



MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA PETROL – GAZE PLOIEȘTI
Facultatea de Inginerie Mecanică și Electrică
Departamentul de Inginerie Mecanică
Școala Doctorală

TEZĂ DE DOCTORAT

Contribuții privind baze de date ale precursorilor secvențiali ai
evenimentelor cu risc tehnic și tehnologic offshore

REZUMAT

Conducător științific,
Prof. univ. dr. ing. Alecsandru PAVEL

Doctorand,
Ing. Ionuț-Dragoș NEAGU

CUPRINS

I.	PREAMBUL	5
II.	PREZENTAREA CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE ÎN CONTEXTUL TEMEI	9
III.	DEFINIȚII ȘI ACRONIME.....	11
1	STADIUL ACTUAL AL STUDIULUI PRECURSORILOR ȘI MANAGEMENTULUI PERICOLELOR ÎN DIAGNOZA, MENTENANȚA ȘI FIABILITATEA OPERAȚIUNILOR MARITIME PRIVIND STRUCTURILE ȘI SISTEMELE OFFSHORE, PE PLAN NAȚIONAL.....	15
1.1.	CADRUL LEGISLATIV ADMINISTRATIV AL GESTIONĂRII EVENIMENTELOR CU RISC.....	15
1.2.	METODE ȘI PRINCIPII GENERALE DE EVALUARE A RISCULUI.....	16
1.3.	TERMINOLOGIE UTILIZATĂ ÎN EVALUAREA RISCURILOR.....	18
1.4.	DEFINIREA ȘI ANALIZA FACTORILOR DE RISC.....	23
1.5.	ARBORELE DE FUNCȚIONARE	26
1.6.	ARBORELE DE DEFECTARE	27
2.	STADIUL ACTUAL AL STUDIULUI PRECURSORILOR ȘI MANAGEMENTULUI RISCURILOR ÎN DIAGNOZA, MENTENANȚA ȘI FIABILITATEA OPERAȚIUNILOR MARITIME PRIVIND STRUCTURILE ȘI SISTEMELE OFFSHORE, PE PLAN INTERNAȚIONAL	29
2.1.	CADRUL ADMINISTRATIV-LEGISLATIV LA NIVEL EUROPEAN ȘI INTERNAȚIONAL	29
2.2.	ANALIZA PAPION (ENGL. BOWTIE)	29
2.3.	METODE CALITATIVE UTILIZATE ÎN ANALIZA HAZARDURILOR	30
2.4.	METODE CANTITATIVE UTILIZATE ÎN EVALUAREA RISCURILOR.....	31
2.4.1.	Metoda HAZOP	31
2.4.2.	Metoda sistematizării rapide	35
2.4.2.1.	Analiza preliminară a pericolelor	35
2.4.2.2.	Analiza consecințelor	36
2.4.3.	Analiza multicriterială.....	37
2.4.4.	Procesul de ierarhizare analitică (Analytical Hierarchy Process)	38
2.4.5.	Scara Saaty – Aparatul matematic	39
2.4.6.	Evaluarea probabilității de defectare	41
2.4.7.	Probabilitatea apariției defectării prin metoda bayesiană	41
2.4.8.	Metodologie de analiză dinamică a riscurilor.....	42
2.4.9.	Aplicarea metodologiei.....	43
2.4.10.	Modelul arborelui de funcționare	44
2.4.11.	Probabilitatea de apariție a evenimentelor	45
2.4.11.1.	Abordarea deterministă.....	46
2.4.11.2.	Abordarea probabilistică.....	46
2.4.12.	Actualizarea probabilității prin teoria Bayesiană.....	46
3.	ABORDAREA FUNDAMENTALĂ PRIVIND INGINERIA ȘI MANAGEMENTUL DIAGNOZEI, MENTENANȚEI ȘI FIABILITĂȚII OPERAȚIUNILOR MARITIME ÎN DOMENIUL OFFSHORE	49
3.1.	ABORDAREA FUNDAMENTALĂ A MANAGEMENTULUI DIAGNOZEI, MENTENANȚEI ȘI FIABILITĂȚII ACTIVITĂȚILOR OFFSHORE	50
3.2.	ANALIZA CANTITATIVĂ SAU CALITATIVĂ	53
3.3.	BARIERELE DE SECURITATE	56
4.	ROLUL PRECURSORILOR ÎN DETERMINAREA RISCULUI	59
4.1.	CE SUNT PRECURSORII?.....	59
4.2.	CE ÎMPIEDICĂ UN PRECURSOR SĂ DEVINĂ EVENIMENT NEDORIT?	60

4.3.	<u>INCIDENTE FĂRĂ CONSECINTE</u>	60
4.4.	<u>DESCOPERIREA PRECURSORILOR</u>	61
4.4.1.	<u>Analiza evenimentului inițial</u>	61
4.4.2.	<u>Analiza evenimentului inițial în cazul precursorilor</u>	62
5.	<u>CONCEPEREA, PROIECTAREA ȘI REALIZAREA UNEI METODOLOGII DESTINATE EVALUĂRII, CLASIFICĂRII ȘI NEUTRALIZĂRII PRECURSORILOR.</u>	65
5.1.	<u>IDENTIFICAREA PRECURSORILOR SECVENȚIALI – NIVEL 1 (ANALIZA CALITATIVĂ)</u>	67
5.2.	<u>MULTICAUZALITATE ȘI INTERFERENȚĂ – NIVEL 2 (ANALIZA SEMI-CANTITATIVĂ)</u>	69
5.3.	<u>ALGORITMUL DE CLASIFICARE - NIVELUL 3 (ANALIZA CANTITATIVĂ)</u>	71
6.	<u>CONSTRUCȚIA BAZEI DE DATE A PRECURSORILOR SECVENȚIALI</u>	73
6.1.	<u>RETEAUA BAYESIANĂ</u>	74
6.2.	<u>ACTUALIZAREA BAYESIANĂ</u>	74
6.3.	<u>IERARHIZAREA CONSECINTELOR</u>	76
6.4.	<u>IERARHIZAREA PRECURSORILOR</u>	79
6.4.1.	<u>Determinarea precursorilor secvențiali în cazul operațiunilor marine de încărcare</u>	84
6.4.2.	<u>Determinarea precursorilor secvențiali în cazul operațiunilor marine de transport</u>	89
6.4.3.	<u>Determinarea precursorilor secvențiali în cazul operațiunilor marine de instalare</u>	95
6.5.	<u>NEUTRALIZAREA PRECURSORILOR DETERMINANȚI</u>	100
7.	<u>STUDIUL NUMERIC ÎN CAZUL OPERAȚIUNILOR DE INSTALARE A CABLURILOR SUBMARINE</u>	103
7.1.	<u>REZULTATELE APLICĂRII METODEI ASP 3L ÎN CAZUL INSTALĂRII</u>	103
7.2.	<u>REPREZENTAREA GRAFICĂ INOVATIVĂ FOLOSIND DIAGRAMA GIS</u>	109
8.	<u>STUDIUL NUMERIC ÎN CAZUL OPERĂRII NAVELOR CU PICIOARE REGLABILE</u>	113
8.1.	<u>APLICAREA METODEI ASP 3L ÎN CAZUL UTILIZĂRII UNEI NAVE MACARA CU PICIOARE REGLABILE PENTRU ACCESUL LA TURBINELE EOLIENE OFFSHORE</u>	113
9.	<u>AUTOMATIZAREA ANALIZEI</u>	125
9.1.	<u>PRODUSE SOFTWARE DE ANALIZĂ A CAUZELOR DETERMINANTE</u>	125
9.2.	<u>APLICAȚIA ASP 3L – DEZVOLTARE A METODEI OMONIME</u>	126
10.	<u>LUAREA DECIZIEI PE BAZA PRECURSORILOR</u>	127
10.1.	<u>METODA VALORII AȘTEPTATE</u>	127
11.	<u>CONCLUZIILE TEZEI</u>	129
12.	<u>CONTRIBUTII PERSONALE</u>	131
13.	<u>ANEXE</u>	133
14.	<u>BIBLIOGRAFIE</u>	135

INTRODUCERE

Recunoașterea semnalelor înainte de accidente oferă în mod clar un potențial de a îmbunătăți securitatea și multe cercetări au încercat dezvoltarea de metodologii pentru identificarea și utilizarea precursorilor accidentelor. În această teză se va face referire la aceste cercetări menite să reducă expunerea la risc și responsabilitățile factorilor de decizie în constituirea de bariere decizionale de securitate.

