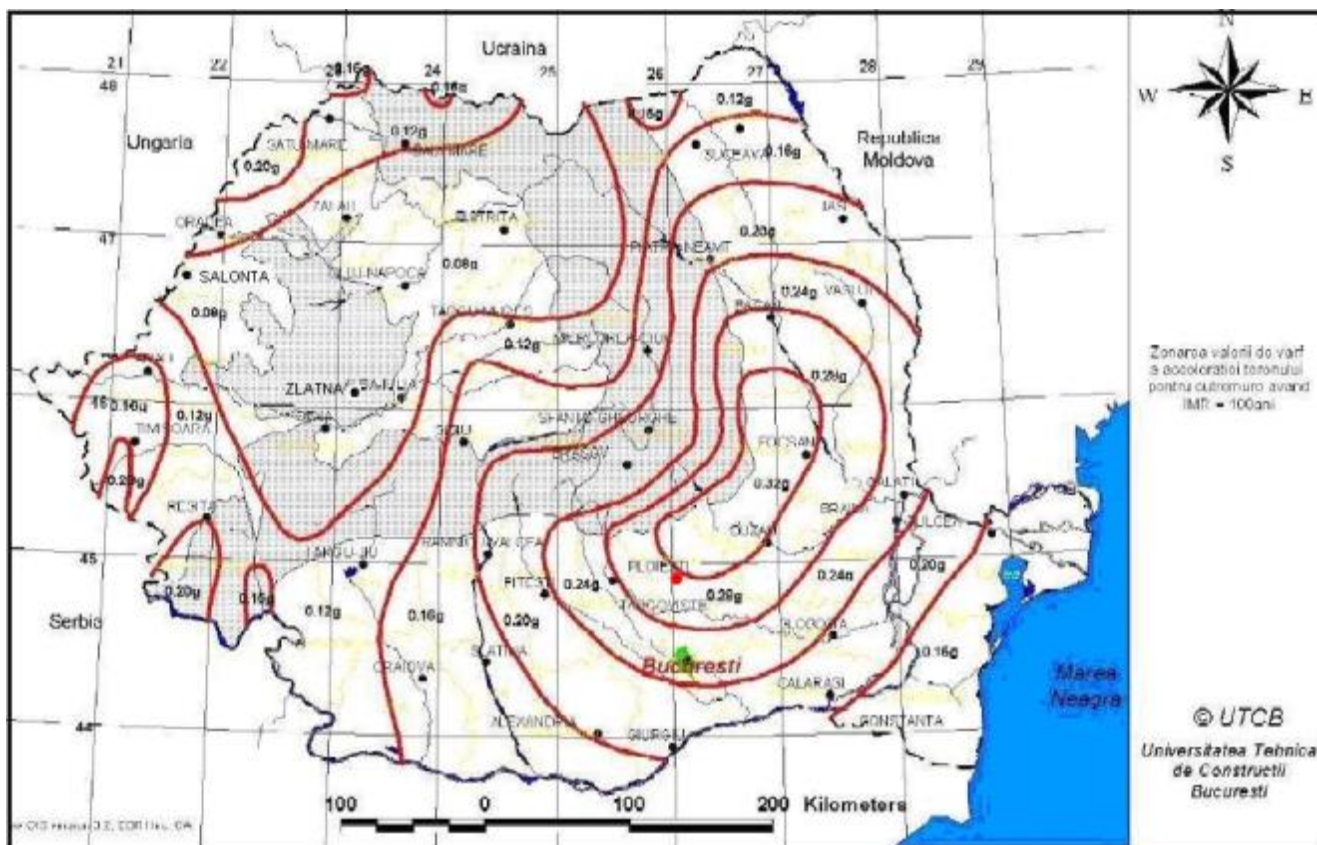


Figura 7b. Zonarea teritoriului României pe baza valorilor de vârf a accelerației terenului pentru cutremure cu o perioadă de revenire de 100 de ani (P100, 2006).

Situl este amplasat la granița zonelor cu valori ale PGA de 0,28g și 0,32g. A doua valoare corespunde zonei Vrancea, cu cea mai ridicată valoare PGA pentru teritoriul României, pentru cutremure cu o perioadă de revenire de 100 de ani.

Cercetări mai recente au fost desfășurate de personalul și colaboratorii Institutului Național de Fizica Pământului, având ca rezultat hărți de intensitate seismică și PGA pentru cutremure cu perioade de revenire diferite. Pentru evaluarea riscului NaTech, se folosesc perioade de revenire de 475 de ani pentru situri „importante”, în timp ce pentru situri „foarte importante” și „de importanță specială” se utilizează perioade de revenire de 1000 și respectiv 5000 de ani (Cruz et al., 2004). Pentru zona studiată se poate lua în considerare perioada de revenire de 475 de ani împreună cu cea de 100 de ani, recomandate și de EUROCODE 8 (vezi referința bibliografică) pentru elaborarea hărților de hazard seismic pentru proiectarea clădirilor pentru rezistența la cutremure.

Luând în considerare perioada de revenire de 475 de ani, PGA în zona studiată poate atinge valori de până la 3.5 m/s^2 cu o intensitate aproximativă a cutremurelor de 8.5 MSK (Ardeleanu et al., 2005; Leydecker et al., 2008; Sokolov et al., 2007) (Figura 8.).

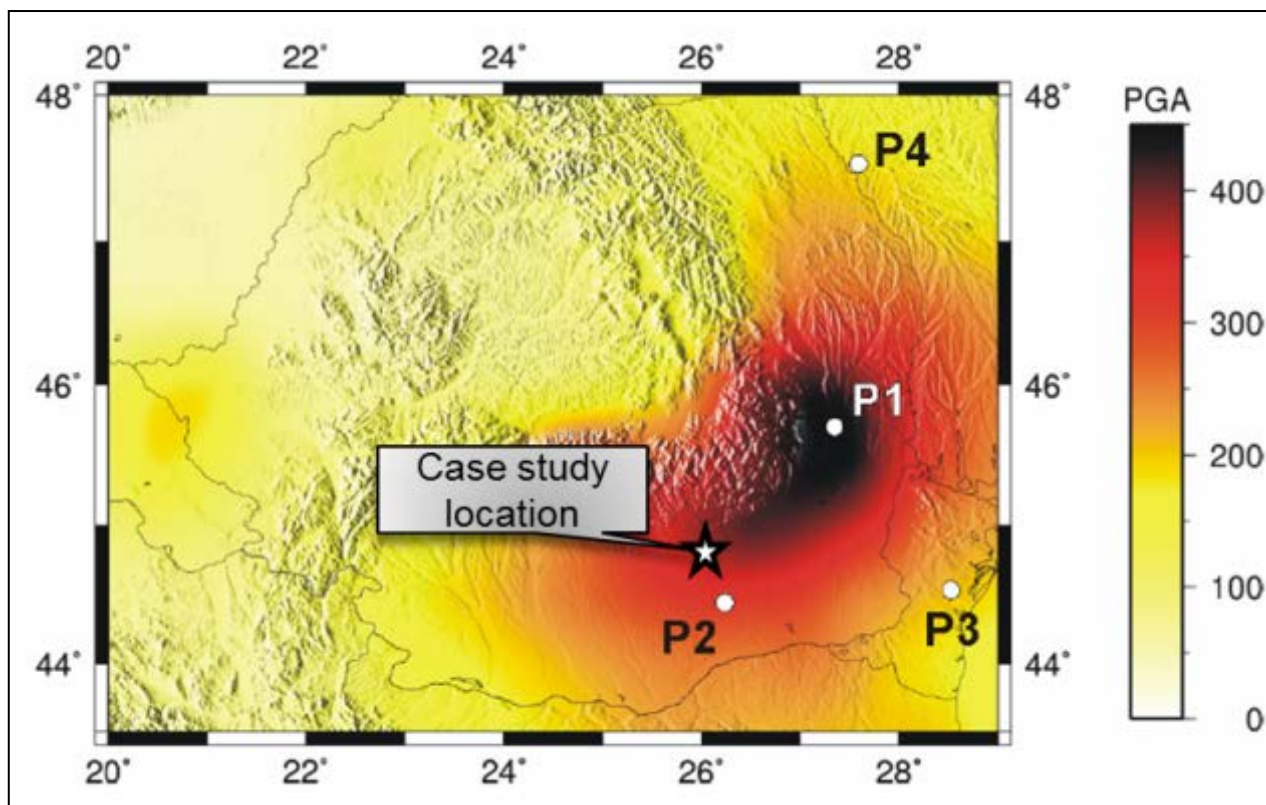


Figura 8. Hartă probabilistică de hazard seismic pentru România, pentru cutremure cu o perioadă de revenire de 475 de ani. Culorile reprezintă PGA în cm/s^2 (sursa: Sokolov et al., 2007).

Conform informațiilor de mai sus și prevederilor HG 642/2005 (HG 642, 2005) pentru aprobarea Criteriilor de clasificare a unităților administrativ-teritoriale, instituțiilor publice și operatorilor economici din punct de vedere al protecției civile, în funcție de tipurile de riscuri specifice, situl este amplasat într-o zonă cu risc seismic.

3.1.2. Descrierea instalației

Instalația luată în considerare pentru studiul de caz include cele 15 rezervoare, de la A1 la A15, rețeaua de conducte și unitățile de pompare. Rezervoarele selectate pentru analiză sunt rezervoare cilindrice verticale, cu pereți simpli din oțel. Rezervoarele sunt ancorate, iar pereții cuvelor de retenție a rezervoarelor sunt din pământ bătătorit. Rezervoarele sunt grupate în 5 cuve de retenție, prezentate în Figura 9.

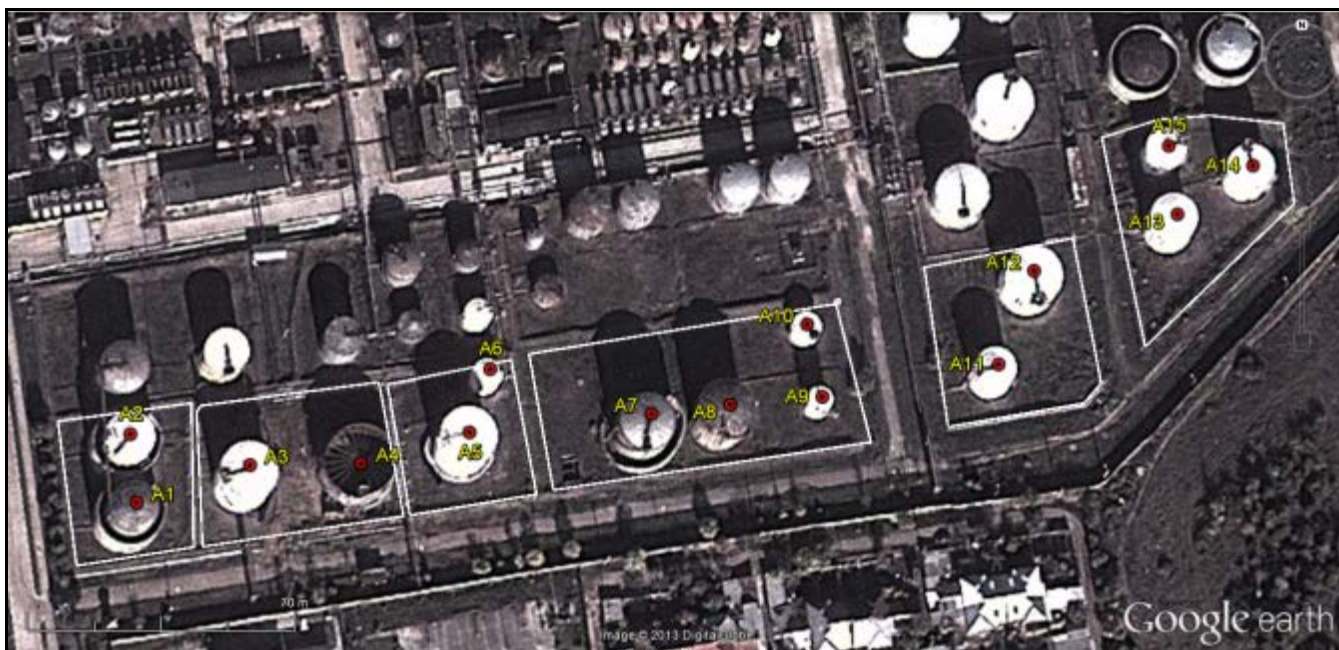


Figura 9. Rezervoarele selectate pentru analiză și cuvele de retenție

3.1.4. Identificarea hazardurilor naturale în zona amplasamentului

În prezentarea amplasamentului în capitolul 3.1.1. este evidențiat faptul că hazardul natural cel mai semnificativ în zona amplasamentului, care are potențialul de a cauza accidente majore, este reprezentat de potențialul seismic al zonei. Amplasamentul nu se află într-o zonă inundabilă sau susceptibilă la apariția alunecărilor de teren.

Prin urmare, pentru analiza cantitativă de risc a fost luat în considerare un eveniment seismic de referință cu o perioadă de revenire de 475 de ani. Valoarea considerată pentru PGA este 300 cm/s^2 , corespunzând unei valori de $0.306g$ (vezi capitolul 3.1.1.4.).

3.1.5. Descrierea scenariilor de accidente tipice specifice

În zona rezervoarelor selectate pentru analiză pot avea loc scurgeri ale substanțelor periculoase stocate în rezervoare, fie în formă lichidă, fie gazoasă, cu diferite efecte posibile, prezentate în Tabelul 11 (Kirchsteiger et al., 1998).

Tabelul 11. Descrierea scenariilor de accidente majore posibile pentru amplasamentul selectat

| | Scenariu | Efecte posibile |
|----|---|---|
| a. | Scurgeri de produse petroliere din conducte/pompe | - incendiu/explozie - poluarea aerului, solului și a apei - afectarea personalului |
| b. | Scurgeri de produse petroliere din rezervoare | - incendiu/explozie - poluarea aerului, solului și posibil a apei subterane dacă cantitatea de substanță eliberată depășește capacitatea cuvei de retenție - afectarea personalului |
| c. | Incendieri ale scurgerilor de produse petroliere în afara cuvei de retenție | - afectarea personalului - avarierea instalațiilor - explozie - dispersie toxică a fumului și a gazelor de ardere |

| | | |
|----|--|--|
| | | - poluarea solului cu produși de combustie |
| d. | Incendiu în rezervor | - afectarea personalului - avarierea instalațiilor - explozie - dispersie toxică a fumului și a gazelor de ardere - poluarea solului cu produși de combustie |
| e. | Incendierea produselor petroliere scurse în cuva de retenție | - afectarea personalului - avarierea instalațiilor - explozie - dispersie toxică a fumului și a gazelor de ardere - poluarea solului cu produși de combustie |
| f. | Explozie sau flash fire (incendiu de degajare) (în afara rezervorului) | - afectarea personalului - avarierea instalațiilor - incendiu - poluare cu fragmente rezultate în urma exploziei |
| g. | Explozii la rezervoare | - afectarea personalului - avarierea rezervorului și a instalațiilor adiacente - incendiu în baltă - poluare cu produși de combustie/fragmente rezultate în urma exploziei - dispersie toxică a fumului și a gazelor de ardere |

3.1.8. Analiza hazardurilor

Scenariile prezentate în tabelul 11 sunt analizate folosind matrici de risc. Toate scenariile de accidente elaborate pentru amplasamentul selectat au potențialul de a genera accidente majore, în sensul în care sunt definite în Directivele Seveso (Seveso II, IIA, III). Tabelul 12 prezintă analiza hazardurilor pentru scenariile de accidente elaborate pentru amplasamentul studiat.