La prima vedere poate părea ca fiind un lucru ușor de realizat, proiectarea și operarea unui program pentru gestionarea precursorilor. Această percepție dă naștere unui sentiment de prejudecată retrospectivă, aceasta însemnând ca după un accident, indivizii consideră că accidentul ar fi trebuit să fie considerat foarte probabil, dacă nu inevitabil, de cei care au observat sistemul înainte de accident. Prejudecata retrospectivă explică de asemenea diferențele majore dintre analizele de risc pre și post accident.

De fapt, după o analiză atentă, crearea și operarea unui program de management al precursorilor apare ca o activitate provocatoare. Pentru a utiliza informațiile pentru precursor, programul pentru precursori trebuie să poată identifica posibile amenințări înainte ca acestea să fie vizibile; să detecteze, filtreze și prioritizeze precursorii când apar; să evalueze cauzele posibile ale precursorilor; să identifice și să implementeze acțiuni corective.

Cu toate că a crea programe care să dețină toate caracteristicile de mai sus poate fi dificil, este important să evidențieze metodologia prin care pot fi create sau de ce nu adăugate ca opțiuni la programe existente. De exemplu, sunt indivizi, companii, organizații și industrii capabile să anticipeze și să răspundă la accidente potențiale, chiar și fără a folosi implicarea precursorilor. Trebuie analizată precizia identificării cu care aceștia acționează și dacă aceasta poate fi îmbunătățită.

Precursorii pot fi definiți ca evenimentele, condițiile și secvențele care preced și duc la un accident. Așadar se poate interpreta că sunt piese independente precum „cărămizile Lego” ale accidentelor și pot include evenimente interne (defectări ale echipamentelor, erori umane) sau externe (cutremure, războaie, etc.). Un tip de precursor mai greu de identificat în cazul analizelor post-accident sunt cei ce derivă din cultura de securitate a unei organizații, de exemplu, sau condițiile socio-culturale ale țării/regiunii, ce nu au rol determinant în producerea accidentelor dar pot influența probabilitatea de producere a unuia.

Unele organizații ca și Comisia de Reglementare Nucleară (NRC) din Statele Unite ale Americii, au convenit să limiteze folosirea termenului de precursor la evenimentele care depășesc un anumit nivel de severitate (Ex. ineficiența totală sau parțială a unuia sau mai multor sisteme de securitate). Altele, au stabilit sisteme de raportare a incidentelor incluzând

chiar și evenimente care au rezultat în pierderea parțială a securității dar fără consecințe. Ambele sisteme prezintă avantaje și dezavantaje, iar dacă stabilirea limitei de raportare prea sus poate pierde precursori care nu au fost anticipați, stabilirea ei prea jos poate rezulta într-o multitudine de alarme care să reducă încrederea în sistem.

Sistemul de raportare a precursorilor bazat pe o definiție strictă și cu limite de severitate are nevoie de un mecanism care să permită adăugarea de noi precursori sau creșterea așteptării de severitate pentru precursorii din sistem. Un program pentru managementul precursorilor accidentelor poate avea multe avantaje chiar pentru fiabilitatea sistemelor studiate. Așadar un precursor identificat în urma modelării traiectoriei accidentului posibil, poate evidenția un mod de avarie neprecizat în modelul de risc al instalației. Pe de alta parte, deoarece precursorii sunt mai vizibili ca accidentele aceștia pot fi folosiți în evaluarea securității sistemului. Un alt beneficiu foarte important îl reprezintă conștientizarea riscurilor în special pentru organizațiile cu accidente foarte rare.

Cea mai folosită cale de a identifica și cuantifica precursorii este analiza accidentelor fără consecințe (numite și cvasi-accidente), inclusiv identificarea cauzei determinante, care statistic apar mai des decât accidentele pe care le pot preceda. Aceste informații construite într-o bază de date conținând precursorii împreună cu previziunile consecințelor asociate pot constitui o unealtă care cu ajutorul analizei probabilistice poate evalua impactul condiționat al precursorilor. Astfel analiza probabilistică face posibilă cuantificarea probabilității pe care fiecare tip de precursor o are de a conduce la accidente de diferite severități prin evaluarea probabilității condiționate a accidentelor luând ca date de intrare anumiți precursori și influența lor prin rețeaua bayesiană. Avantajul acestei abordări îl constituie ierarhizarea condiționată a precursorilor spre a fi prioritizate anumite măsuri corective sau bariere suplimentare de securitate.

Analiza experimentală este generic compusă din patru etape majore, după cum urmează:

1. prezentarea metodologiei – descrierea metodei pe 3 niveluri (calitativ, semi-cantitativ și cantitativ) de identificare, ierarhizare și evaluare a precursorilor;
2. descrierea arhitecturii bazei de date a precursorilor secvențiali – se prezintă precursorii identificați pentru operațiunile de încărcare, transport și instalare a structurilor/sistemelor offshore;
3. studiu de caz – analiza stării precursorilor aferenți unei operațiuni de instalare a unui cablu submarin;
4. studiu de caz - analiza stării precursorilor aferenți unei operațiuni de ridicare utilizând o navă macara cu picioare reglabile;
5. susținerea contribuțiilor personale la studiul precursorilor – se determină și aspectele ce necesită aprofundare în cadrul tezei de doctorat sau a altor studii post-doctorale.

Teza propune o metodologie inovativă bazată pe elementul central, precursorul, care este identificat prin analiza de cauză determinantă, evaluat prin teoria sistemelor și teoria lui Bayes, precum și prezentat în stare actualizată utilizând rețeaua bayesiană.

În acest context, autorul propune următoarele **obiective**:

O1. Analiza contextului actual, la nivel mondial, privind managementul riscului în diagnoza, mentenanța și fiabilitatea activităților logistice offshore.

02. Introducerea precursorilor ca sursa de informații pentru întocmirea analizei complete a dezvoltării unui incident.

03. Evaluarea unor metode de analiza a riscurilor existente pe piața.

04. Dezvoltarea și aplicarea unei metodologii noi, complexe, în cadrul operațiunilor logistice pentru construcția, dezvoltarea, întreținerea și dezmembrarea structurilor și echipamentelor offshore.

05. Crearea și operarea unui program de management al precursorilor.

Originea folosirii precursorilor este recunoscută ca fiind necesitatea evaluării protecțiilor în cazul accidentelor rare cu consecințe majore (LOHC – low occurrence high consequences) unde datorită cazurilor rare și scenariilor destul de diferite o evaluare cantitativă nu ar produce rezultate relevante și convingătoare.

Un precursor al accidentelor poate fi definit ca un eveniment fără fatalități sau distrugerii semnificative care nu a determinat un accident datorită unei bariere de securitate eficiente. Aplicarea analizei cantitative asupra precursorilor are două aspecte importante. În primul rând, un accident și precursorii săi își au originea în defecțiuni sau incidente comune ce pot fi folosite pentru evaluarea cantitativă clasică, iar în al doilea rând, toate accidentele sunt precedate de precursori, care pot fi considerați indicatori importanți pentru a evalua eficiența măsurilor de securitate. Considerentele de mai sus au fost întărite de câteva dezastre în industrii de risc major cum sunt industria aerospațială (explozia navei Challenger la câteva minute de la lansare - 1986, și explozia navei Columbia la reintrarea în atmosferă - 2003), industria nucleară (explozia centralei Three Mile Island, SUA - 1979 și a centralei Fukushima Daiichi, Japonia - 2011) și industria offshore (explozia și incendiul platformei de producție Piper Alpha, Marea Nordului - 1976, precum și relativ recentul incendiu și dezastru ecologic provocat de explozia platformei Deepwater Horizon, Golful Mexic - 2010).

În afara analizei precursorilor unui accident, analiza cantitativă modelează un set de defecțiuni și evenimente nedorite corelate prin relații logice. Deoarece numărul factorilor cauzali este relativ restrâns, se pot întâlni între accidente similitudini care pot da naștere la probabilități istorice și analize statistice. Teoretic se poate susține varianta în care o analiza cantitativă de tipul arborelui de defectare, arbore de funcționare sau papion poate obține rezultate notabile însă cu câteva rezerve. În primul rând un analist are o cunoaștere limitată asupra evenimentelor petrecute și a relației dintre ele mai important informațiile care se colectează sunt viciate de transmiterea multiplă de la o sursă la alta.

Dacă pentru prima variabilă nu se pot găsi ușor măsuri de atenuare a subiectivității, pentru cea de-a doua se consideră ierarhizarea folosind rețeaua bayesiană o metodă foarte utilă și cu bune rezultate practice.

Analiza cantitativă bazată pe precursori a fost aplicată accidentelor majore din domenii ca cel spațial, nuclear sau industria chimică, dar eforturile în domeniul petrolului și gazelor sunt limitate.

În lucrarea de față se aplică metoda clasică cantitativă bazată pe statistici istorice, combinată cu analiza bayesiană unde precursorii dau funcția de probabilitate. În capitolul 5 se prezintă metodologia, capitolul 6 identifică precursorii și descrie baza de date, iar în capitolele 7 și 8 se prezintă studiul de caz menite să arate importanța analizei și posibilitate de dezvoltare ulterioară. Capitolul 9 prezintă concluziile analizelor și cele ale autorului cu privire la cercetarea făcută și caracterul său inovativ.

REZUMAT

Analiza culturii de securitate și a datelor obiective din industrie în timp pot fi utile în a înțelege cum fluctuează în timp percepția culturii de securitate precum și relația dintre factorii de siguranță și performanța de securitate.

Este de asemenea importantă stabilirea consecvenței precursorilor într-o anumită perioadă de timp, pentru a dovedi validitatea acestora. În ambele cazuri ale operatorilor industriali sau entitățile regulatorii, corelarea dintre prezența precursorilor și performanța de securitate trebuie stabilită pentru a confirma corectitudinea precursorilor.

Integrarea unor seturi de date obținute de la diverși operatori va fi de asemenea critică pentru a dezvolta un model generalizat ce poate fi folosit în întreaga logistică a industriilor de proces. Compararea rezultatelor din mai multe organizații cu privire la percepție și performanță în timp, poate fi importantă în stabilirea unei metodologii a precursorilor, eficientă și predictivă pentru fiecare dintre cei implicați, precum și pentru fiecare dintre fazele sistemului.

Studii separate ale precursorilor datorate factorilor umani, au fost luate în considerare ca, definind 3 stadii cognitiv-mentale datorate volumului de muncă ce acționează ca precursori ai accidentelor navale sau offshore. Cele 3 stadii sunt supraîncărcarea, sub-încărcarea și situațiile tranzitorii. [6]

Industrii cu profil de risc asemănător au fost considerate, ca cea aeronautică și cea nucleară de unde au fost împrumutate metode de ierarhizare a precursorilor determinați pe baza analizei probabiliste de risc. De luat în considerare este că aceste industrii au probleme cum ar fi tratarea diferită a precursorilor interni și externi ca în industria nucleară [10], sau tratarea diferită a precursorilor evenimentelor rare cu consecințe majore, față de cele frecvente cu consecințe minore. [8]

O posibilă hartă a riscurilor specifice entităților ar putea fi desenată, spre exemplu, prin acțiunea următoarelor tipuri de riscuri: riscuri de proprietate (incendii, explozii, acțiuni teroriste, transport, poluare etc.), riscuri de funcționare (defectări majore, blocaje în proces, deviații radicale, dependența de furnizori etc.), riscuri de personal (decese, îmbolnăviri, invalidități, șomaj etc.) și riscuri de afaceri (pierderi economice, inflație, concurență, monopol, decizii politice, modificarea înclinației de consum, greve, contracte neavantajoase etc.).

În practică, în cele mai multe cazuri, riscul (R) se estimează prin raportarea pierderilor exprimate (C – severitatea consecințelor) fie cantitativ (număr victime, avarii, pierderi materiale etc.), fie calitativ (pierderi materiale, victime, daune asupra mediului), la o măsură a expunerii la insecuritate (P – probabilitatea de producere a evenimentului cu risc) [17]

Dificultatea proporției este dată de numitor, respectiv de cuantificarea măsurii expunerii la insecuritate, conform ecuației 1-1.

Orice indicator de risc exprimă un model al situației (victime/vehicul, monedă/entitate, monedă/salariat). Rezultă deci că interpretarea indicatorilor și compararea lor este posibilă doar în raport cu aceste modele, iar definirea clară a numitorului are implicații majore în concluziile care ar putea fi desprinse privind efectul măsurilor de securitate (Fig. 1-3).

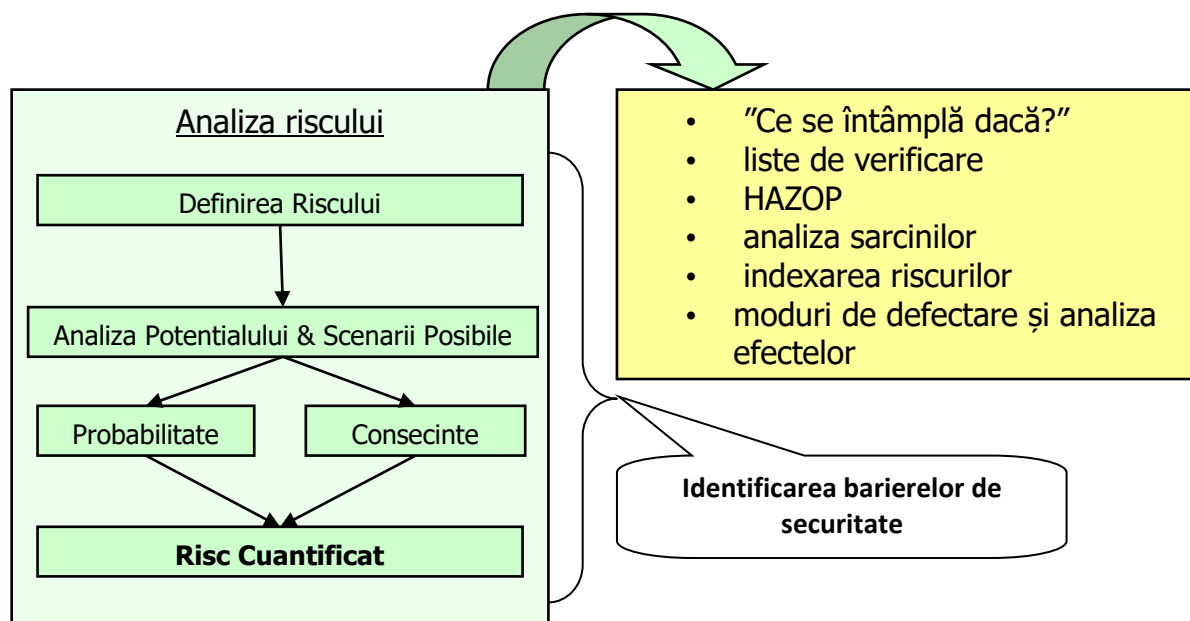


Fig. 0-1. Schema logică pentru analiza riscului.

Arborele de funcționare

Arborele de funcționare utilizează simptome care amenință sistemul și urmărește influența lor progresivă în fiecare nivel de protecție în conceptul sistemului.

Reprezentarea grafică a arborelui de funcționare urmărește logica procesului și e ghidată de următorii factori:

- identifică și cuantifică urmările posibile ale unui eveniment inițiator;
- furnizează o abordare inductivă pentru analiza fiabilității pentru că sunt construite urmând logica următorilor 7 pași din figura 1-5.