Tabelul 12. Analiza hazardurilor pentru scenariile de accident pentru amplasamentul studiat

| Scenariu | Scenariu | Nivel probabilitate | Nivel consecințe | Nivel risc |
|----------|---|---------------------|------------------|------------|
| a | Scurgeri de produse petroliere din conducte/pompe | 4 | 2 | 8 |
| b | Scurgeri de produse petroliere din rezervoare | 3 | 3 | 9 |
| c | Incendieri ale scurgerilor de produse petroliere în afara cuvei de retenție | 3 | 3 | 9 |
| d | Incendiu în rezervor | 3 | 3 | 9 |
| e | Incendiere produselor petroliere scurse în cuva de retenție | 3 | 5 | 15 |
| f | Explozie sau flash fire (în afara rezervorului) | 2 | 5 | 10 |
| g | Explozii la rezervoare | 2 | 5 | 10 |

Nivelurile de risc pentru scenarii rezultate din analiza hazardurilor sunt de la risc moderat la risc ridicat, cele mai multe scenarii având un risc moderat, în conformitate cu definiția din Tabelul 3, prezentată în capitolul 2.3.5 al tezei. Unul din scenarii a rezultat ca având un nivel de

risc ridicat: incendierea produselor petroliere scurse în cuva de retenție. Acest scenariu constă în aprinderea scurgerilor de substanță după ruperea rezervorului și eliberarea conținutului în cuva de retenție. Probabilitatea acestui scenariu a fost considerată de nivel 3 (ocazional), datorită faptului că rezervoarele din parc sunt vechi și majoritatea prezintă urme de rugină pe pereții exterior. Având în vedere că amplasamentul este situat într-o zonă seismică, s-a considerat că acest scenariu este posibil. În cazul aprinderii conținutului scurs în cuva de retenție consecințele pot fi catastrofice, datorită faptului că mai multe rezervoare sunt amplasate în cuve comune. În cazul unui incendiu în cuvă este foarte posibil ca rezervoarele amplasate în aceeași cuvă să fie avariate de incendiu, amplificând astfel efectele accidentului. De asemenea, faptul că zona rezidențială este amplasată în imediata apropiere a rezervoarelor poate agrava urmările accidentului. Matricea de risc rezultată este prezentată în figura 10.

| | | Consecințe | | | | |
|---------------|----------------|-----------------|--------|----------|--------|--------------|
| | | Nesemnificative | Minore | Moderate | Majore | Catastrofice |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Probabilitate | Puțin probabil | 1 | | | | |
| | Izolată | 2 | | | | f, g |
| | Ocazional | 3 | | b, c, d | | e |
| | Probabil | 4 | a | | | |
| | Frecvent | 5 | | | | |

Figura 10. Matricea de risc rezultată în urma analizei hazardurilor

3.2. Analiza criterială

Primul criteriu din etapa de analiză criterială este *Potențialul de generare a accidentelor majore*, definit conform directivelor Seveso. *Toate cele șapte scenarii elaborate pentru parcul de rezervoare analizat au potențialul de a genera accidente majore*, datorită substanțelor stocate în rezervoare. Amplasamentul este clasificat ca fiind de nivel superior conform Anexei I, Partea II, par. 34 (Seveso III).

Al doilea criteriu este *Existența pericolului de dispersie toxică, incendiu sau explozie*. Din moment ce toate scenariile includ scurgeri de hidrocarburi cu posibilitate de aprindere și/sau explozie, *toate scenariile prezintă un pericol de incendiu sau explozie*.

Trei dintre cele șapte scenarii elaborate pentru parcul de rezervoare îndeplinesc criteriul risc și consecințe pentru analiza detaliată: scenariile e, f și g (Tabelul 13).

Tabelul 13. Scenarii care necesită analiza detaliată pe baza criteriului „risc și consecințe”

| Scenariu | Scenariu | Nivel probabilitate | Nivel consecințe | Nivel risc |
|----------|---|---------------------|------------------|------------|
| e | Incendiere produselor petroliere scurse în cuva de retenție | 3 | 5 | 15 |

| | | | | |
|---|---|---|---|----|
| f | Explozie sau flash fire (în afara rezervorului) | 2 | 5 | 10 |
| g | Explozii la rezervoare | 2 | 5 | 10 |

Niciunul dintre scenariile elaborate nu necesită analiza detaliată pe baza criteriului Indicele Accident de Mediu, prin urmare EAI nu a fost calculat pentru aceste scenarii.

3.3. Analiza detaliată

Notă. Pentru concizie, în prezentul rezumat sunt incluse doar rezultatele pentru incendiu în baltă în cuva rezervoarelor A7-A10, rezultatele pentru celelalte scenarii, cuve de retenție și rezervoare individual sunt prezentate în teză.

Scenariile care rezultă din analiza criterială ca necesitând o analiză detaliată sunt evaluate cu ajutorul programelor avansate de modelare. Programul software utilizat pentru analiza scenariilor de accidente din cauze tehnologice este EFFECTS, elaborat de compania olandeză TNO. Pentru scenariile cu risc ridicat, incendii în cuva de retenție a rezervoarelor, este utilizat programul ARIPAR 4.0 pentru analiza riscului individual și societal.

Riscul individual bazat pe condițiile amplasamentului ia în considerare riscul de deces ca rezultat al unui accident pe amplasament, pentru o persoană care este prezentă permanent fără echipament de protecție pe amplasamentul stabilit.

Riscul societal este reprezentat grafic prin curbe F-N, arătând frecvența anuală F pentru N sau mai multe decese. Pe același grafic pot fi reprezentate două linii care marchează zonele de risc Inacceptabil – ALARA și ALARA – acceptabil. ALARA (As Low As Reasonably Achievable – la cel mai jos nivel realizabil în mod acceptabil) este zona în care este recomandabil să se implementeze măsuri pentru reducerea riscului.

Datorită faptului că amplasamentul este situat într-o zonă seismică influența hazardului seismic asupra nivelului riscului individual și societal este analizată pentru scenariul de incendiu în cuva de retenție folosind de asemenea programul ARIPAR 4.0.

3.3.1. Evaluarea riscului pentru accidente tehnologice

3.3.1.1. Incendiu în cuva de retenție – analiza consecințelor

Incendiile în cuva de retenție au fost modelate cu ajutorul programului EFFECTS elaborat de TNO. Incendiile au fost modelate pentru două viteze ale vântului: 1m/s și 4m/s, iar rezultatele radiației termice funcție de distanță pe direcția vântului și perpendicular pe direcția vântului sunt prezentate în teză pentru fiecare cuvă de retenție în parte.

Rezultatele sunt reprezentate ca valori ale razelor contururilor de radiație termică pentru 3 niveluri diferite: 12.5, 5 și 2.5 kW/m². Aceste valori sunt recomandate ca valori prag pentru calcularea efectelor fizice de către Inspectoratul General Pentru Situații de Urgență din România (IGSU, 2013, 2009).

3.3.1.1.4. Cuva rezervoarelor A7 – A10

A. Substanța: n-hexadecan (Rezervoarele A7, A9 și A10);

Suprafața bălții (suprafața cuvei) (m²): 3055

Tabelul 21. Rezultate pentru incendiu în cuva de retenție a rezervoarelor A7 – A10 (n-hexadecan)

| Parametru și unitatea de măsură | Valoare pentru viteza vântului 1m/s | Valoare pentru viteza vântului 4m/s |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Primul contur de radiație termică la (m) | 78,042 | 82,772 |
| Al doilea contur de radiație termică la (m) | 56,62 | 65,081 |
| Al treilea contur de radiație termică la (m) | 32,837 | 36,406 |

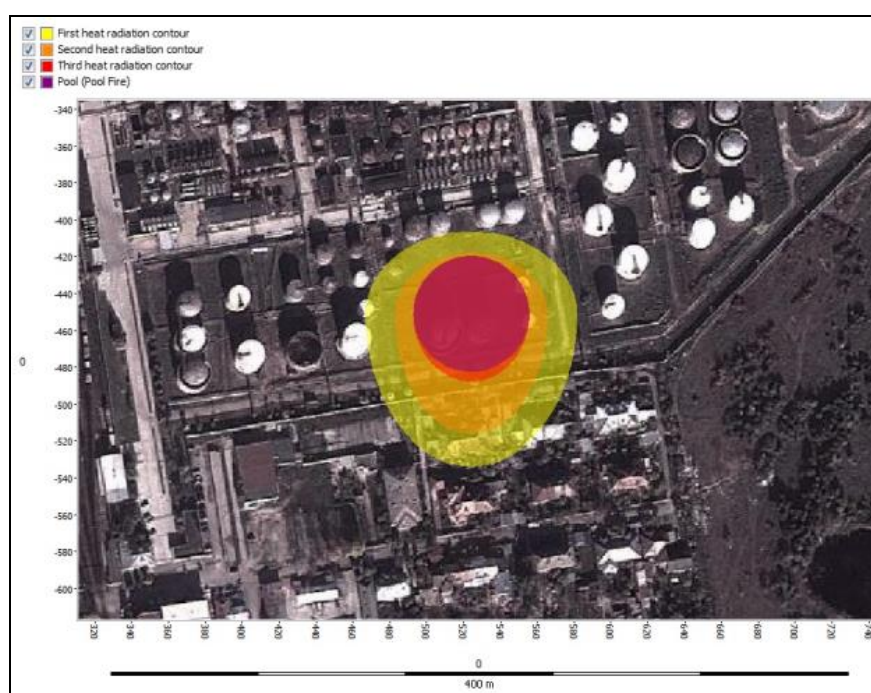


Figura 15f. Harta de risc pentru incendiu în cuva de retenție a rezervoarelor A7 – A10, viteza vântului 4m/s (n-hexadecan).

B. Substanța: xilen (Rezervor A8);

Suprafața bălții (suprafața cuvei) (m²): 3055

Tabelul 22. Rezultate pentru incendiu în cuva de retenție a rezervoarelor A7 – A10 (xilen)

| Parametru și unitatea de măsură | Valoare pentru viteza vântului 1m/s | Valoare pentru viteza vântului 4m/s |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Primul contur de radiație termică la (m) | 67,208 | 75,057 |
| Al doilea contur de radiație termică la (m) | 45,799 | 56,812 |
| Al treilea contur de radiație termică la (m) | 23,236 | 29,284 |

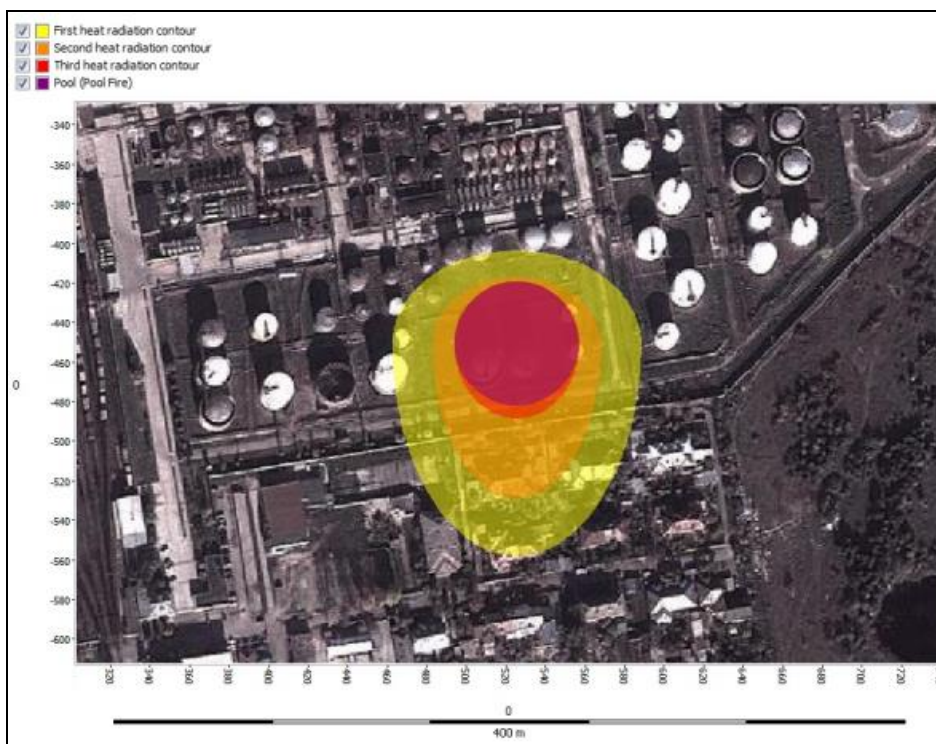


Figura 16f. Harta de risc pentru incendiu în cuva de retenție a rezervoarelor A7 – A10, viteza vântului 4m/s (xilen).

3.3.1.2. Incendiu în cuva de retenție – risc individual și societal

3.3.1.2.4. Cua rezervoarelor A7 – A10

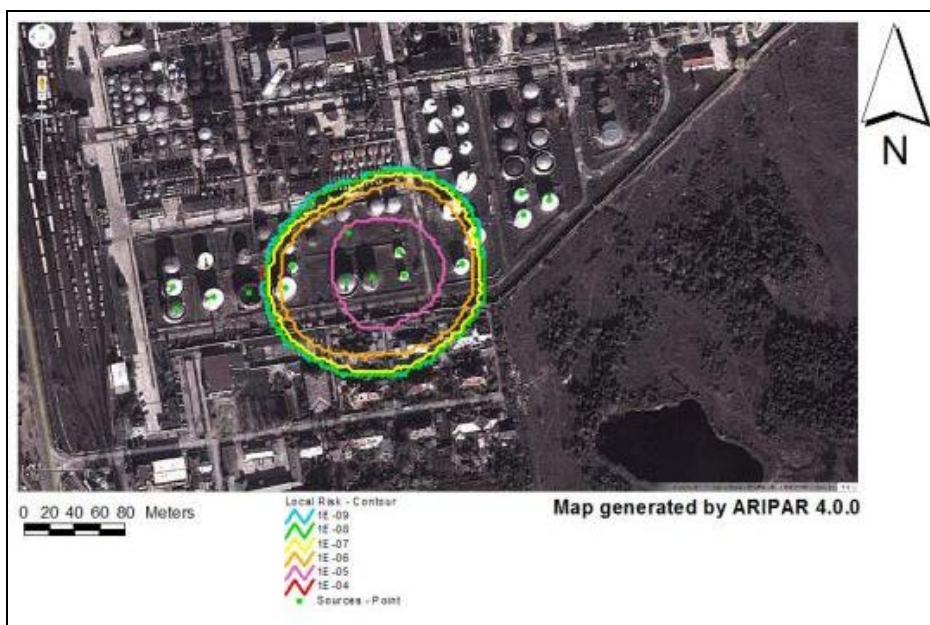


Figura 24a. Harta de risc individual pentru incendiu în cuva de retenție a rezervoarelor A7-A10, cauze intrinseci.

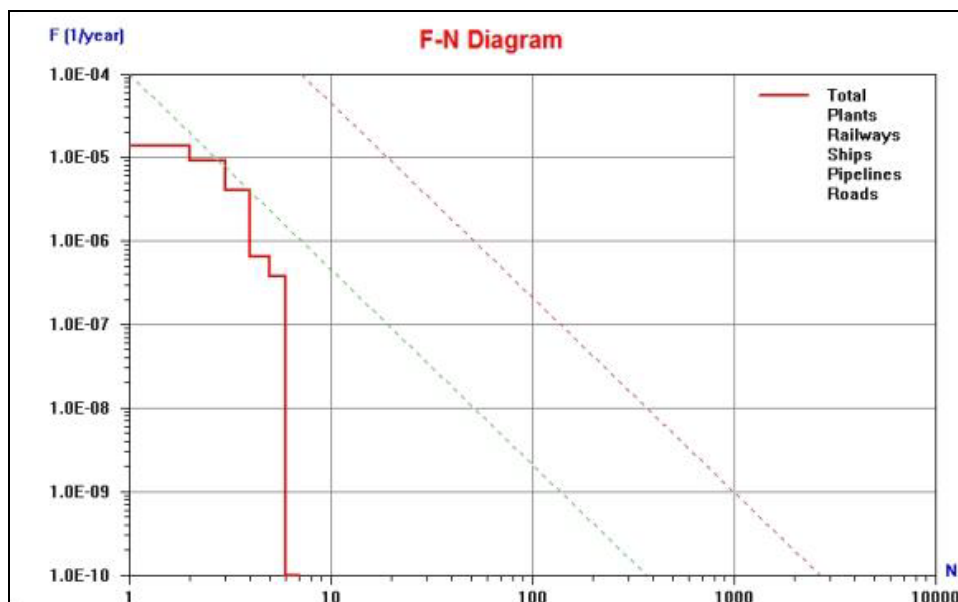


Figura 24b. Diagrama F-N pentru incendiu în cuva de retenție a rezervoarelor A7-A10, cauze intrinseci.

3.3.1.5. Concluzii ale analizei tehnologice de risc

Analiza tehnologică de risc pentru amplasamentul selectat a constat în analiza scenariilor de incendiu în cuva de retenție pentru care s-a analizat riscul utilizând metode bazate pe consecințe precum și metode bazate pe risc. Pentru scenariile de explozie sau flash fire în afara rezervorului și explozia rezervorului s-au utilizat doar metode bazate pe consecințe, deoarece rezultatele acestei analize de risc au arătat că efortul de a efectua analiza de risc individual și societal pentru aceste scenarii nu ar fi justificat în spiritul metodologiei de Analiza Sistemă a Riscului, descrisă în Capitolul 2 al tezei.

Rezultatele analizei consecințelor pentru scenariile de incendiu în baltă în cuva de retenție au arătat că efectele reversibile (pragul III) și efectele ireversibile (pragul II) pentru contururile de radiație termică ating zona rezidențială în cazul majorității scenariilor, cu excepția scenariilor care implică rezervoarele A13, A14 și A15. Prin urmare, calculul riscului individual și societal pentru aceste scenarii a fost considerat necesar. Calculele au fost efectuate utilizând programul ARIPAR 4.0 și rezultatele au fost afișate.

Valorile limită acceptabile pentru scopuri LUP (Land Use Planning – planificarea utilizării teritoriului), acceptate în diferite state membre UE, sunt 10^{-5} /an limita superioară și 10^{-6} /an limita inferioară (Duijm, 2009; Trbojevic, 2005). Limita inferioară pentru riscul individual a atins limita zonei rezidențiale în toate scenariile, cu excepția scenariului care implică incendiul în cuva de retenție a rezervoarelor A13-15 (aceste rezervoare sunt amplasate mai departe de zona rezidențială). În cazul incendiului în cuva rezervoarelor A7-A10, chiar și conturul limitei superioare (10^{-5} /an) a atins limita zonei rezidențiale.

Rezultatele combinate ale riscului individual datorat cauzelor tehnologice (intrinseci) pentru toate rezervoarele selectate pentru studiul de caz sunt prezentate în Figura 43.

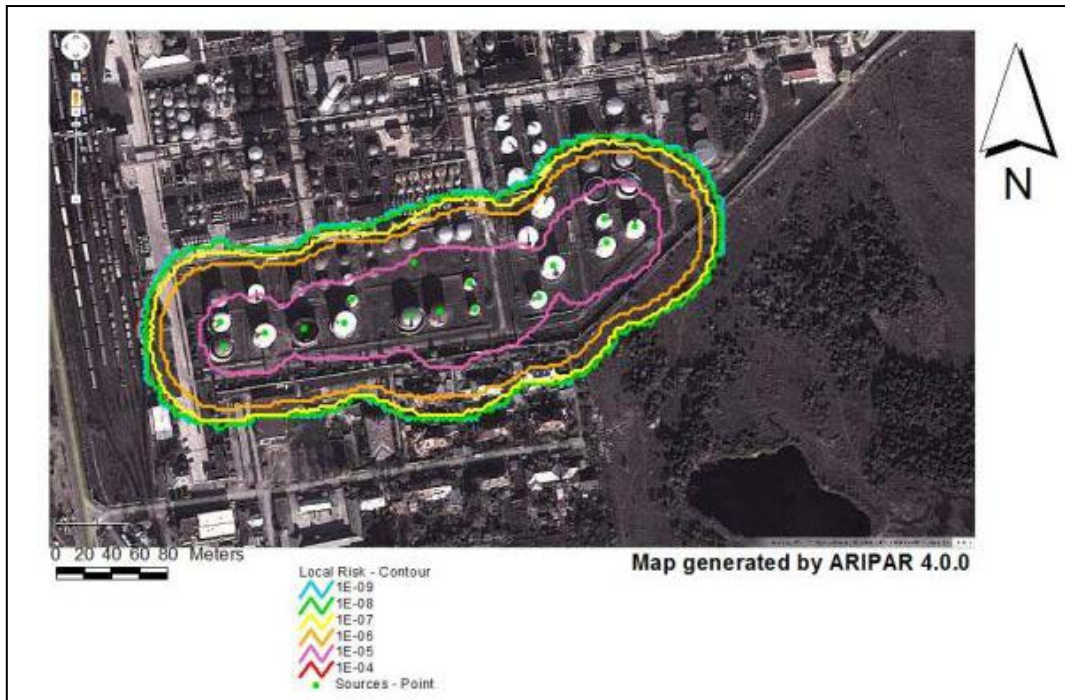


Figura 43. Riscul individual datorat cauzelor tehnologice pentru rezervoarele A1 la A15.

A fost calculat de asemenea riscul societal pentru fiecare dintre scenariile de incendiu în cava de retenție pentru rezervoarele selectate. Niciuna din curbele F-N separate (pentru fiecare cuvă) nu a intrat în intervalul ALARA; toate s-au situat în intervalul de risc acceptabil. Luate împreună toate scenariile de incendiu în cava de retenție din cauze intrinseci, curba F-N rezultată atinge limita ALARA, după cum se observă în figura 44.

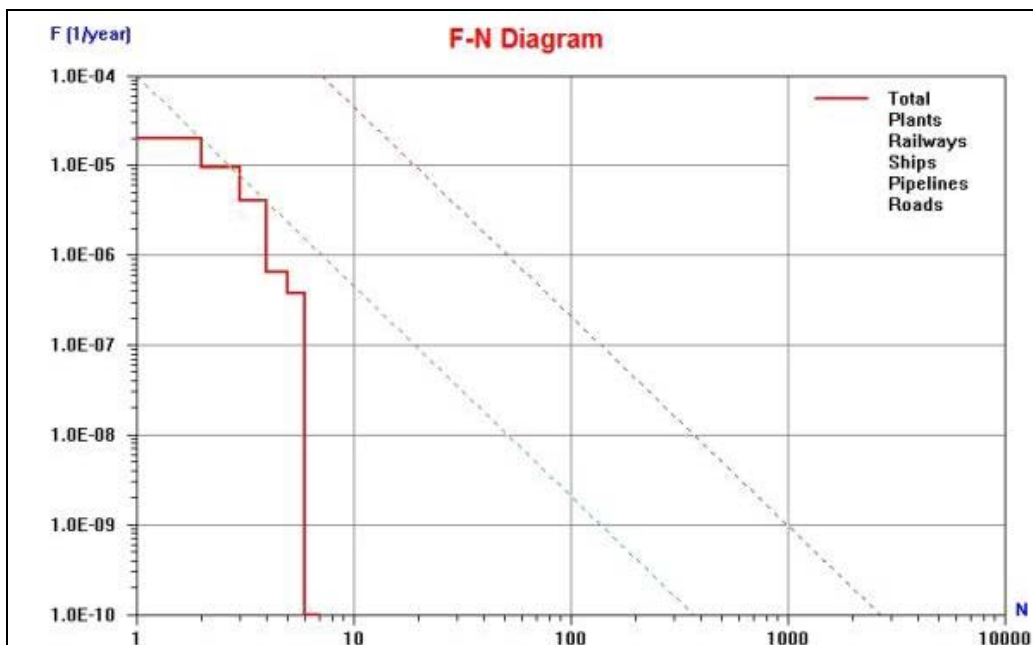


Figura 44. Diagrama F-N pentru toate scenariile de incendiu în cava de retenție din cauze intrinseci.

Pentru anumite scenarii rezultatele au fost sub valoarea prag stabilită pentru calcularea riscului societal, fapt ce arată că nu toate scenariile contribuie în aceeași măsură la diagrama F-N

pentru toate scenariile de incendiu în cuva de retenție din cauze intrinseci din figura 44, prezentată mai sus. Prin urmare, s-a generat o diagramă F-N cu curbe separate pentru fiecare eveniment de vârf (scenariu). Rezultatele sunt prezentate în figura 45 și explicația legendei este dată în Tabelul 40. Opt scenarii (doar 6 sunt reprezentate pe diagramă) s-au situat deasupra valorii prag pentru calculul riscului societal în ARIPAR, corespunzând la 8 rezervoare și scenariile respective de incendiu în cuva de retenție în urma ruperii catastrofice a rezervorului datorată cauzelor intrinseci. Scenariile care s-au situat sub această valoare și prin urmare nu contribuie semnificativ la riscul societal total al amplasamentului (din cauze intrinseci) corespund rezervoarelor A2, A5, A6, A12, A13, A14 și A15.

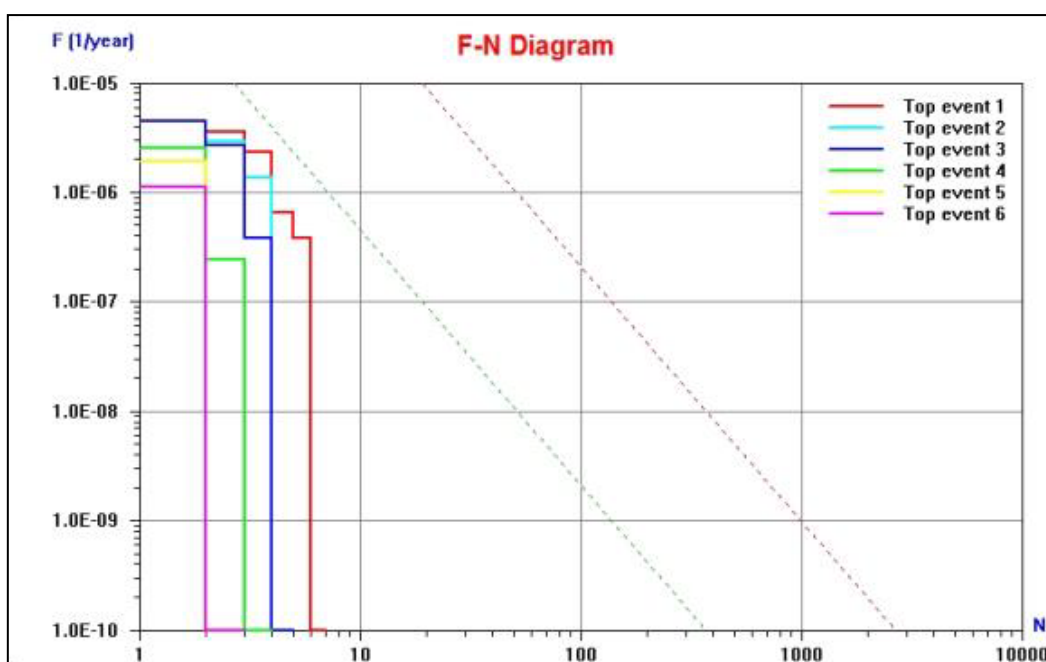


Figura 45. Diagrama F-N pentru scenariile de incendiu în cuva de retenție din cauze intrinseci, separate pe scenarii.

Tabel 40. Scenarii și contribuția lor la riscul societal total al amplasamentului, din cauze intrinseci.

| Item | Descriere | Contribuția la riscul societal total (%) |
|------------|--|--|
| Scenariu 1 | A8 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 35.3178 |
| Scenariu 2 | A9 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 25.4435 |
| Scenariu 3 | A7 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 21.0440 |
| Scenariu 4 | A11 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 7.5879 |
| Scenariu 5 | A4 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 5.1987 |
| Scenariu 6 | A3 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 3.0859 |
| Scenariu 7 | A1 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 1.2784 |
| Scenariu 8 | A10 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 1.0438 |

Simularea VCE (Vapour Cloud Explosion – explozie a norului de vapori) (în afara rezervorului) rezultată din evaporarea bălții din cuva rezervoarelor (după ruperea rezervorului) pentru studiul de caz selectat nu a arătat niciun rezultat.

Simularea flash fire a fost efectuată pentru două scenarii, pentru cuva rezervoarelor A1 și A2 cu xilen, iar pentru cuva rezervoarelor A3 și A4 cu n-hexan, ambele în condiții meteo medii (clasa de stabilitate Pasquill D-neutru) și în condiții meteo nefavorabile (clasa de stabilitate Pasquill F-foarte stabil). Pragul de concentrație LEL nu a fost atins pentru niciunul din cazuri, dar pentru n-hexan concentrația prag de 0.5LEL a fost atinsă în cazul condițiilor meteo nefavorabile și a atins o distanță maximă de 120,42m. Letalitatea este considerată posibilă doar în interiorul flăcării, prin urmare nu s-a considerat necesar calculul riscului individual și societal.