Un exemplu tipic al unui arbore de funcționare este cel folosit în identificarea consecințelor unui incendiu după cum urmează în figura 1-6:

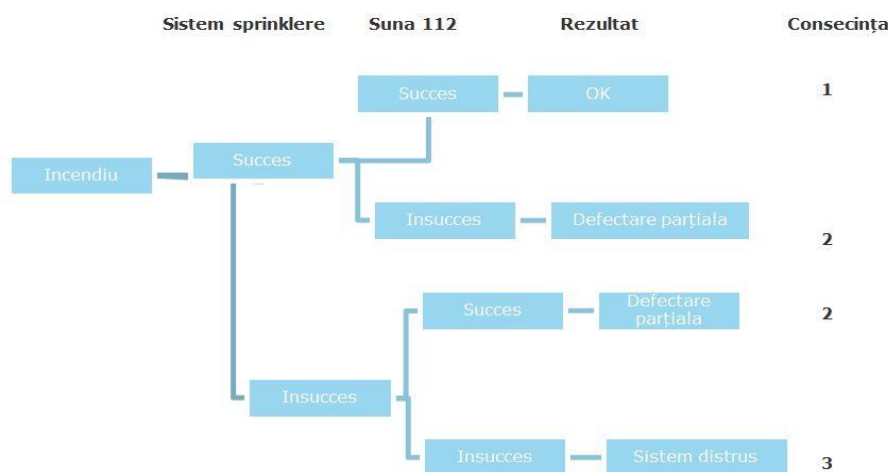


Fig. 1 6. Arborele de funcționare în cazul unui incendiu.

Arborele de defectare

Arborele de defectare modelează răspunsul fiecărui component al sistemului în cazul cauzelor cunoscute, ceea ce permite studiul diferitelor răspunsuri și determinarea unei vederi de ansamblu asupra fiabilității sistemului. Această modelare poate evidenția lipsa de independență a protecțiilor din proiectarea sistemului, lipsa redundanței, combinații neobișnuite ale mijloacelor de control cu funcțiile de securitate. Partea negativă este cantitatea de informație care nu este întotdeauna disponibilă și exactă. Factorul uman are, de asemenea, un impact major asupra acestor modele și efectele sale sunt greu de anticipat.

Pe de altă parte, arborele de funcționare poate modela răspunsul la un eveniment generic și își are originea în industria nucleară unde desfășurarea evenimentelor este ușor de anticipat (Ex. defectarea sistemului de răcire a reactorului). Este fezabilă obținerea un răspuns general al întreprinderii conținând informații despre toate aspectele și echipamentele (inclusiv factorul uman), dar cu omiterea unor detalii specifice ce pot fi determinante.

Pentru a putea realiza o analiză riguroasă cu privire la hazarduri și riscuri, este necesară o identificare sistematică a posibilelor efecte pe care poluanții atmosferici le au asupra mediului. Scopul unui astfel de proces poate fi împărțit în două probleme majore, pe de o parte estimarea cantitativă precisă a riscului și a efectelor posibile asupra mediului, iar pe de altă parte, și o justificare pentru luarea deciziilor de politici publice care este atât bine motivată, cât și recunoscută ca fiind legitimă și acceptabilă de către factorii socio-economici.

Metodele de analiză a riscului clasice pot fi optimizate printr-un proces de indexare și ierarhizare a riscurilor. Așadar fiecărui proces sau echipament îi poate fi atașat un scor sau index bazat pe tipul substanțelor periculoase (explozive, inflamabile, toxice), gradul de periculozitate al procesului (presiune mare, temperaturi înalte, reacții chimice violente etc.), ponderea sau importanța în tabloul general de risc. Ierarhizarea hazardurilor permite concentrarea atenției în timpul analizei asupra hazardurilor cu indicele cel mai ridicat și metodele optime de limitare a riscului. Ca și etalon s-au dezvoltat diferite scări de gradare a substanțelor SHI (Substance Hazard Index – Indexul Hazardului Substanțelor) propus de OSHA (Occupational Health and Safety Administration), MHI (Material Hazard Index) folosit în California, USA, pentru determinarea limitelor cantitative de substanțe periculoase unde se impun măsuri de management al riscului și programe de prevenire sau F&EI (Dow Fire and Explosion Index) ce evaluează hazardurile de foc și explozie ale unităților de proces. [21]

Ca rezultat al implementării mentenanței bazată pe risc, standardul Institutului American al Petrolului (i.e. API RP 580) a dezvoltat, de asemenea, o soluție pentru confirmarea fiabilității echipamentelor, necesară în cazul gestionării integrității instalației [22], dar utilă și pentru o mai bună gestionare a nivelelor de răspuns la diverse grade de defecțiune. Sub titulatura API RP 579-1/ASME FFS-1 Conformitate în Funcționare (Engl. Fitness-for-Service) a fost definit un mecanism pas-cu-pas pentru evaluarea integrității și estimarea duratei de serviciu pentru echipamente ca: vase sub presiune, tubulatură sau tancuri de stocare. Evaluarea, în cadrul ingineriei cantitative, poate determina dacă echipamentul în serviciu este sigur și fiabil în operare, în condițiile specifice date, pentru perioada definită. [23]

Analiza papion (Engl. Bowtie)

Analiza papion este o metodă evoluată de analiză ce îmbină avantajele oferite de arborele de funcționare și cel de defectare cu ierarhizarea factorilor cauzali. Această metodă de evaluare a riscului este utilizată pentru a determina relații cauzale între diferite scenarii de risc. Numele vine de la diagrama ce rezultă în urma analizei, diagramă care seamănă cu papionul.

Metode calitative utilizate în analiza hazardurilor

O analiză calitativă presupune utilizarea unor criterii calitative, folosind diferite categorii pentru indexarea criteriilor și utilizând scări calitative pentru fiecare categorie în parte. De asemenea, deciziile sunt luate calitativ, bazate pe experiența evaluatorului, cu scopul de a atribui elemente în categorii. Această abordare este subiectivă, dar permite un grad de generalizare mai mare, fiind mai puțin restrictivă.

Identificarea hazardurilor tehnologice este pasul de bază în procesul de evaluare a riscurilor. Hazardurile apar în industrie tot timpul, ca urmare a procesului, a condițiilor de funcționare, a instalațiilor și proprietăților fizice, chimice și toxicologice ale substanțelor utilizate în aceste procese. Acesta este motivul pentru care este foarte important să se identifice proprietățile substanțelor periculoase, precum și condițiile de funcționare care pot genera situații periculoase și seria de evenimente care pot duce la materializarea unui hazard. [27]

O analiză preliminară de hazard este punctul de plecare al oricărei evaluări și reprezintă cea mai generală formă de evaluare a hazardurilor și a riscurilor, rezultând în cele mai multe cazuri, într-o matrice de risc calitativă (Tabelul 2-1), care descrie riscul ca produs al frecvenței și consecințelor

Tabelul 2 1. Matricea riscului

			Consecințe				
			Nesemnificative	Minore	Moderate	Majore	Catastrofice
			1	2	3	4	5
Probabilitate	Improbabil	1	1	2	3	4	5
	Izolat	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

În conformitate cu tabelul 2-2 nivelul de risc este descris calitativ după cum urmează:

Tabelul 2 2. Niveluri de risc

Nivele de risc	Definiție
1 – 3	Risc foarte scăzut
4 – 6	Risc scăzut
7 – 12	Risc moderat
13 – 19	Risc ridicat
20 – 25	Risc extrem

Metode cantitative utilizate în evaluarea riscurilor

Analizele cantitative presupun utilizarea datelor numerice sau cantitative și furnizează rezultate cantitative, această abordare fiind mult mai obiectivă și precisă. Trebuie menționat faptul că rezultatele cantitative pot fi afectate de precizia și validitatea parametrilor de intrare. De aceea, rezultatele cantitative în cadrul analizelor de risc nu ar trebui să fie luate în considerare ca numere exacte, ci ca estimări cu o scară variabilă, în funcție de calitatea datelor [28].

Metoda HAZOP

Analiza HAZOP este o tehnică sistematică pentru identificarea hazardurilor și problemelor operaționale ale unui sistem, instalație, organizație etc. Este în particular utilă la identificarea hazardurilor nedorite ascunse în proiectul sistemului datorită lipsei de informații sau introduse datorită schimbărilor survenite în proces sau operare.

Metoda sistematizării rapide

La fel ca și metoda HAZOP, și această metodă a fost fundamentată și dezvoltată de către aceeași firmă din Marea Britanie, în scopul identificării și ordonării riscurilor asociate instalațiilor de proces din fabricile de produse chimice existente.

Această metodă prezintă avantajul că, în comparație cu metoda HAZOP, este mai puțin costisitoare și de durată mai redusă. Clasificarea riscurilor se poate realiza rapid, pe baza unui tabel, în care riscurile sunt ordonate după gravitate potrivit unui indicator denumit „frecvența ghid”, în funcție de care se realizează o ordonare a riscurilor și o clasificare a acestora. Durata de aplicare a metodei diferă de la o firmă la alta în funcție de complexitatea firmei și se situează, de regulă, în intervalul a 8-40 ore.

Analiza multicriterială

A lua o decizie este o problemă întâlnită de fiecare individ în activitățile sale cotidiene. Deseori, acest lucru implică o evaluare ce presupune a lucra cu o cantitate considerabilă de informații ceea ce nu este deloc simplu. Totodată, trebuie ținut cont de o gama largă de criterii ce vizează aspecte diferite, ceea ce conduce la rezolvarea unor situații conflictuale. Deși se consideră că a deține cât mai multă informație clarifică problemele, manevrarea acesteia este mai complicată, deoarece crește numărul de criterii conflictuale. De aceea, a lua o decizie într-o situație complexă nu presupune găsirea unei soluții optime, ci, mai degrabă, a unui compromis optim. Totodată, aceasta are drept rezultat ierarhizarea opțiunilor, eliminarea unor opțiuni inacceptabile, selectarea unui număr limitat de opțiuni pentru o detaliere ulterioară.

O astfel de analiză este supusă unei subiectivități ridicate și, de aceea, pentru o acuratețe cât mai bună, se recurge la matematizarea acesteia. Totuși, există anumite criterii nemăsurabile, pentru a căror integrare în procesul matematic, se aplică un sistem neconvențional de măsurare.

Procesul de ierarhizare analitică (Analytical Hierarchy Process)

Această metodă este utilizată în cazul problemelor ce includ mai multe obiective și implică mai multe alternative posibile. Ea se bazează pe 3 principii fundamentale: descompunere, raționament comparativ și sinteza priorităților, procesul constând în esență în spargerea problemei în probleme decizionale mai mici. Pentru aceasta sunt necesari mai mulți pași:

- Definirea problemei și determinarea tipului de cunoștințe căutate;
- Structurarea ierarhiei decizionale, de sus în jos, de obicei în 4 niveluri: scop, obiective, atribute și alternative;
- Construirea unor matrice de comparații în perechi. Fiecare element dintr-un nivel superior este utilizat pentru compararea elementelor corespunzătoare din nivelul imediat inferior;
- Folosirea priorităților obținute din comparații (pentru fiecare element) pentru a stabili prioritățile din nivelul imediat inferior.

Scara Saaty – Aparatul matematic

Analytic Hierarchy Process (AHP) [34] este o metodă larg utilizată în domeniul deciziilor multicriteriale. Se vor trece în revistă, pentru început, într-o sinteză, principalele rezultate obținute de Saaty și îmbunătățite ulterior de-a lungul a mai bine de două decenii de dezbateri privind acest subiect.

Se presupune un număr finit de alternative, dintre care trebuie să le alegem pe cele mai performante în conformitate cu un set de criterii. Regula generală de rezolvare a unei probleme complexe prin metoda modelelor ierarhice multi-atribut cere descompunerea ei în subprobleme de dimensiuni reduse și mai puțin complexe.

Evaluarea probabilității de defectare

Cel mai evident scenariu pentru a înțelege probabilitatea de defectare a unui sistem prin defectarea uneia sau a mai multor componente, de obicei în lanț, este defectarea recipientelor sub presiune. Aceste defectări apar în situația în care încărcarea aplicată pe structura este mai mare decât rezistența componentului sau structurii ($\hat{I} > R$). Rezistența este la rândul ei influențată de materialele folosite, modul de proiectare și condițiile de exploatare ale structurii. Încărcarea poate fi la rândul ei de mai multe tipuri: funcțională, de mediu sau accidentală. Motivele pentru care situația $\hat{I} > R$ apare pot fi numeroase printre care proiectarea defectuoasă, erori de proiectare, defecte de material, defecte de fabricație, deviații de la tehnologia de fabricație, degradarea în operare, lipsa de mentenanță sau alte defecte ascunse.

Probabilitatea apariției defectării prin metoda bayesiană

Încă din anii '90 au fost conduse cercetări privind estimarea probabilității de defectare, când Crawley și Grant au propus o aplicație care permite evaluarea riscurilor offshore diverselor opțiuni de design într-o manieră metodică. În anii 2000 o multitudine de cercetători (Falck, Skramstad & Berg – 2000, Rettedal, Aven & Gudmestad – 2000, Cross & Ballesio – 2003, Cleaver, Halford & Humphreys – 2003) și-au adus aportul la utilizarea analizei cantitative a riscurilor în proiectarea sistemelor de transport și producție a hidrocarburilor. În 2004 cercetătorii De Leon și Ortega au prezentat un studiu analitic al riscurilor unui complex offshore de extracție și procesarea hidrocarburilor din Mexic, iar Yasseri și Prager au determinat un model de recurență a exploziilor. O echipă de cercetători din SUA au condus o cercetare ce a durat până în 2007 rezultând într-un set de modele pentru evaluarea consecințelor accidentelor în instalațiile offshore de procesare a petrolului și gazelor naturale, dar și o aplicație pertinentă pentru analiza probabilistică a riscului [36].

Metodologie de analiză dinamică a riscurilor

Bazele analizei dinamice practice au fost puse de Mell & Seider care au dezvoltat o metodă dinamică de analiză ce estimează în mod dinamic probabilitatea diferitelor secvențe ale unui accident utilizând informații actualizate și documentate pentru situații periculoase și incidente și furnizând frecvențe de defectare în timp real pentru componentele sistemului sau procesului. Metodologia are 5 pași, față de 3 în cea clasică, incluzând și analiza incidentelor/accidentelor precum și actualizarea probabilităților. Analiza accidentelor utilizează arborii de defectare și funcționare împreună cu informații în timp real din operare și alte asemenea detalii, pentru a evalua probabilitatea unui eveniment. Probabilitățile actualizate sunt apoi utilizate în re-estimarea profilului de risc. Profilul de risc poate fi definit ca un factor ce ilustrează defectările probabile cauzate de scenariile accidentelor potențiale.

Utilizând teoria Bayesiană pentru actualizarea probabilității de apariție a evenimentelor și probabilitatea de defectare a măsurilor de securitate, se dezvoltă o analiză dinamică a defectării pentru proces.

Abordarea fundamentală a managementului diagnozei, mentenanței și fiabilității activităților offshore

Toate activitățile desfășurate offshore prezintă un risc ridicat. O activitate cu risc ridicat se efectuează într-un mediu de risc ridicat; aceasta implică utilizarea de instrumente cu risc ridicat sau

instrumente care fac parte dintr-un risc, procedură de lucru cu risc ridicat. Activitățile cu risc ridicat din cadrul operațiunilor maritime pot fi împărțite în trei categorii de activități:

- Ambarcarea/Încărcarea/Transbordarea la (sau de la) bordul navelor
- Transportul la bordul navelor
- Instalarea offshore

Principalele obiective ale acestei lucrări constau în atragerea atenției asupra metodelor de evidențiere a pericolelor operaționale și dezvoltarea de metode optime pentru a evalua starea de insecuritate a operațiunilor studiate.

Se propun următoarele direcții fundamentale:

- analiza aspectelor dezavantajoase ale metodelor curente
- descrierea motivației pentru utilizarea metodei dinamice de evaluare a pericolelor
- identificarea aspectelor de optimizat
- sugerarea de abordări adiacente

Barierile de Securitate

Conceptul modern de barieră de Securitate introduce pe lângă barierele fizice (conceptul MORT = Management Oversight and Risk Tree), pe cele organizaționale și administrative, care asigură performanța continuă a barierelor umane și tehnice (fig. 3-3).

Principiul de bază în crearea barierelor este generarea unei strategii pentru proiect, operare și mentenanță care să țină cont de performanțele cerute în aspectele tehnice, operaționale și organizaționale, durata de viață a instalației și posibilele schimbări în decursul operării.

Conform ISO 17776, bariera de Securitate este definită după cum urmează: “Măsura, care reduce probabilitatea realizării potențialului de distrugere a unui hazard și reduce consecințele sale. Barierele putând fi fizice (materiale, aparatură de protecție, scuturi, separarea etc.) sau imateriale (proceduri, inspecții, instruiți, simulări etc.).”