Simularea exploziei rezervorului (VCE) a fost efectuată pentru fiecare rezervor selectat, pentru cinci nivele ale suprapresiunii. Valoarea prag de 300mbar pentru suprapresiune, corespunzând zonei cu mortalitate ridicată, nu a fost atinsă în niciunul din cazuri. Prin urmare, nu s-a considerat necesar să se calculeze riscul individual și societal. Contururile care au atins zona rezidențială sunt cel de 30mbar (efecte reversibile asupra sănătății) pentru majoritatea rezervoarelor (cu excepția rezervoarelor A13-A15) și conturul de 70mbar (efecte ireversibile asupra sănătății) în cazul rezervoarelor A1, A2, A3, A4, A5, A7 și A8. De asemenea, în cazul rezervoarelor A1, A4, A7 și A8 și conturul pentru valoarea limită de 100mbar corespunzând zonei de planificare a teritoriului a atins zona rezidențială într-o mică parte pe latura nordică a acesteia. Pentru majoritatea rezervoarelor conturul de 140mbar corespunzător efectelor domino atinge rezervoarele învecinate. Acest fapt arată că distanțele de siguranță nu au fost luate în considerare în proiectarea parcului de rezervoare.

3.3.2. Analiza de risc NaTech

Calcululele pentru riscul individual și societal au fost efectuate atât pentru scenariile cu cauze intrinseci (tehnologice), cât și pentru scenarii cu cauze seismice. Riscul total NaTech a fost calculat apoi utilizând același program (ARIPAR). A fost ales un cutremur de referință pentru calcularea riscului NaTech, având PGA de 300cm/s^2 ($\sim 0.306\text{g}$) și o perioadă de revenire de 475 ani (rezultând o frecvență de $2.11 \cdot 10^{-3}/\text{an}$) (Ardeleanu et al., 2005; Sokolov et al., 2007) (vezi cap. 3.1.1.4.). Programul permite analizarea scenariilor pentru mai multe cutremure de referință alese.

Calcularea probabilității de avariere a rezervorului în caz de cutremur s-a efectuat utilizând analiza Probit (Finney, 1971). Modelele de vulnerabilitate bazate pe analiza probit sunt utilizate pe scară largă în analizele cantitative de risc (Antonioni et al., 2007, Salzano et al., 2003; Fabbrocino et al., 2005).

3.3.2.1. Rezultate pentru analiza de risc NaTech

3.3.2.1.4. A7 – A10



Figura 50a. Harta de risc individual pentru incendiu în cuva rezervoarelor A7-A10, din cauze intrinseci și seismice

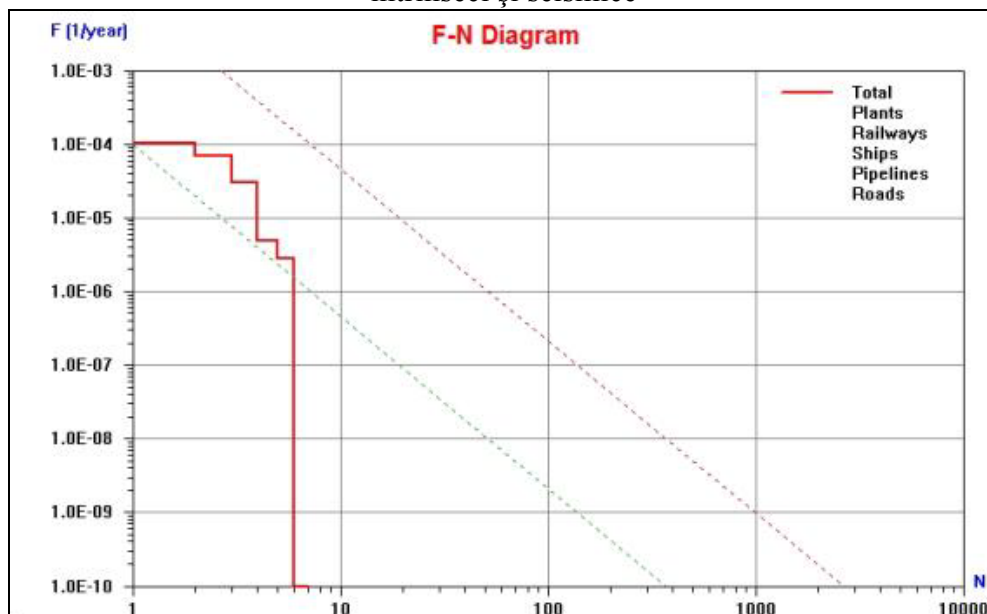


Figura 50b. Diagrama F-N pentru scenariul de incendiu în cuva rezervoarelor A7-A10, din cauze intrinseci și seismice.

3.3.2.2. Concluziile analizei de risc NaTech

Calculul riscului individual și societal total (incluzând scenariile de incendiu în cuva de retenție din cauze NaTech sau intrinseci) a fost efectuat cu programul ARIPAR 4.0., iar rezultatele pentru fiecare cuvă de retenție au fost prezentate în teză.

Limita inferioară de acceptabilitate pentru risc individual pentru scopul planificării teritoriului de 10^{-6} y^{-1} , precum și limita superioară de 10^{-5} y^{-1} au fost atinse în zona rezidențială în cazul tuturor scenariilor, cu excepția celor pentru rezervoarele A13-A15, prin urmare riscul individual atingând pragul de inacceptabilitate în aceste cazuri. Atunci când riscul individual este

calculat pentru scenariile intrinseci și NaTech împreună, partea nordică a zonei rezidențiale este situată în zona riscului inacceptabil pentru scopul LUP, după cum se poate observa în figura 53.

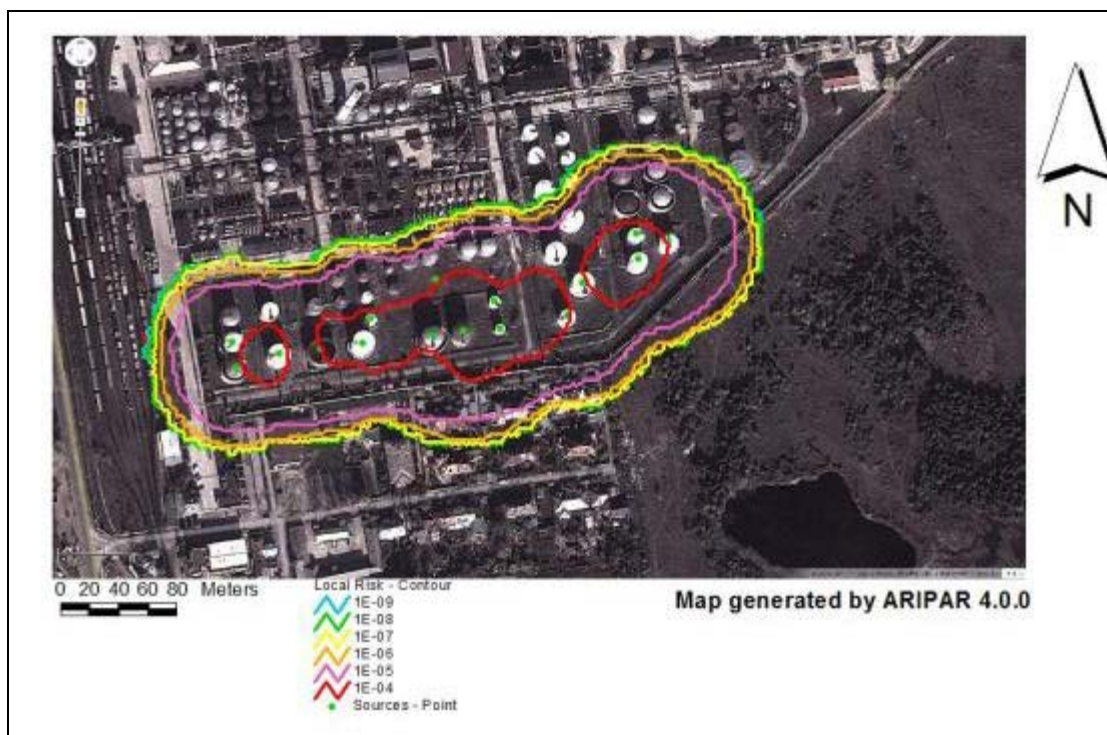


Figura 53. Riscul individual – scenariu de incendiu în cuva de retenție din cauze intrinseci și NaTech, pentru rezervoarele A1-A15.

Riscul societal a fost calculat utilizând programul ARIPAR. Diagramele F-N pentru fiecare cuvă de retenție luate separat arată că riscul societal datorat atât cauzelor intrinseci cât și celor NaTech atinge intervalul ALARA pentru scenariile de incendiu în cuva de retenție pentru rezervoarele A7 la A10. Rezultatele pentru calculul riscului societal pentru cuvele rezervoarelor A5-A6 și A13-A15 s-au situat sub valoarea prag de calcul utilizată în scopuri computaționale de către program. S-a calculat riscul societal pentru toate scenariile cu cauze intrinseci și NaTech, iar rezultatele sunt prezentate în figura 54. După cum se observă din această figură, curba F-N pentru toate scenariile se situează în intervalul ALARA. Principiul ALARA afirmă că pentru riscurile situate în acest interval este recomandat să se ia măsuri de reducere a riscului până la limita acceptabilă.

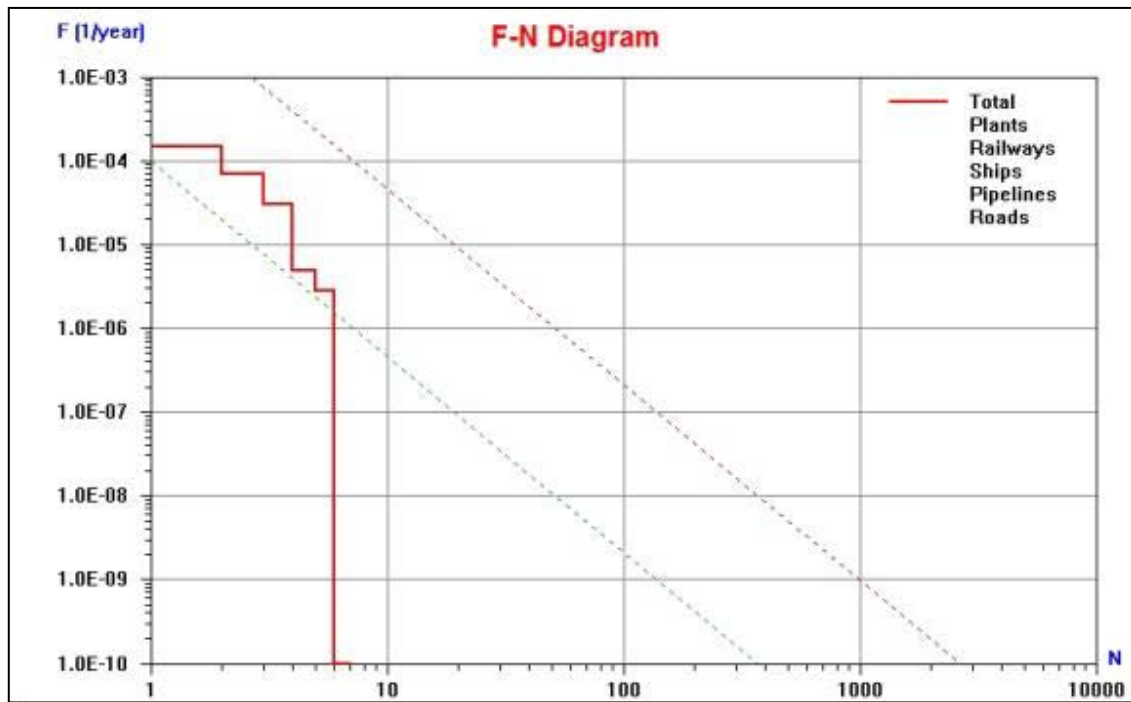
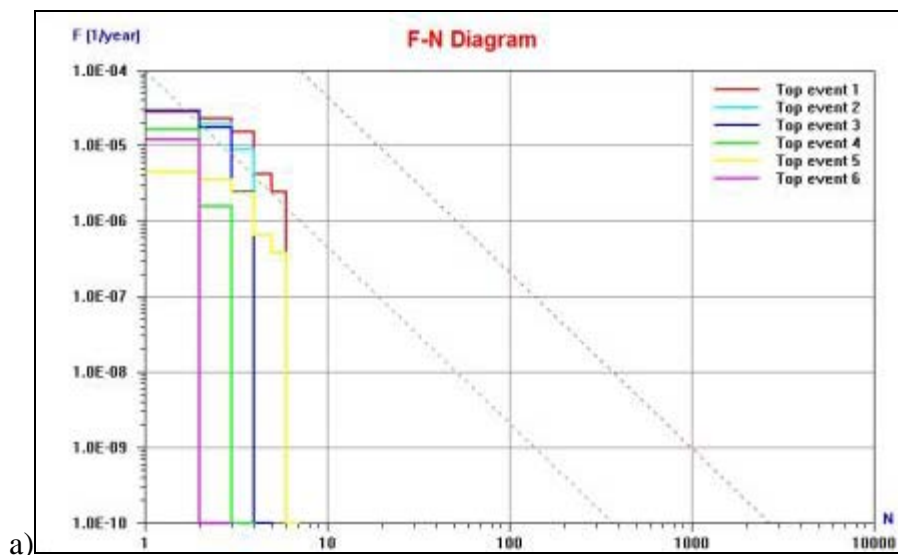


Figura 54. Diagrama F-N pentru toate scenariile de incendiu în cuva de retenție din cauze intrinseci și NaTech

O diagramă F-N cu curbe separate pentru fiecare scenariu a fost generată, incluzând atât cauzele intrinseci cât și cele NaTech pentru pierderea conținutului în urma ruperii rezervorului. În acest mod se poate observa care dintre scenariii contribuie cel mai mult la riscul societal total al amplasamentului, precum și contribuția fiecărui scenariu la riscul societal total. Rezultatele sunt prezentate în figura 55, iar tabelul 41 prezintă o explicație a legendei și procentajul contribuției fiecărui scenariu la riscul societal total al parcului de rezervoare.



a)