CONCEPEREA, PROIECTAREA ȘI REALIZAREA UNEI METODOLOGII DESTINATE EVALUĂRII, CLASIFICĂRII ȘI NEUTRALIZĂRII PRECURSORILOR

Operațiunile offshore au fost dintotdeauna foarte solicitante datorită complexității tehnologice și operaționale în combinație cu influența condițiilor de mediu drastice. Incertitudinile geologice, fluide inflamabile sub presiune în prezența surselor de aprindere, aranjamente structurale complicate, timpul de reacție limitat, dificultatea controlului și a comunicațiilor sunt unii dintre cei mai critici factori care prezintă amenințări la adresa securității operațiunii și pot rezulta în evenimente cu consecințe majore.

Indicatorii de pericol, precursorii, care pot notifica evenimente critice ce pot avea consecințe majore, s-au dovedit a fi o modalitate eficientă de ajuta personalul de decizie în a alege să reacționeze din timp la un eveniment pentru a împiedica dezvoltarea acestuia în accident. Majoritatea cercetărilor cu privire la precursori sunt legate de industria chimică și cea aeronautică, dar puțin interes a fost

acordat activităților și elementelor asociate industriei offshore (fie ea de extracție a hidrocarburilor sau producere de energii regenerabile) pentru care aplicabilitatea abordărilor bazate pe precursori ar putea fi cel puțin la fel de folositoare. În acest capitol se realizează o analiză a potențialilor precursori ce vor fi abordați în capitolele viitoare în funcție de incidența și consecințele lor.

În urma analizei prin metode de identificare a cauzei de bază a accidentelor (5 De Ce?, metoda celor 3 niveluri de analiză etc.) s-au identificat elemente comune (ex. precursori) ale unor accidente care, deși au avut contexte diferite, au ajuns în cele din urmă la aceeași finalitate nedorită. [23] În capitolul acesta va fi prezentată metodologia inovativă, dezvoltată de autor, de identificare a precursorilor și ierarhizarea lor în funcție de zona de interes pe care o afectează.

Scopul analizei precursorilor îl reprezintă identificarea lacunelor în sistemele existente de organizare și control al operațiunilor maritime și la ghidarea acțiunilor pentru îmbunătățirea performanței viitoare. Deci, una dintre caracteristicile principale ale precursorilor constă în faptul că neglijarea lor împiedică îmbunătățirea nivelului de securitate real, măsurile aplicate omițând precursorii, fiind concentrate pe reducerea probabilității de producere a anumitor hazarduri.

Actorii cheie din cadrul operațiunilor (armatori, dezvoltatori offshore, contractori, autorități, firme de asigurări etc.) pot utiliza precursorii ca parte din analiza nivelului de risc, monitorizarea și controlul proceselor din cadrul operațiunilor maritime. Precursorii, în fapt identificarea și inactivarea lor, poate deveni o componentă critică în planificarea, monitorizarea și controlul sistemelor implicate. Poate, de asemenea, deveni o metodă de studiu și învățare a mecanismului de producere a accidentelor și creșterea colaborării între planurile teoretice și cele practice.

Organizațiile de reglementare din domeniul activității offshore pot utiliza precursorii în analiza de fezabilitate, conformitate și asociere a responsabilităților. Înțelegerea modului de dezvoltare a unui accident pe baza precursorilor și monitorizarea zonelor critice poate fi un important beneficiu ce poate fi evidențiat prin intermediul unui program de gradare a operațiunilor pe baza precursorilor activi și inactivi [48].

Societățile de asigurare pot utiliza informațiile despre gradul de inactivare a precursorilor pentru a analiza comparativ polițele emise, precum și pentru a oferi un serviciu optim (cost vs. beneficiu) clienților. Deci, o procedură standard de identificare, gradare și inactivare/evitare a precursorilor poate constitui fundația unei culturi de securitate îmbunătățite și a unui program de măsurare și gestionare a precursorilor.

În ciuda beneficiilor nete produse de existența metodologiei dezvoltate în acest proces de cercetare, care va fi prezentată în continuare, sunt câteva precauții ce trebuie luate în seamă vis-a-vis de aceste rezultate. În primul rând, rezultatele prezentate în lucrarea aceasta sunt preliminare și reprezintă produsul unei analize multidisciplinare făcute de autorul lucrării. Din alt punct de vedere, analiza calitativa nivelul 1 poate fi făcută cu oricare dintre metodele cunoscute de identificare a cauzei determinante, cu condiția să se urmărească determinarea evenimentului precursor.

Pentru identificarea seriilor de precursori prezentați mai jos ca și cauze ale unei proporții considerabile din accidentele descrise în WOAD, se va folosi metodologia de identificare a cauzei determinante 5 Why's (a celor 5 „De ce?”) ca în exemplul din figura 1.

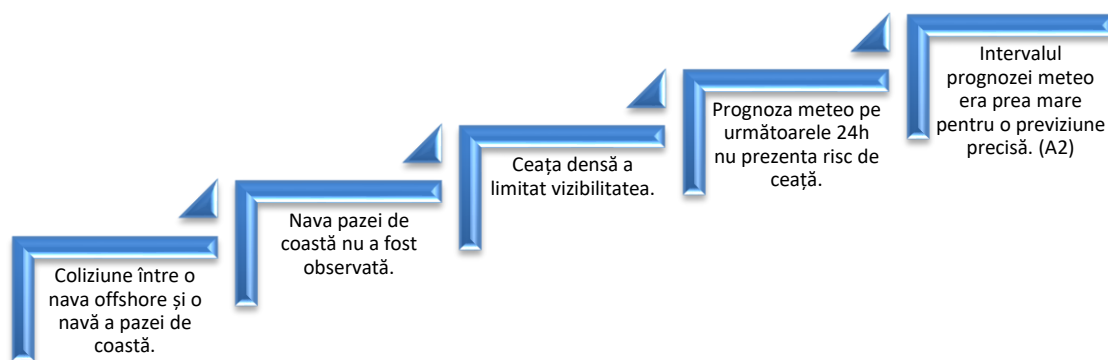


Fig. 1. Diagrama metodei 5 Why's de identificare a precursorilor.

Motivele alegerii metodei 5 Why pentru identificarea precursorilor rezidă în ușurința de a obține cauza determinantă a incidentului împreună cu precursorul corespunzător, realizează traseul dintre precursor și efectul lui, și în cele din urmă verifică studiul statistic realizat prin intermediul metodei de analiză a hazardurilor multiple în 3 stadii.

Folosind aceste metode (5 why la nivelul 1) s-au identificat un număr de precursori ce au fost ierarhizați folosind structura GIS din figura 2 conform cu aspectul operațiunii pe care îl influențează obținându-se structura de mai jos. Baza de date a fost structurată folosind softul Microsoft Access și gestionată prin intermediul Microsoft Excel pentru evaluarea și actualizarea scorului pentru incidența precursorilor din selecția detaliată mai jos.

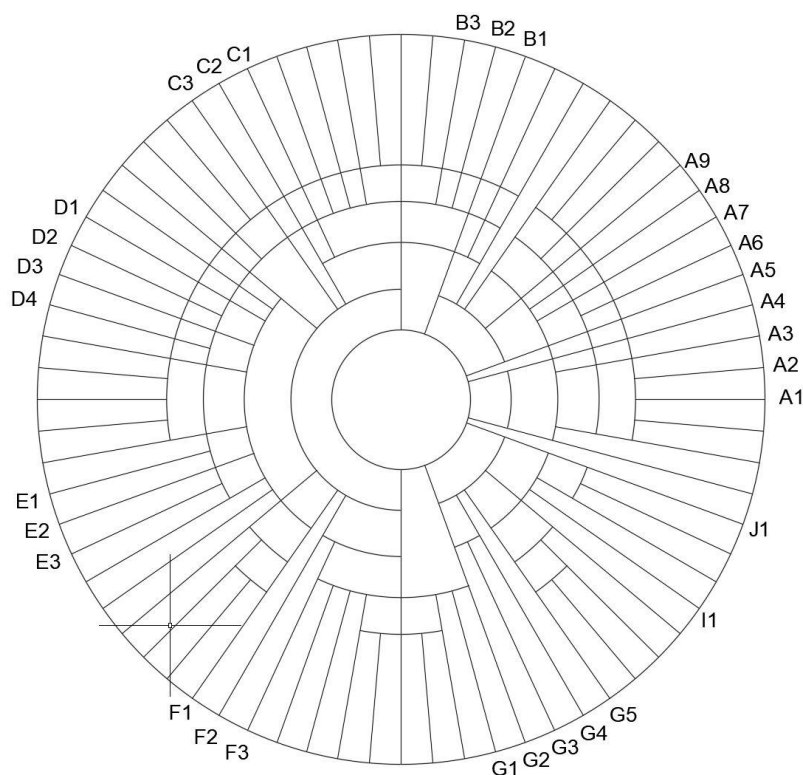


Fig. 2. Exemplu tipic de diagramă GIS.

CONSTRUCȚIA BAZEI DE DATE A PRECURSORILOR SECVENȚIALI

Academia Națională de Științe definește precursorul unui accident ca fiind orice eveniment sau grup de evenimente care sunt necesare să apară pentru a se produce un accident conform unui scenariu dat. După dicționar, definiția este „un element ce precede și indică un alt eveniment consecutiv”. O definiție ad-hoc ar fi „o întâmplare care are câteva dar nu toate ingredientele unei situații nedorite”. Așadar un precursor este un eveniment sau situație care, dacă un număr mic de comportamente sau condiții ar fi puțin diferite, ar fi condus la un eveniment cu consecințe nedorite. Se presupune că nu a existat un eveniment cu consecințe, incident sau deviație care să nu aibă cel puțin un precursor. Dacă ne raportăm la semantica cuvântului, presupunerea poate fi extinsă și în alte registre. Au fost, însă, evenimente cu consecințe unde precursorii au fost omiși, ignorați, refuzați sau neînțeleși. [55]

Lucrarea de față introduce și testează o metodă inovativă în 3 pași pentru identificarea, analiza, ierarhizarea și utilizarea precursorilor în analiza incidenței aspectelor periculoase cu privire la operațiunile maritime aferente industriei logistice offshore.

Preluând datele din baza de date WOAD cu privire la accidente offshore investigate pe parcursul a 50 ani, s-au identificat cauzele determinate folosind metoda 5 De Ce? a inventatorului japonez Sakichi Toyoda ce constituie baza procesului de producție pentru cea mai mare companie constructoare de mașini din lume, Toyota.

Identificând cauzele determinate în etapa precedentă, acestea au fost evaluate ca interdependente folosind teoria sistemelor și vulnerabilitatea dinamică pentru evidențierea precursorilor recurenți, utilizând înedit aceste metode pentru evaluarea relației între precursori. Ca rezultat, precursorii vor fi identificați ca și cauze determinate cu probabilitate majoră de a fi sursa traiectoriei către accident [43] în lipsa barierelor de securitate necesare.

În ultima etapă pur calitativă se vor folosi rețele bayesiene pentru a gestiona inferențele ce actualizează valorile incidenței precursorilor determinați. Aceste rețele bayesiene vor ține cont de o structură predeterminată bazată pe zonele de influență ale precursorilor și care, sub forma grafică, se reprezintă folosind metoda GIS (Geographic Information System) modificată și adaptată la harta proceselor aferente operațiunilor offshore.

Tabelul 0-1. Evenimente implicând platforme de foraj marin - extras din baza de date WOAD

Nr. Criteriu	Eveniment 1	Eveniment 2	Eveniment 3	Eveniment 4	Eveniment 5	Eveniment 6	Eveniment 7
Data Accidentului	28.11.1990	30.06.1989	31.07.1989	13.07.1987	26.10.1986	28.10.1985	04.02.1985
Codul Accidentului	1991-01- 12/000	1989-08- 10/007	1989-09- 12/003	1987-09- 07/001	1987-03- 19/004	1985-12- 17/001	1988-01- 25/000
Data Consemnării	12.01.1991	10.08.1989	12.09.1989	07.09.1987	19.03.1987	17.12.1985	25.01.1988
Ora Consemnării	19:00	14:00					9:00
Durata (ore)	0			0	0		1,2
Categoria	Accident	Accident	Accident	Accident	Accident	Accident	Accident

Rezumat Teza de Doctorat

Contribuții privind baze de date ale precursorilor secvențiali ai evenimentelor cu risc tehnic și tehnologic offshore

Nr. Criteriu	Eveniment 1	Eveniment 2	Eveniment 3	Eveniment 4	Eveniment 5	Eveniment 6	Eveniment 7
Implicare a factor uman							
Echipament		Condiții meteo	Condiții meteo	Structură /oboseală/ coroziune	Solul submarin	Condiții meteo	Defectare Echipment
Nume navă	TERREBONNE	TITAN 26	GULF ISLAND 4	IB 901	MARK DANOS	LES WALTERS	GRAND
ID Navă	90012	85201	84203	8	200	221	81202
Tip de navă	Jackup	Jackup	Jackup	Jackup	Jackup	Jackup	Jackup
Funcție	Macara	Macara	Macara	Macara	Macara	Macara	Macara
Registru de Clasificație					American Bureau of Shipping		
Proprietar	DYNOFF	COASTAL MARINE LIFT BARGES INC. OF GALL.	GULF ISLAND MARINE				LAFAYETTE LIFT BOATS
Contractor							LAFAYETTE LIFT BOATS
Operator	-	-	-	-	-	-	-
Aria Geografică	Golful Mexic, SUA	Golful Mexic, SUA	Golful Mexic, SUA	Asia, Indonezia, Malaezia	Golful Mexic, SUA	Golful Mexic, SUA	Golful Mexic, SUA
Țara	Statele Unite ale Americii	Statele Unite ale Americii	Statele Unite ale Americii	Singapore	Statele Unite ale Americii	Statele Unite ale Americii	Statele Unite ale Americii
Câmpul petrolifer	SS/149	GALVESTO N, 427	LOUISIANA OCS		ST BLOCK 72	NEW IBERIA SH.Y	EAST CAMERON 14
Operațiunea principală	Transfer, umed	Construcție unitate de lucru	Construcție unitate de lucru	Construcție unitate de lucru	Mobilizare	Construcție unitate de lucru	Mobilizare
Operațiunea secundară							
Adâncimea apei (m)	12	30					
Viteza vântului (m/s)	0	0	34	0	0	37	3
Adâncimea de foraj (km)	0	0	0	0	0	0	0
Înălțimea valului (m)	0	2	4	0	0	0	0
Fatalități (Echipaj)	0	3	0	0	0	0	1

Nr. Criteriu	Eveniment 1	Eveniment 2	Eveniment 3	Eveniment 4	Eveniment 5	Eveniment 6	Eveniment 7
Fatalități (alte persoane)	0	1	0	0	0	0	0
Răniri (Echipaj)	0	3	0	0	0	0	0
Răniri (alte persoane)	0	0	0	0	0	0	0
Deteriorări	Pierdere totală	Pierdere totală	Deteriorare severă	Deteriorare semnificativă	Deteriorare severă	Deteriorare semnificativă	Deteriorare severă
Pagube materiale (mil. \$)							
Întârziere (Nr. Zile)	0					35	
Tip de deversări	Absentă	Absentă	Absentă	Absentă	Absentă	Absentă	Absentă
Deversări (m3)	0	0	0	0	0	0	0
Reparații	Reparat la locație	Casat	Reparat în doc/șantier	Reparat la locație	Reparat în doc/șantier	Reparat la locație	Reparat în doc/santier
Timp de reparație (Nr. Zile)		0				35	
Eveniment principal	Scufundare	Scufundare	Scufundare	Fracturare sau oboseală	Fracturare sau oboseală	Fracturare sau oboseală	Scufundare
Tip de evacuare	Absentă	Absentă	Evacuare completă	Absentă	Absentă	Absentă	Evacuarea completă
Numar de evacuați	0	0	5	0	0	0	4

Aplicarea metodei ASP 3L in cazul utilizarii unei nave macara cu picioare reglabile pentru accesul la turbinele eoliene offshore

Pentru o mai bună reprezentare a impactului lipsei barierelor de securitate precum și considerând aplicarea algoritmului de actualizare pe baza de date a precursorilor secvențiali specifici operațiunii în cauză, se obține profilul GIS instant (v. fig. 8-2.).