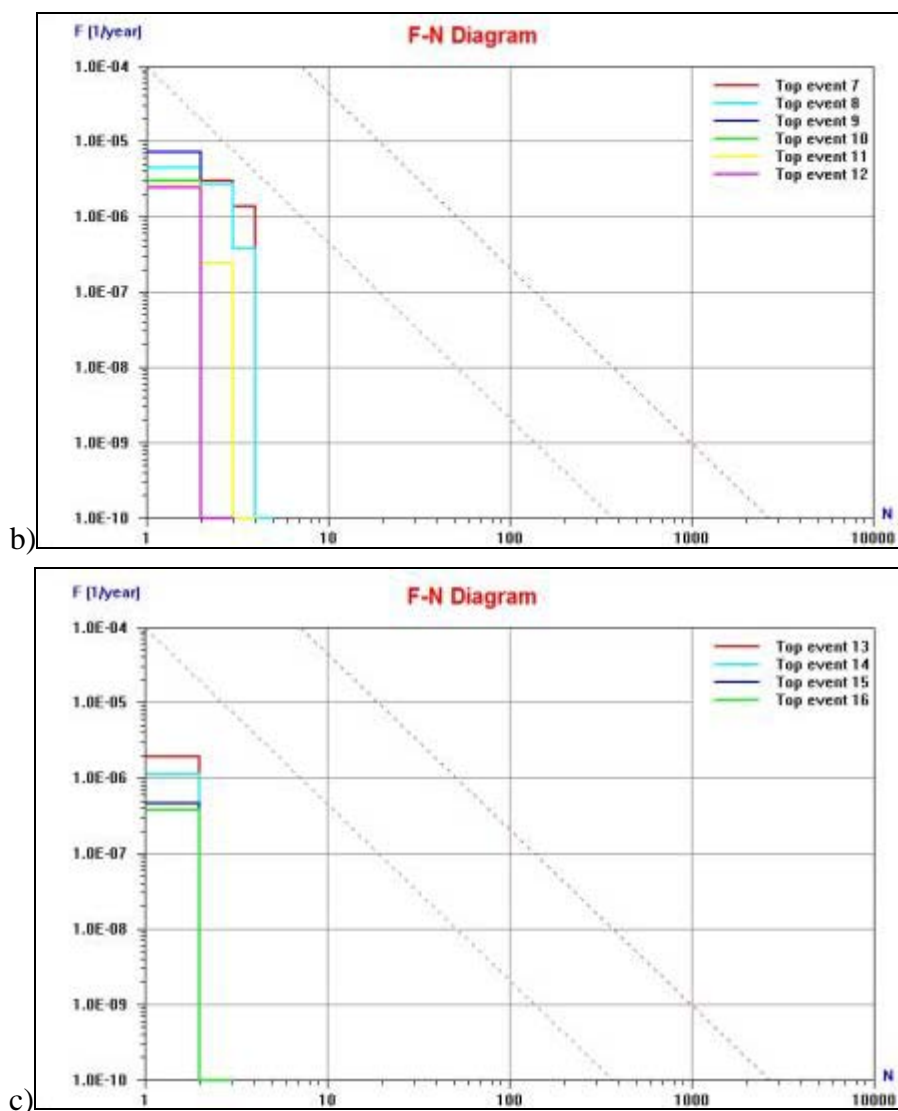


Figura 55 a)-c). Diagrama F-N pentru scenariile de incendiu în cuva de retenție din cauze intrinseci și seismice, separat pe scenarii

Table 41. Scenarii și contribuția lor la riscul societal total din cauze intrinseci și seismice

| Item | Descriere | Contribuția la riscul societal total (%) |
|-------------|---|--|
| Scenariu 1 | A8 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze seismice | 30.5580 |
| Scenariu 2 | A9 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze seismice | 22.0145 |
| Scenariu 3 | A7 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze seismice | 18.2079 |
| Scenariu 4 | A11 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze seismice | 6.5652 |
| Scenariu 5 | A8 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 4.7598 |
| Scenariu 6 | A4 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze seismice | 4.4981 |
| Scenariu 7 | A9 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 3.4290 |
| Scenariu 8 | A7 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 2.8361 |
| Scenariu 9 | A3 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze seismice | 2.6700 |
| Scenariu 10 | A1 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze seismice | 1.1061 |

| | | |
|-------------|--|--------|
| Scenariu 11 | A11 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 1.0226 |
| Scenariu 12 | A10 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze seismice | 0.9031 |
| Scenariu 13 | A4 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 0.7006 |
| Scenariu 14 | A3 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 0.4159 |
| Scenariu 15 | A1 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 0.1723 |
| Scenariu 16 | A10 – Rupere catastrofică a rezervorului, cauze intrinseci | 0.1407 |

Ierarhizarea contribuției la riscul societal pe scenarii prezintă un avantaj important: arată unde vor genera cele mai mari beneficii măsurile de reducere a riscului (Botezan et al., 2010). Din această ierarhizare se poate observa că primele trei scenarii contribuie în procent de 70% la nivelul total al riscului societal; rezervorul A8 este clasat cel mai sus, cu o contribuție de aproximativ 30% la nivelul total al riscului societal al amplasamentului. De asemenea, se poate observa că toate aceste trei scenarii se datorează cauzelor seismice. În concluzie, implementarea de măsuri de reducere a riscului pentru îmbunătățirea rezistenței la cutremure direcționate asupra acestor trei rezervoare (A8, A9 și A7) ar avea ca rezultat cele mai mari beneficii în vederea reducerii riscului societal total al amplasamentului.

3.4. Concluzii și discuții

Directiva Seveso (Seveso II, III) abordează riscurile NaTech în mod indirect, solicitând analiza evenimentelor externe în identificarea și analiza riscurilor de accidente și metodele de prevenire a acestora. Analiza evenimentelor externe care pot duce la accidente chimice implică luarea în considerare a amenințării potențiale a hazardurilor naturale în analiza hazardurilor, precum și implementarea măsurilor de atenuare în cazul în care se produce un accident. Metodologiile și acțiunile care pot fi aplicate și întreprinse pentru a atinge aceste cerințe nu sunt specificate, fiind depuse puține eforturi pentru dezvoltarea procedurilor de evaluare cantitativă a riscurilor NaTech (Cruz et al., 2004).

Având în vedere aceste aspecte, considerăm că evaluarea diferenței dintre nivelul de risc individual și societal din cauze intrinseci și din cauze NaTech poate sublinia importanța considerării riscurilor naturale drept cauze de accidente atunci când se efectuează evaluări de risc pentru amplasamente industriale. Figura 55 prezintă o comparație între riscul individual pentru toate rezervoarele indus exclusiv de cauze intrinseci și cel indus atât de cauze intrinseci cât și NaTech, pentru toate rezervoarele.



Figura 56. Comparația dintre riscul individual în scenariul de incendiu în cuva de retenție pentru rezervoarele A1-A15. Stânga - cauze intrinseci, Dreapta-total (cauze intrinseci și NaTech)

Din Figura 56 se poate observa că atunci când se adaugă la analiza de risc scenariile NaTech, nivelul de risc individual pentru parcul de rezervoare selectat a crescut cu un ordin de mărime și că zona rezidențială este situată în interiorul conturului valorii de inacceptabilitate ($10^{-5}y^{-1}$) pentru riscul individual în scopuri LUP.

Există o creștere semnificativă și a riscului societal atunci când se iau în considerare atât cauzele intrinseci, cât și cele NaTech. Figura 57 prezintă o comparație între riscul societal din cauze intrinseci și cel din cauze intrinseci și NaTech pentru amplasament.

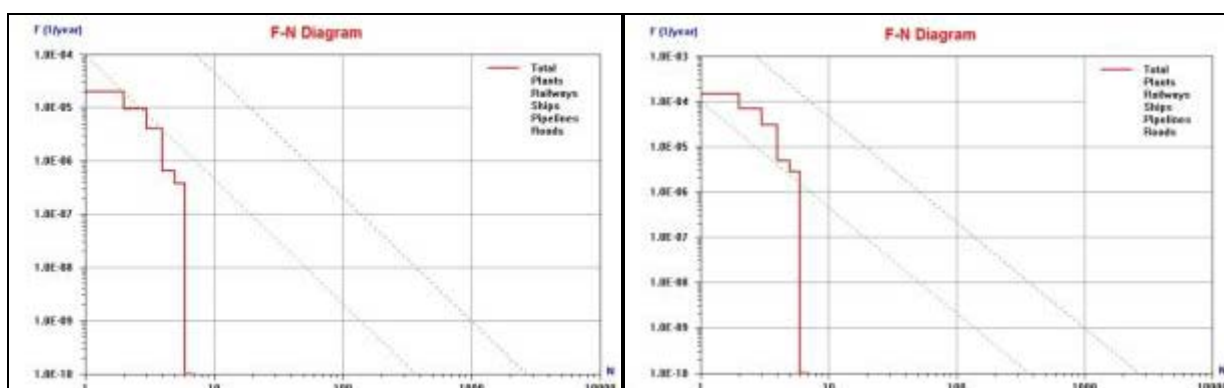


Figura 57. Comparația dintre riscul societal în scenariul de incendiu în cuva de retenție pentru rezervoarele A1-A15. Stânga - cauze intrinseci, Dreapta-total (cauze intrinseci și NaTech)

Ca și în cazul riscului individual, crește riscul societal cu un ordin de mărime atunci când sunt adăugate cauzele NaTech în calculele de risc, iar riscul este situat în intervalul ALARA, indicând faptul că ar trebui implementate măsurile de reducere a riscurilor, cu scopul de a reduce nivelul de risc la un nivel acceptabil.

Figura 57 prezintă riscul total societal pentru amplasament. Cu toate acestea, probabilitatea este diferită în cazul unuia sau mai multor rezervoare avariate simultan în cazul

unui cutremur. Prin urmare, este necesară calcularea frecvenței pentru fiecare combinație posibilă de avariere simultană a rezervoarelor. Este aplicată o valoare limită pentru această frecvență și astfel combinațiile relevante de 1 până la x rezervoare care ar putea fi avariate în același timp de cutremur din totalul de 15 rezervoare avute în vedere sunt considerate credibile, deoarece probabilitatea lor de apariție este egală sau mai mare cu valoarea-limită ($1e-10/\text{an}$), în timp ce combinațiile de mai multe rezervoare care ar putea fi avariate în același timp, dar care au o frecvență mai mică, nu sunt considerate credibile (Antonioni et al., 2009b). Procedura de calcul a fost utilizată pentru calcularea frecvențelor evenimentelor domino în literatura de specialitate (Antonioni et al., 2009b; Cozzani et al. 2005). În acest caz, efectul declanșator a fost considerat cutremurul de referință, generând o probabilitate de avariere pentru un singur rezervor de $1,53e-02$ și având o frecvență de $2,11e-03/\text{an}$. Rezultatele calculării frecvențelor pentru fiecare combinație din studiul de caz selectat sunt prezentate în Tabelul 42.

Tabel 42. Calcularea frecvenței fiecărui set de combinații de rezervoare avariate simultan în cazul unui eveniment cutremur de referință.

| Numărul de rezervoare | Numărul de combinații | Probabilitatea combinației de avarii | Frecvența fiecărei combinații (evenimente/an) |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|---|
| 0 | 1 | 0.793522177 | 0.001674332 |
| 1 | 15 | 0.012329531 | 2.60153E-05 |
| 2 | 105 | 0.000191573 | 4.04219E-07 |
| 3 | 455 | 2.97661E-06 | 6.28064E-09 |
| 4 | 1365 | 4.62497E-08 | 9.75869E-11 |
| 5 | 3003 | 7.18615E-10 | 1.51628E-12 |
| 6 | 5005 | 1.11657E-11 | 2.35595E-14 |
| 7 | 6435 | 1.73489E-13 | 3.66061E-16 |
| 8 | 6435 | 2.69562E-15 | 5.68776E-18 |
| 9 | 5005 | 4.18838E-17 | 8.83749E-20 |
| 10 | 3003 | 6.5078E-19 | 1.37315E-21 |
| 11 | 1365 | 1.01116E-20 | 2.13356E-23 |
| 12 | 455 | 1.57112E-22 | 3.31506E-25 |
| 13 | 105 | 2.44116E-24 | 5.15085E-27 |
| 14 | 15 | 3.79301E-26 | 8.00325E-29 |
| 15 | 1 | 5.89348E-28 | 1.24352E-30 |

A fost stabilită o valoare limită pentru frecvența fiecărei combinații la $1e-10/\text{an}$ în scopul de a stabili numărul relevant (credibil) de rezervoare care ar fi avariate în același timp în timpul cutremurului de referință. Din tabelul 42 se observă că cea mai mare valoare pentru frecvența fiecărei combinații care este sub valoarea limită a fost de $6.28e-09$, care corespunde avarierii simultane a 3 rezervoare. Astfel, combinațiile de 0, 1, 2 sau 3 rezervoare avariate simultan sunt

credibile și pot fi posibile în cazul apariției cutremurului de referință. Acest lucru se traduce printr-un număr de până la 455 de combinații pentru 3 rezervoare deteriorate simultan, 105 pentru 2 rezervoare deteriorate simultan, 15 rezultate pentru fiecare dintre cele 15 rezervoare selectate singular și, desigur, 1 rezultat în care niciunul dintre rezervoarele nu este avariat de cutremurul de referință.

Din analiza riscului tehnologic și a celui NaTech efectuată pentru rezervoarele selectate, se poate concluziona că scenariile de incendiu în baltă în cuva de retenție contribuie în mare parte la nivelul de risc general al amplasamentului. Luând în considerare numai incendiile în baltă în cuva de retenție ca urmare a accidentelor tehnologice, se poate concluziona că nivelul de risc individual și societal sunt considerate oarecum acceptabile, dar atunci când se adaugă în analiza de risc scenariile NaTech pentru parcul de rezervoare selectat, această situație se poate schimba în mod semnificativ, amplificând nivelul de risc individual și societal cu un ordin de mărime.

Calculul frecvenței fiecărui număr de combinații de rezervoare susceptibile de a fi avariate simultan în cazul unui cutremur de referință a ilustrat că un număr de până la trei rezervoare avariate în același timp prezintă o frecvență relevantă. Calcularea riscului societal cu curba F-N generată separat pentru fiecare scenariu a ilustrat contribuția fiecărui scenariu pentru riscul societal total, făcând astfel posibilă concluzia că incendiul în cuva de retenție ca urmare a rupturii catastrofale în urma cutremurului pentru rezervoarele A8 , A9, A7 justifică mai mult de 70% din riscul societal general.

În concluzie, în loc să se facă o recomandare generală proprietarului amplasamentului pentru reducerea efectelor sau a probabilității de apariție a incendiilor în baltă în cuva de retenție (pe baza analizei preliminare), sugestiile specifice de aplicare a măsurilor de reducere a riscului la rezervoarele A8, A9 și A7 și îmbunătățirea performanței lor seismice ar putea aduce cele mai mari beneficii în ceea ce privește reducerea nivelului de risc general al amplasamentului. Aceste concluzii pot fi emise doar în cunoștință de cauză, după realizarea evaluării detaliate. Pe de altă parte, realizarea unor evaluări detaliate bazate pe risc pentru toate scenariile de accidente care au fost elaborate pentru amplasament ar fi implicat timp și resurse nejustificate pentru informații care nu ar fi contribuit în mod semnificativ la rezultatul final.

Capitolul 4. Concluzii finale, contribuții personale și cercetări viitoare

4.1. Concluzii finale

Obiectivul principal al tezei de doctorat a fost de a dezvolta și implementa o metodologie sistematică de analiză a riscului pentru amplasamentele industriale, care ia în considerare cauzele tehnologice, precum și cele naturale ca posibile cauze ale accidentelor industriale care afectează sectorul de petrol și gaze al infrastructurii critice. Evenimentele NaTech generează un interes tot mai mare în comunitatea științifică și în rândul părților interesate, deoarece aceste accidente au

consecințe negative semnificative asupra sănătății umane, a mediului și a economiei. Creșterea numărului de astfel de evenimente este strâns legată de dezvoltarea exponențială tehnologică din ultimele decenii, de creșterea complexității acestor amplasamente și a numărului de substanțe utilizate în procesele tehnologice.

Conceptul de infrastructură critică a câștigat, de asemenea, o atenție larg răspândită în ultimii ani, subliniind necesitatea de a identifica în mod corespunzător elementele și sistemele care sunt considerate infrastructuri critice, în scopul de a lua măsuri importante pentru protecția lor. Măsurile de protecție ar trebui orientate acolo unde acestea sunt cel mai necesare și unde aduc cele mai mari beneficii pentru resursele alocate, ceea ce face necesară o analiză a pericolelor și amenințărilor față de elementele de infrastructură critică.

Tendențele globale au dovedit că numărul dezastrelor naturale a înregistrat o creștere semnificativă la nivel mondial în ultimele decenii. Chiar dacă în unele părți ale lumii comunitățile au dezvoltat un anumit grad de rezistență la dezastre naturale în ceea ce privește numărul de decese, care este în scădere, numărul de persoane afectate în diverse moduri de catastrofele naturale a crescut.

A fost înregistrată, de asemenea, o creștere a numărului dezastrelor tehnologice și a efectelor lor negative. Având în vedere tendința de creștere a numărului de pericole naturale și a populației în zonele urbane, unde se află majoritatea instalațiilor tehnologice, există o conștientizare tot mai mare a necesității de a reduce riscul de dezastre și de a amplifica acțiunile de prevenire pentru evenimentele NaTech. Evaluarea riscurilor NaTech pentru instalații tehnologice și implementarea de măsuri adecvate de reducere a riscului de dezastre sunt aspecte importante ale managementului riscurilor NaTech.

Cu toate acestea, procesul de evaluare a riscurilor poate avea diferite dimensiuni în ceea ce privește timpul și resursele necesare, în funcție de complexitatea amplasamentului industrial, cerințele de reglementare, metodele și tehnicile utilizate, precum și alți factori. Metodologia de analiză sistematică a riscurilor pentru subsectoarele de petrol și gaze ale infrastructurii critice elaborată și descrisă în capitolul 2 al tezei propune o abordare în trei etape, de la evaluarea preliminară, printr-o etapă de analiză criterială, până la evaluarea detaliată. Acest lucru asigură o analiză aprofundată a riscurilor și a procesului de evaluare a riscului pentru amplasamentele industriale din acest sector, canalizând eforturile analizelor detaliate spre scenariile care contribuie în mod semnificativ la nivelul de risc total al amplasamentului, fără a compromite relevanța concluziilor evaluării riscurilor.

Metodologia de analiză sistematică a riscurilor pentru sectoarele de petrol și gaze a fost aplicată pe un studiu de caz referitor la acest sector al infrastructurii critice. Scopul a fost de a sublinia importanța considerării hazardurilor naturale, precum și a cauzelor tehnologice în procesul de evaluare a riscurilor pentru aceste tipuri de instalații. Amplasamentul cuprinde un parc de rezervoare situat în regiunea seismică cea mai activă din România, zona Vrancea. Metodologia a fost urmată pas cu pas pentru studiul de caz selectat.

Evaluarea preliminară pentru studiul de caz selectat a inclus informații generale cu privire la localizarea amplasamentului și a zonei rezidențiale, istoria amplasamentului, date

privind populația estimată, geologie, structura tectonică și activitatea seismică din zonă. Amplasamentul este situat într-o regiune cunoscută pentru activitatea sa seismică. Literatura de specialitate care a fost analizată a arătat că PGA pentru acest amplasament poate atinge valori de până la $3,5 \text{ m/s}^2$ pentru cutremure cu o intensitate de aproximativ 8,5 MSK. Legislația și clasificarea criteriilor naționale privind protecția civilă clasifică, de asemenea, amplasamentul ca fiind situat într-o zonă cu risc seismic. S-a considerat că se poate lua în considerare o valoare de 3m/s^2 (corespunzătoare valorii de 0,306 g) a PGA pentru un eveniment seismic de referință, cu o perioadă de revenire de 475 ani pentru locația amplasamentului.

A fost realizată, de asemenea, caracterizarea amplasamentului din punct de vedere climatic, deoarece aceste informații reprezintă date de intrare necesare pentru instrumentele software utilizate în evaluarea detaliată. Au fost luate în considerare două perioade de timp („anotimpuri”): de primăvară-vară și toamnă-iarnă, și două clase de stabilitate Pasquill pentru fiecare anotimp: foarte stabil (F + G) și neutru (D), cu viteze ale vântului de referință de 1 m/s și 4 m/s. Prelucrarea extinsă a datelor meteo medii orare pe timp de un an pentru orașul Ploiești a fost efectuată în scopul de a colecta date meteorologice de referință utilizate în simulări. Rezultatele sunt în concordanță cu vitezele și direcțiile multianuale medii ale vântului din zona amplasamentului.

Analiza preliminară a inclus, de asemenea, descrierea instalației, dispunerea rezervoarelor în cuvele de retenție și principalele caracteristici ale rezervoarelor și cuvelor. Din întregul parc de rezervoare al rafinăriei, au fost selectate 15 rezervoare datorită faptului că acestea sunt situate mai aproape de zona rezidențială, la limita de sud a parcului de rezervoare. S-a realizat o descriere a reglementărilor generale privind cuvele de retenție și cerințele cu privire la caracteristicile, materialele de construcții, capacitate și alți parametri. Descrierea substanțelor periculoase depozitate în rezervoarele selectate fost elaborată în etapa de analiză preliminară. Substanțele depozitate în rezervoarele selectate sunt xilen, n-hexan, n-hexadecan și combustibil lichid ușor. Deoarece combustibilul lichid ușor este un nume general pentru o serie de hidrocarburi, substanța utilizată în instrumentele de modelare pentru combustibil lichid este n-undecanul. Pentru fiecare dintre substanțe au fost descrise caracteristicile și comportamentul fizic, chimic și toxicologic principal.

Accidentele NaTech pot fi declanșate de cutremure, inundații, alunecări de teren, condiții meteorologice extreme etc. și, prin urmare, este important să se ia cunoștință de hazardurile naturale, care sunt susceptibile să se manifeste în zona amplasamentului. Hazardurile naturale sunt de cele mai multe ori puternic dependente de condițiile locale. Pentru amplasamentul luat în considerare în studiul de caz, cutremurele sunt cele care dau naștere celor mai mari îngrijorări din punct de vedere al riscurilor naturale, cu potențial de a provoca accidente majore.

Pe baza literaturii de specialitate și a bazelor de date privind accidentele, în etapa de evaluare preliminară s-a efectuat de asemenea descrierea scenariilor de accidente tipice pentru parcul de rezervoare și s-au prezentat pe scurt câteva accidente caracteristice care au avut loc pe amplasamente similare. Scenariile tipice de accidente la parcurile de rezervoare care depozitează hidrocarburi includ scurgeri de substanțe periculoase, incendii și explozii. Incendiile, exploziile

și proiecțiile de fragmente rezultate din explozii pot declanșa efecte domino, creând un „lanț” de accidente majore cu consecințe extinse. Nu există instalații industriale învecinate cu amplasamentul selectate, astfel încât efectele domino, așa cum sunt ele definite de directivele Seveso nu prezintă un motiv de îngrijorare, dar sunt posibile efecte domino interne (sau amplificarea accidentelor). Acest lucru este confirmat în analiza detaliată a amplasamentului.

Descrierea scenariilor posibile de accidente majore de pe site-ul selectat a constat în șapte scenarii:

- a. deversări/scurgeri de produse petroliere din conducte/pompe;
- b. deversări de produse petroliere din rezervoare;
- c. incendii din scurgeri în afara cuvelor rezervoarelor;
- d. incendiu în interiorul rezervorului;
- e. incendiu al produselor petroliere scurse în cuva de retenție;
- f. explozie sau flash-fire (în afara rezervorului);
- g. explozia rezervorului.

Pentru fiecare dintre cele șapte scenarii au fost descrise cauzele, efectele posibile și potențialul de a genera accidente majore. Scenariile au fost apoi analizate în cadrul analizei de risc folosind o matrice de risc 5x5, cu note alocate pentru estimarea calitativă a probabilității și a magnitudinii consecințelor. Aceasta este o analiză calitativă menită să ofere o primă privire asupra riscului amplasamentului. Nivelurile de risc rezultate în urma analizei de risc variază de la risc moderat la risc ridicat.

După analiza preliminară a scenariilor de accidente pentru amplasament, acestea au fost supuse analizei criteriale. Toate scenariile au potențialul de a genera accidente majore datorită naturii substanțelor depozitate în rezervoare. De asemenea, toate au potențialul de a genera incendii sau explozii. Ca atare, niciunul dintre scenarii nu a fost analizat utilizând metodologia indicelui Accident de mediu. Criteriul risc și consecințe a fost folosit pentru a se diferenția între scenariile care au necesitat o analiză detaliată și celelalte. Au rezultat trei scenarii care au avut nevoie de o evaluare detaliată: explozie sau flash fire în afara rezervorului și explozia rezervorului (datorită consecințelor posibile ale acestora) și incendiu în cuva de retenție (pe baza consecințelor catastrofale și a nivelului ridicat de risc).

Scenariile care au rezultat din analiza criterială ca necesitând o analiză detaliată au fost analizate cu ajutorul programelor software de modelare: EFECTS pentru determinarea consecințelor și ARIPAR pentru calcularea riscului individual și societal. Analiza riscurilor de accidente tehnologice a utilizat valori prag de referință pentru radiația termică și pentru suprapresiune selectate din regulamentele, ghidurile și normativele românești. A fost realizată analiza consecințelor pentru scenariile de incendiu în cuva de retenție pentru două viteze ale vântului: 1 m/s și 4m/s și pentru fiecare substanță prezentă în cuvă, luând în considerare cantitatea din cel mai mare rezervor din cuvă. Au fost afișate rezultatele privind radiația termică în funcție de distanță pe direcția vântului și perpendicular pe direcția vântului pentru fiecare cuvă de retenție, iar contururile a trei valori prag ale radiației termice ($2,5 \text{ kW/m}^2$, 5 kW/m^2 și $12,5 \text{ kW/m}^2$) au fost reprezentate pe hărți georeferențiate pentru fiecare cuvă.

Rezultatele analizei bazate pe consecințe în cazul scenariilor de incendiu în cuvă au ilustrat faptul că conturul care corespunde nivelului de radiație termică de 5Kw/m^2 (zona cu efecte asupra sănătății) atinge zona locuită în majoritatea scenariilor analizate și, ca atare, a fost calculat riscul individual și societal folosind programul ARIPAR. Limita inferioară folosită în scopuri LUP pentru riscul individual ($10^{-6}/\text{an}$) a atins limita zonei rezidențiale în toate scenariile, cu excepția scenariului care implică incendiul din cuva rezervoarelor A13-A15 (aceste rezervoare sunt situate mai departe de zona rezidențială). Și în cazul unui incendiu în cuva rezervoarelor A7-A10 conturul limitei superioare ($10^{-5}/\text{an}$) a riscului individual a atins limita zonei rezidențiale. Calculul riscului societal a indicat că atunci când toate scenariile care implică incendii în cuvele de retenție datorate unor cauze intrinseci sunt luate împreună, curba F-N de abia ajunge la limita ALARA. Diagrama F-N cu curbe separate pentru fiecare scenariu a relevat faptul că doar 8 scenarii generează curbe de risc societal peste valoarea prag și că aportul scenariilor de incendiu în cuva de retenție pentru rezervoare A8, A7 și A9 reprezintă mai mult de 80% din nivelul total al riscului societal al amplasamentului.

Au fost, de asemenea, analizate detaliat scenarii de explozie sau incendiu de degajare (flash fire) în afara rezervoarelor, cu ajutorul programului EFECTS. Simularea VCE (explozie a norului de vapori) pentru rezervoarele selectate nu au indicat niciun rezultat, pentru niciuna dintre substanțele depozitate în rezervoare. Pentru simularea incendiilor de degajare au fost selectate cuvele de rezervoare A1 – A2 și A3 – A4. În cazul rezervoarelor A1 și A2 (xilen) nu a fost atinsă concentrația prag (LEL) și nici cea de $0,5\text{LEL}$, în nicio condiție meteorologică simulată. Pentru rezervoarele A3 și A4 (n-hexan), s-a atins numai valoarea de $0,5\text{LEL}$ (care corespunde efectelor ireversibile asupra sănătății), pentru condiții meteorologice nefavorabile, ajungând la o distanță maximă de 120,42 m. Având în vedere că valoarea prag a concentrației LEL nu a fost atinsă în niciunul din cazuri, se consideră că nu există probabilitatea de deces în urma incendiului de degajare în niciunul din cazuri și, ca atare, calculul riscului individual și societal nu a fost considerat necesar în acest caz.

Simularea exploziei rezervorului (VCE) a fost, de asemenea, realizată pentru fiecare dintre rezervoarele selectate, pentru cinci valori prag ale suprapresiunii. Nivelul prag de 300 mbar de suprapresiune corespunzător zonei cu mortalitate ridicată nu a fost atins în niciunul din cazuri. Ca atare, nu a fost necesară calcularea riscului individual și societal. Pentru majoritatea rezervoarelor, limitele pragului de suprapresiune pentru efectul domino de 140 mbar ating rezervoarele din jur, ilustrând faptul că distanțele de siguranță nu sunt respectate în structura parcului de rezervoare.

Pentru analiza de risc NaTech privind scenariile de incendiu în cuva de retenție, a fost calculată probabilitatea de avariere pentru un rezervor în cazul evenimentului seismic de referință folosind funcții probit, cu valorile pentru constantele probit selectate din literatura de specialitate în domeniu pentru tipurile de rezervoare și nivelurile de umplere specifice amplasamentului selectat în cadrul studiului de caz. Rezultate pentru riscul total (inclusiv cauzele tehnologice și NaTech pentru scenariile de accidente) au fost afișate pentru fiecare cuvă de retenție. S-a calculat riscul individual și riscul societal total utilizând ARIPAR 4.0. Limita

inferioară de acceptabilitate 10^{-6} /an pentru riscul individual în scopuri LUP, precum și limita superioară 10^{-5} /an au ajuns în zona rezidențială în toate cazurile, cu excepția rezervoarelor A13–A15. Aceasta înseamnă că riscul individual datorat atât cauzelor intrinseci, cât și celor NaTech, a atins pragul inacceptabil în aceste cazuri. Calcularea riscului societal total (inclusiv NaTech) a ilustrat faptul că curba F-N pentru toate rezervoarele se află în intervalul ALARA, în timp ce curbele F-N calculate separat pentru fiecare scenariu au arătat că incendiul în cuva de retenție datorat unor cauze seismice în rezervoarele A8, A9 și A7 reprezintă mai mult de 70% din nivelul riscului total rezultat din cauze intrinseci și NaTech. Clasificarea contribuției riscului societal la scenariu prezintă un avantaj important: acesta arată unde ar aduce măsurile de reducere a riscurilor cele mai mari beneficii în ceea ce privește reducerea nivelului de risc societal total al amplasamentului.

Evaluarea diferenței dintre nivelul de risc individual și societal din cauze intrinseci și din cauze NaTech poate sublinia importanța luării riscurilor naturale în considerare drept cauze ale accidentelor atunci când se efectuează evaluări de risc pentru amplasamentele industriale. Compararea dintre riscul individual și cel societal pentru amplasament luând în considerare numai cauze intrinseci și apoi incluzând scenariile NaTech în analiza de risc a arătat o creștere cu un ordin de mărime atunci când a fost inclus scenariul NaTech, iar valorile prag în scopuri LUP pentru riscul inacceptabil au fost depășite în zona rezidențială, în timp ce nivelul riscului societal a atins intervalul ALARA, sugerând că ar trebui implementate măsurile de reducere a riscurilor.

S-a realizat comparația dintre riscul individual și cel societal datorat cauzelor intrinseci și intrinseci +NaTech pentru riscul total de pe amplasamentul selectat. Deoarece probabilitatea ca un singur rezervor să fie deteriorat în cazul unui cutremur de referință diferă de probabilitatea ca mai multe rezervoare să fie deteriorate în cazul aceluiași cutremur, a fost efectuat un calcul al frecvenței fiecărei combinații posibile de rezervoare care pot fi deteriorate simultan, adaptând metodologia utilizată în literatura de specialitate pentru analiza evenimentelor domino. A fost stabilită o valoare prag de $1e-10$ /an pentru frecvența combinațiilor pentru a selecta numărul relevant de rezervoare care ar putea fi afectate simultan în cazul unui cutremur de referință. Rezultatele au indicat că un număr de până la 3 rezervoare deteriorate simultan este relevant.

Rezultatul calculării frecvențelor pentru fiecare combinație de rezervoare susceptibile de a fi avariate simultan, combinat cu rezultatele analizei de risc bazată pe consecințe, precum și cu calculele riscului individual și societal pentru amplasamentul respectiv pot duce la concluzii pertinente cu privire la oportunitățile de reducere a riscurilor. Ca atare, în loc să se facă o recomandare generală proprietarului amplasamentului pentru reducerea efectelor sau a probabilității de apariție a incendiilor în cuva de retenție (pe baza analizei preliminare), sugestiile specifice de aplicare a măsurilor de reducere a riscului la rezervoarele A8, A9 și A7 și îmbunătățirea performanței lor seismice ar putea aduce cele mai mari beneficii în ceea ce privește reducerea nivelului de risc total al amplasamentului. Aceste concluzii au putut fi emise doar în cunoștință de cauză, după realizarea evaluării detaliate.

4.2. Contribuții personale și cercetări viitoare

Această teză propune o abordare originală de evaluare a hazardurilor și riscurilor pentru amplasamentele industriale, urmând o metodologie de analiză sistematică a riscurilor. Contribuțiile personale din lucrarea de față sunt prezentate mai jos:

- Studiu de literatură privind conceptul de infrastructură critică, definițiile și sinteza cadrului legislativ privind infrastructurile critice din Europa și din România.
- Studiu de literatură privind vulnerabilitățile, riscurile și amenințările la adresa infrastructurilor critice din România.
- Studiu de literatură și analiză a bazelor de date privind tendința globală a dezastrelor naturale și tehnologice, a accidentelor NaTech și provocările în analiza riscurilor NaTech.
- Dezvoltarea metodologiei de analiză sistematică a riscurilor pentru subsectoarele de petrol și gaze ale infrastructurii critice, bazată pe metodologia de analiză sistematică a riscurilor elaborată pentru industria minieră extractivă. Metodologia de analiză sistematică a riscurilor pentru infrastructurile critice – subsectoarele de petrol și gaze constă în trei etape, urmate de concluzii: analiza preliminară, analiza criterială și analiza detaliată. Etapa de analiză criterială constă în aplicarea unei serii de criterii, care permit selectarea hazardurilor (scenarii), care contribuie în mod semnificativ la riscul de ansamblu al amplasamentului și, ca atare, concentrarea eforturilor de analiză detaliată asupra acestor scenarii.
- Luarea în considerare și evaluarea potențialului unor scenarii pentru a genera poluarea pe termen lung a solului și a apelor subterane atunci când efectuează analiza de risc, pentru scenariile care nu generează incendii, explozii sau dispersie toxice. Introducerea calculului indicelui Accident de mediu în etapa de analiză criterială a metodologiei permite selectarea pentru evaluarea detaliată a scenariilor care au potențialul de a afecta mediul, neprovocând în același timp efecte imediate asupra populației.
- Aplicarea analizei sistematice a riscului asupra infrastructurii critice – subsectoarele de petrol și gaze pe un studiu de caz - parcul de rezervoare de produse petroliere, situat într-o zonă seismică a României.
- Analiza preliminară a studiului de caz:
 - Prezentarea mediului în care este situat amplasamentul: date estimative cu privire la populație, istoricul amplasamentului, geologia, structura tectonică, activitatea seismică și clima. Caracterizarea amplasamentului cu privire la potențialul seismic și studiul de literatură pentru stabilirea PGA în cazul unui cutremur de referință în zona studiată.
 - Descrierea instalației și a substanțelor depozitate în parcul de rezervoare.
 - Identificarea hazardurilor naturale în zona studiului de caz.
 - Descrierea scenarii de accidente tipice pentru acest tip de instalație și trecerea în revistă a mai multor accidente care au avut loc pe amplasamente similare, din cauze intrinseci (tehnologice) și datorită unor evenimente NaTech.

- Descrierea posibilelor scenarii de accidente pe amplasamentul selectat.
 - Analiza de risc pentru scenariile de accident pe amplasamentul selectat folosind matricile de risc.
- Analiza criterială a scenariilor de accidente elaborată pentru studiul de caz și selecția scenariilor care va fi supusă analizei detaliate
- Analiza detaliată a scenariilor selectate, folosind programe de modelare avansate: EFFECTS și ARIPAR 4.0.
- Analiza riscurilor de accidente tehnologice folosind metode bazate consecințe și metode bazate pe risc (risc individual și societal) pentru scenarii de incendiu în baltă.
 - Analiza riscurilor de accidente tehnologice folosind metode bazate consecințe pentru incendii de degajare și explozii ale norilor de vapori
 - Analiza riscurilor NaTech pentru scenariile de incendii în cuva de retenție: estimarea probabilității de avariere în cazul unui cutremur de referință pentru un rezervor și calcularea riscului individual și societal cu ajutorul programului ARIPAR 4.0.
 - Realizarea unei comparații între riscurile individuale și societale pentru amplasamentul studiat în situația unor cauze intrinseci față de riscul individual și societal total, care include cauze intrinseci și NaTech.
 - Stabilirea contribuției fiecărui scenariu la nivelul riscului societal total al amplasamentului din cauze intrinseci și adăugarea hazardurilor naturale (în acest caz, cutremur) ca și cauze pentru evenimentele LOC. Acest lucru permite factorilor de decizie să emită concluzii pertinente cu privire la segmentele unde sunt cele mai necesare măsurile de reducere a riscurilor și unde acestea ar fi cele mai eficiente în reducerea nivelului de risc societal al amplasamentului.
 - Descrierea măsurilor de protecție și reducere a riscului în instalație
 - Calcularea frecvențelor seturilor de combinații de rezervoare avariate simultan, în cazul apariției cutremurului de referință și determinarea numărului relevant de rezervoare care ar putea fi avariate simultan în cazul unui cutremur de referință.
- Interpretarea rezultatelor analizei riscurilor tehnologice și NaTech pentru studiile de caz selectate și discuții.

Din ceea ce cunoaștem, nu s-au realizat niciodată studii privind riscul individual și societal pentru studiul de caz selectat, iar evenimentele NaTech nu au fost luate în considerare în analizele de risc elaborate anterior pentru amplasamentul respectiv din punct de vedere cantitativ. Includerea evenimentelor NaTech în analiza riscurilor a dovedit creșterea riscului individual și societal total al amplasamentului cu aproximativ un ordin de mărime. Acest lucru este deosebit de important pentru amplasamentul selectat deoarece în imediata vecinătate a rezervoarelor este situată o zonă rezidențială. Analiza riscului a arătat că contururile limitelor inacceptabile în scopul utilizării terenurilor pentru riscul individual se suprapun cu zona rezidențială în ceea ce privește riscul Natech.

Cercetările viitoare privesc metodologia de evaluare sistematică a riscurilor, pe de o parte și studiul de caz pe de altă parte.

Metodologia de analiză sistematică a riscurilor elaborată în cadrul prezentei teze pentru subsectoarele de petrol și gaze ale infrastructurii critice poate fi modificată și dezvoltată în viitor pentru a se adapta și altor sectoare și subsectoare ale infrastructurii critice. Metodologia a fost elaborată inițial pentru industria minieră extractivă. Deși principiile metodologiei pot rămâne aceleași, criteriile și metodologiile de analiză detaliată pot fi modificate în funcție de nevoile identificate, în funcție de domeniul în care se aplică. De asemenea, o aplicare a metodologiei elaborate în cadrul acestei teze asupra altor studii de caz în acest domeniu ar putea conduce la o optimizare a criteriilor și a terminologiei, făcând-o mai ușor de aplicat și ar contribui la clarificarea unor posibile incertitudini ale utilizatorilor.

Metodologia de analiză sistematică a riscurilor dezvoltată în teza de față pentru subsectoarele de petrol și gaze ale infrastructurii critice ar putea fi un instrument util pentru autoritățile de mediu, consultanți și proprietarii/administratorii de instalații din industria de petrol și gaze în dezvoltarea studiilor și rapoartelor de evaluare a riscurilor, deoarece aceasta permite o analiză aprofundată a unui amplasament industrial odată cu direcționarea resurselor spre scenariile care contribuie cel mai mult la nivelul riscului total al amplasamentului.

În ceea ce privește studiul de caz, cercetările viitoare ar trebui să utilizeze date exacte și actualizate cu privire la amplasament, respectiv date reale privind populația și specificul instalațiilor și să prelucreze informațiile actualizate ca date de intrare pentru analiza de risc. Deoarece nu a fost posibilă stabilirea în timp util a unui acord formal cu titularul amplasamentului pentru finalizarea acestei lucrări, datele utilizate în lucrarea de față sunt fie date publice, fie estimate pe baza imaginilor satelitare.

Evaluarea riscurilor pe baza consecințelor pentru scenariul de explozie a rezervorului a ilustrat faptul că pentru cele mai multe rezervoare, contururile efectului domino de 140mbari ajung la rezervoarele din apropiere. Ca atare, se recomandă o analiză aprofundată a efectului domino și punerea ulterioară în aplicare a măsurilor de reducere a riscului.

BIBLIOGRAFIE

1. Antonioni G., Spadoni G. and Cozzani V., 2009b, Application of domino effect quantitative risk assessment to an extended industrial area, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22, 614–624
2. Antonioni, G., Spadoni, G. and Cozzani, V., 2007, A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events, *Journal of Hazardous Materials* 147: 48–59;
3. Ardeleanu, L., Leydecker, G., Bonjer, K.-P., Busche, H., Kaiser, D., Schmitt, T. (2005). Probabilistic seismic hazard map for Romania as a basis for a new building code, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 679–684.
4. Botezan C., **Crișan D.**, Ozunu Al., 2010, Cursul de pregătire „Reducerea Riscului de Dezastre” (Risk Reduction Training Course) – in Romanian, *Revista Protecția Civilă*, nr. 4 -5/2010, ISSN 1223-575X
5. Chapra S.C., Whitehead P. G., 2009, Modelling impacts of pollution in river systems: a new dispersion model and a case study of mine discharges in the Abrud, Aries and Mures River System in Transylvania, Romania. *Hydrology Research*, 40 (2-3): 306–322;
6. Christou M.D, Struckl M., Biermann T., 2006, Land Use Planning Guidelines in the context of Article 12 of the Seveso II Directive 96/82/EC as amended by Directive 105/2003/EC. Major Accident Hazards Bureau (MAHB), European Commission, Joint Research Centre, online at: http://ec.europa.eu/environment/seveso/pdf/landuseplanning_guidance_en.pdf, accessed December, 2011.
7. Cohen F., 2010, What makes critical infrastructures Critical?, *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 3, pp. 53-54
8. Cozzani Valerio, Gubinelli Gianfilippo, Antonioni Giacomo, Spadoni Gigliola, Zanelli Severino, 2005, The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis, *Journal of Hazardous Materials* A127, 14–30
9. **Crișan (Gheorghiu), A.-D.**, 2013, Metodologie de utilizare într-o manieră sistematică a metodelor și tehnicilor de analiză a riscului pentru amplasamentele industriale, Volum lucrări Workshop „Tendințe și cerințe de interdisciplinaritate în cercetare. Prezentarea rezultatelor obținute de doctoranzi”, Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași, Editura POLITEHNIUM IAȘI, ISBN 978-973-621-408-0.
10. Cruz, A. M, Steinberg, Laura. J., Vetere, Arellano, A.L., Nordvik, J.P, Pisano, F., 2004, State of the Art in Natech Risk Management, Joint Research Center, European Commission, UN ISDR, EUR 21292EN
11. Duijm, N.J., 2009, Acceptance criteria in Denmark and the EU, Environmental Project No. 1269, Danish Ministry of the Environment. available online at:

- <http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2009/978-87-7052-920-4/pdf/978-87-7052-921-1.pdf>, last accessed April 2013.
12. Fabbrocino, G., Iervolino, I., Orlando, F., and Salzano, E., 2005, Quantitative risk analysis of oil storage facilities in seismic areas, *Journal of Hazardous Materials*, 12, 361–369.
 13. Finney, D. J., 1971, *Probit Analysis*. Cambridge. UK: Cambridge University Press.
 14. Fischer S., 1995, *Environmental toxicology*, Appendix 1-6 from *Toxic and inflammable/Explosive Chemicals- a Swedish Manual for risk assessment*, Second Edition. FOA Report D-95-00099-4.9 Sweden.
 15. **Gheorghiu A. D.**, Török Z., Ozunu Al., 2013c, How can existing risk assessment methodologies be used in a systematic manner, in the extractive mining industry?, Accepted for publication in *Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE)*, Vol. 14, ISSN 1311-5065.
 16. **Gheorghiu A.-D.**, Nour E., Ozunu A., 2013a, Critical infrastructure protection in Romania. Evolution of the concept, vulnerabilities, hazards and threats. *AES Bioflux* 5(2):148-157.
 17. **Gheorghiu A.-D.**, Ozunu Al., 2013b, Natech accidents and ethical decision making (Accidentele natech si etica luarii deciziilor) – in English and Romanian, *Environmental Engineering and Sustainable Development Entrepreneurship (Ingenieria Mediului și Antreprenoriatul Dezvoltării Durabile)*, Vol. 2, No. 2 (2013)
 18. Kirchsteiger, Christian (editor), Christou, Michalis D. (co-editor), Papadakis, Georgios A. (co-editor), 1998, *Risk Assessment and Management in the Context of the Seveso II Directive*, Elsevier, Industrial Safety Series 6, European Commission, Joint Research Centre, 21020 Ispra (Va), Italy.
 19. Lees FP., 1996, *Loss Prevention in the Process Industries* 2nd ed., Oxford, UK: Butterworth Heinemann
 20. Leydecker, G., Busche, H., Bonjer K.-P., Schmitt, T., Kaiser, D., Simeonova, S., Solakov, D., Ardeleanu, L., (2008). Probabilistic seismic hazard in terms of intensities for Bulgaria and Romania – updated hazard maps, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 1431–1439.
 21. Ozunu Al., Török Z., Vana Al. D., Coșara Gh. V., **Crișan A. D.**, Roman E. G., Kocsis V., Muntean L., 2011b, Analiza sistematică de risc în industria minieră extractivă (Systematic risk analysis in the mining industry) – in Romanian, *Revista Protecția Civilă*, nr. 1/2011, ISSN 1223-575X
 22. Ozunu, Al., 2000, *Elemente de hazard și risc în industrii poluante* – in Romanian, Editura Accent, Cluj-Napoca
 23. Ozunu, Al., Anghel, C., 2007, *Evaluarea riscului tehnologic și securitatea mediului* – in Romanian, Editura Accent, Cluj-Napoca

24. Salzano, E., Iervolino, I., and Fabbrocino, G., 2003, Seismic risk of atmospheric storage tanks in the framework of quantitative risk analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16, 403–409.
25. Sokolov, V., Wenzel, F., Mohindra, R., Grecu, B., Radulian, M., (2007). Probabilistic seismic hazard assessment for Romania, considering intermediate-depth (Vrancea) and shallow (crustal) seismicity, *International Symposium on Strong Vrancea Earthquakes and Risk Mitigation*, 4-6 Oct. 2007, Bucharest, Romania.
26. Stezar I.- C., Ozunu Al., **Gheorghiu A.-D.**, 2013, Risk-based analysis of an industrial Romanian site historically contaminated with heavy metals and total petroleum hydrocarbons, *Environmental Engineering and Management Journal*, February 2013, Vol.12, No. 2, 291-296.
27. Stezar I.-C., Modoi O.-C., Török Z., Ajtai N., **Crişan A.-D.**, Coşara G.-V., Senzaconi F., Ozunu Al., 2011, Preliminary investigation and risk assessment of contamination on an industrial site in Maramures County, *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol. 10, No. 1, 65-73.
28. Trbojevic, V.M., 2005, Risk criteria in EU, Risk support Limited, London, U.K., available at: <http://www.risk-support.co.uk/B26P2-Trbojevic-final.pdf>, last accessed April 2013.
29. ***EC, 2011, Commission staff working paper Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management, Council of European Union, 05.01.2011, Bruxelles;
30. ***EEA, 2011, Technical report No 13/2010, , “Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe. An overview of the last decade”, ISSN 1725-2237, European Environment Agency, Publications Office of the European Union;
31. ***EM-DAT, 2013a, The International Disaster Database, Natural Disaster Trends, available online at: <http://www.emdat.be/natural-disasters-trends>; accessed March 2013
32. ***EUROCODE 8: Design of structures for the earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Draft no. 6, Ref. No: prEN 1998-1:200X, European Committee for Standardisation, Central Secretariat: rue de Strassart 36, B-1050 Brussels, 2003.
33. ***GD 642, 2005, Government Decision 642 of June 29th 2005, on the approval of Criteria for the classification of administrative-territory units, public institutions and economic operators regarding civil protection, based on specific risk types, issued by the Government of Romania, published in Official Gazette no. 603 of July 13th, 2005.
34. ***GMS, 2012, GMS – Groundwater Modeling System, online at: http://www.ems-i.com/GMS/GMS_Overview/gms_overview.html, accessed February, 2012.
35. ***IGSU, 2009, Romanian Ministry of Internal Affairs, General Inspectorate for Emergency Situations, RO 2007/IB/EN-02 TL Project - Specific support for implementation of “Seveso Directives”, Guidelines for the application of Seveso

- Directives in the field of land development and urban planning (Ghid de Aplicare a Directivei Seveso în Domeniul Amenajării Teritoriului și Urbanismului - in Romanian), November, 2009, available online at http://www.igsu.ro/documente/seveso/Ghid_amenajare_teritoriala.pdf, accessed July 2013.
36. ***IGSU, 2013, Romanian Ministry of Internal Affairs, General Inspectorate for Emergency Situations, Methodology for the analysis of industrial risks involving dangerous substances (Metodologie pentru analiza riscurilor industriale ce implică substanțe periculoase – in Romanian), available online at http://www.igsu.ro/documente/seveso/Metodologie_analiza_risc_final.pdf, accessed August 2013.
 37. ***IJCIS, 2012– International Journal of Critical Infrastructures, Inderscience Publishers, ISSN print 1475-3219, Online at <http://www.inderscience.com/jhome.php?jcode=ijcis>, Accessed June 2012
 38. ***MODFLOW, 2012, online at: <http://www.modflow.com/>, accessed on February 20, 2012.
 39. ***MT3D, 2012, Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems, online at: <http://hydro.geo.ua.edu/mt3d/>, accessed February, 2012.
 40. ***P100, 2006, P100-1/2006 Seismic design code, design provisions for buildings, elaborated by the Technical University of Constructions, Bucharest, for the Ministry of Transport, Constructions and Tourism (in Romanian)
 41. ***Purple Book, 2005, Uijt De Haag PAM, Ale BJM, Guidelines for Quantitative Risk Assessment. “Purple Book”. Third Edition The Hague, VROM.
 42. ***Seveso II, Directive 96/82/CE on the control of major-accident hazards involving dangerous Substances. Official Journal of the European Union L 010, 14.01.1997
 43. ***Seveso IIa, Directive 2003/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2003 amending Council Directive 96/82/EC on the control of major-accident hazards involving dangerous substances. Official Journal of the European Union, L345/97, 31.12.2003.
 44. ***Seveso III, Directive 2012/18/EU of the European Parliament and of the Council, of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC, Official Journal of the European Union, L197/1.
 45. ***SMS, 2012, Surface Water Modeling System, online at: http://www.ems-i.com/SMS/SMS_Overview/sms_overview.html, accessed February, 2012.

LISTA PUBLICAȚIILOR ȘI PARTICIPĂRI LA MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE

Articole ISI:

1. **GHEORGHIU A. D.**, TÖRÖK Z., OZUNU A., 2013, How can existing risk assessment methodologies be used in a systematic manner, in the extractive mining industry?, Accepted for publication in Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE), Vol. 14, ISSN: 1311-5065 (**IF: 0.178**)
2. **GHEORGHIU A.-D.**, NOUR E., OZUNU A., 2013, Critical infrastructure protection in Romania. Evolution of the concept, vulnerabilities, hazards and threats, AES Bioflux Vol. 5, No.2, p. 148-157, ISSN 2066-7620 (indexat)
3. STEZAR I.- C., OZUNU A., **GHEORGHIU A.-D.**, 2013, Risk-based analysis of an industrial Romanian site historically contaminated with heavy metals and total petroleum hydrocarbons, Environmental Engineering and Management Journal, February 2013, Vol.12, No. 2, 291-296.(**IF: 1.117**)
4. STEZAR, I.-C., MODOI, O.-C., TÖRÖK, Z., AJTAI, N., **CRISAN, D.-A.**, COSARA, G.-V., SENZACONI, F., OZUNU, A., 2011, Preliminary investigation and risk assessment of contamination on an industrial site in Maramureș County, Environmental Engineering and Management Journal January 2011, Volume 10/2011, no.1, p. 65-73, ISSN: 1582-9596 (**IF: 1.117**)
5. OZUNU, A., COSARA, G.-V., BACIU, C., STEZAR, I.-C., **CRISAN, A.-D.**, COSTAN, C., MODOI, C., 2009, Case studies regarding the remediation of polluted soils from inactive industrial sites, Environmental Engineering and Management Journal, Volume 8 no. 4, p. 923-930. (**IF: 1.117**)

Articole BDI:

1. **Gheorghiu A.D.**, Török Z., Ozunu A., Antonioni G., Cozzani V., 2013, Technological and NaTech risk analysis on a hexane atmospheric storage tank located in a seismic area, 40th Edition of the Slovak Society of Chemical Engineering, May 2013, ISBN: 978-80-227-3072-3
2. **Gheorghiu A.-D.**, Ozunu A., 2012, Systematic risk assessment methodology for critical infrastructure elements - Oil and Gas subsectors, Geophysical Research Abstracts Vol. 14, EGU2012-2822, eISSN 1607-7962, ISSN 1029-7006
3. **Crișan A.-D.**, Ozunu A., Török Z., Vana A., 2011, Vulnerability of critical infrastructure to natural hazards. Case study: Fire at hexane tank park damaged by earthquake,

Articole CNCSIS și în edituri naționale:

1. **Crișan (Gheorghiu), A.-D.**, 2013, Metodologie de utilizare într-o manieră sistematică a metodelor și tehnicilor de analiză a riscului pentru amplasamentele industriale, Volum lucrări Workshop „Tendințe și cerințe de interdisciplinaritate în cercetare. Prezentarea rezultatelor obținute de doctoranzi”, Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași, Editura POLITEHNIUM IAȘI, ISBN 978-973-621-408-0.
2. **Gheorghiu A.-D.**, Ozunu Al., 2013, Natech accidents and ethical decision making (Accidentele natech și etica luării deciziilor) – in English and Romanian, Environmental Engineering and Sustainable Development Entrepreneurship (Ingineria Mediului și Antreprenoriatul Dezvoltării Durabile), Vol. 2, No. 2-2013, 57-64.
3. Ozunu Al., Török Z., Vana Al. D., Coșara Gh. V., **Crișan A. D.**, Roman E. G., Kocsis V., Muntean L., 2011, Analiza sistematică de risc în industria minieră extractivă (Systematic risk analysis in the mining industry) – in Romanian, Revista Protecția Civilă, nr. 1/2011, ISSN 1223-575X
4. Botezan C., **Crișan D.**, Ozunu Al., 2010, Cursul de pregătire „Reducerea Riscului de Dezastre” (Risk Reduction Training Course) – in Romanian, Revista Protecția Civilă, nr. 4 -5/2010, ISSN 1223-575X

Participări la manifestări științifice naționale și internaționale:

1. Participare la 1 training, 4 sesiuni de comunicări științifice și 2 seminarii doctorale pentru diseminarea rezultatelor proiectului „STUDII DOCTORALE PENTRU PERFORMANȚE EUROPENE ÎN CERCETARE ȘI INOVARE (CUANTUMDOC)” ID 79407, organizate pe parcursul celor trei ani de doctorat (Octombrie 2010 – Septembrie 2013) în cadrul Facultății de Știința și Ingineria Mediului, România, Cluj-Napoca.
2. Participare și susținere prezentare la conferința internațională U.A.B. – B.EN.A., „Environmental Engineering and Sustainable Development”, 23 – 25 Mai, 2013, Alba Iulia, România.
3. Participare la Workshop Quantitative Risk Assessment (QRA) in the process industries, organizat de CK Triolor Kft., 6-10 Mai 2013, Budapesta, Ungaria.
4. Participare la Workshop din cadrul proiectului Controlul Integrat al Poluării cu Nutrienți „Suntem ceea ce consumăm. Apa infestată ne poate îmbolnăvi. Putem opri poluarea cu

- nitrați.”, organizat de Ministerul Mediului și Pădurilor, 23-24 August 2012, Cluj-Napoca, România.
5. Participare la Workshop „Valorificarea resurselor de energie regenerabilă și crearea unui mediu de viață ecologic, în conformitate cu tendințele actuale din țările UE”, Comisia Europeană, Enterprise Europe Network, Institutul de Cercetări pentru Instrumentație Analitică – ICIA, Centru de Transfer Tehnologic – CENTI, Universitatea Babeș-Bolyai, Monitorul de Cluj, 11 Mai 2012, Facultatea de Știința și Ingineria Mediului, Cluj-Napoca, România
 6. Participare, susținere poster și prezentare cu titlul „Systematic risk assessment methodology for critical infrastructure elements - Oil and Gas subsectors”, autori: Augusta-Diana Gheorghiu, Alexandru Ozunu, Conferința internațională European Geoscience Union General Assembly 2012, Copernicus Meetings, 22-27 Aprilie 2012, Viena, Austria.
 7. Participare la conferința Environment & Progress 2011 Environment – Research, Protection and Management, Universitatea Babeș-Bolyai, Facultatea de Știința și Ingineria Mediului, 11 - 12 Noiembrie 2011, Cluj-Napoca, Romania.
 8. Participare la curs de pregătire „Community Mechanism Induction Course”, organizat sub egida Comunității Europene în cadrul Mecanismului de Protecție Civilă, de către Academia de Pompieri Hamburg, Germania și Danish Emergency Management Agency (DEMA), 27 August – 2 septembrie 2011, Hamburg, Germania.
 9. Participare, susținere poster și prezentare cu titlul „Vulnerability of critical infrastructure to natural hazards. Case study: Fire at hexane tank park damaged by earthquake”, autori: Augusta-Diana Crisan, Alexandru Ozunu, Zoltan Torok, Alexandru Vana, în Secțiunea Natural Hazards din cadrul Conferinței internaționale General Assembly 2011, organizată de European Geoscience Union, 03-08 Aprilie 2011, Viena, Austria.
 10. Participare la seminar „Analiza sistematică de risc în industria minieră extractivă” și susținere prezentare cu titlul „Analiza criterială”, Organizat de Facultatea de Știința și Ingineria Mediului, Inspectoratul General pentru Situații de Urgență, Fundația Centrul Național APELL pentru Managementul dezastrelor, 31 Martie 2011, Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj Napoca.
 11. Participare la al 4-lea workshop internațional cu titlul „Optoelectronic Techniques for Environmental Monitoring”, National Institute of R&D for Optoelectronics ,19-21 Octombrie 2010, România, Cluj-Napoca.
 12. Participare la conferința internațională cu titlul „Environmental Legislation, Safety Engineering and Disaster Management” (ELSEDIMA), organizată de Universitatea Babeș-Bolyai, Facultatea de Știința și Ingineria Mediului, în perioada 21-23 Octombrie 2010, Cluj-Napoca, România.