Dacă rezultatele analizei preliminare denotă o reactivitate majoră a unuia dintre precursori, atunci barierele de securitate necesare trebuie implementate. Conform analizei de risc, barierele de securitate trebuie implementate în cazul în care valoarea riscului depășește limita superioară a zonei de ALARP (engl. „As Low As Reasonable Possible” – minimul posibil cu implicații rezonabile).

Pentru implementarea unei bariere destinate a limita propagarea unui precursor de o

reactivitate crescută se prevede identificarea consecințelor și a traiectoriei precursorului în cauză. Având traiectoria, se pot anticipa momentele în care barierele de succes pot opri traseul precursorului către accident.

În cazul operațiunii analizate, reactivitate crescută se observă la precursorii G4, care privesc calitatea sistemului de legare a navei și I5 care se referă la acuratețea prognozei meteo. Pentru a preîntâmpina acțiunea lor, se pot verifica solicitările din liniile de ancorare și frecvența prognozei meteo ca bariera de securitate imediată și implicită.

AUTOMATIZAREA ANALIZEI

Integritatea sistemelor tehnice și tehnologice se pierde foarte rar datorită unui motiv izolat. În mod normal există precursori, poate nu foarte importanți, dar care pot constitui bazele unui accident catastrofal. De obicei există o conexiune posibilă între incidentele fără consecințe și modul de gestionare a precursorilor.

Metodologia este prezentată pentru analiza pe trei niveluri și poate fi folosită, de asemenea, pentru identificarea cauzei determinante și a celor favorizante, dar în mare măsură configurația precursorilor poate ajuta apriori pentru decizii optime și evitarea evenimentelor neplăcute.

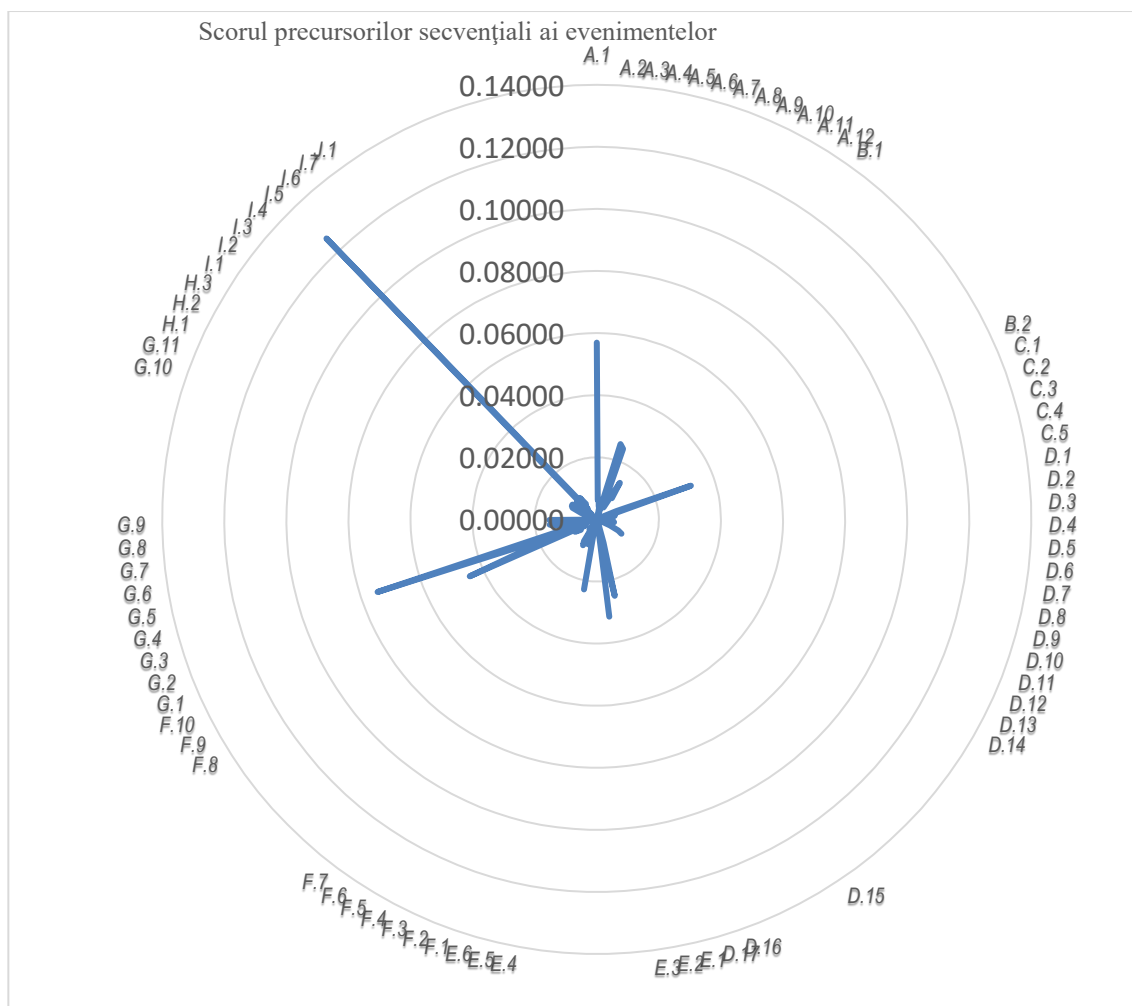


Fig. 8 2. Profilul de risc al operațiunilor cu nave jack-up.

Produse software de analiză a cauzelor determinante

În prezent nu au fost identificate produse software comerciale sau experimentale ce au ca bază de lucru analiza precursorilor, cel mai apropiat studiu fiind cel al cauzei determinante a incidentelor industriale.

Majoritatea analizelor pentru cauză determinantă folosind metodologii cunoscute, ca arborele cauzei determinante, sunt utilizate pentru identificarea aspectelor ce trebuie amendate pentru evitarea unor evenimente cu consecințe negative.

Astfel, regăsim câteva produse software care ajută la coordonarea informațiilor, centralizarea expertizelor și determinarea grafică a aspectelor, care, conform metodologiei, sunt cele mai probabile cauze ale incidentului studiat.

Din multitudinea de produse comerciale au fost alese un număr de 10 cele mai cunoscute pentru a fi prezentate iar 2 dintre ele (TapRoot și NASA RCAT) au fost testate pe studii de caz, pentru a obține informații în vederea analizei comparative cu metodologia dezvoltată în această teză.

1. REASON - program pentru analiza cauzei determinante; este dezvoltat considerând principiul concentrării pe lanțul causal al evenimentului, ignorând diversitatea posibilelor cauze și

concentrându-se pe cea determinantă și apariția ei. Se are în vedere în modelul cauză-efect ce include cauza determinată și cauzele favorizante ale evenimentului ce tratează scenariul în etape.

2. TapRooT – program ce îmbină interfața pentru raportarea incidentului cu analiza cauzei determinate, dezvoltarea acțiunilor corective imediate, scrierea rapoartelor, evidența implementărilor corecțiilor pentru cauza determinantă.

3. NASA RCAT – softul este creat pentru analiza anomaliilor, incidentelor fără consecințe și a accidentelor ușurând identificarea acțiunilor corective pe baza lanțului cauzal, generând date cu privire la precursorii evenimentelor și furnizând informații pentru analiza probabilistică de risc.

4. XFRACAS – creat de ReliaSoft, una dintre cele mai mari companii de profil, are beneficiul unei interfețe bazate pe rețeaua Internet și avantajul unei vederi de ansamblu asupra întregii organizații. Adicional facilităților de identificare a cauzei determinate, datele colectate sunt indexate într-un format ce ușurează analizele de fiabilitate, calitate și siguranță.

5. PathMaker – este practic un program generic ce poate fi utilizat pentru a genera procese și scenarii din cele mai diverse, începând cu crearea de produse noi până la analiza și rezolvarea incidentelor tehnice și tehnologice.

6. RealityCharting – creat ca o platformă pentru investigarea accidentelor, programul are o interfață bazată pe metoda Apollo care ajută utilizatorul în alegerea unei rute către cauza determinantă în cinci pași.

7. Solve – este unul dintre cele mai dedicate softuri pentru analiza cauzei determinate, mizând pe ușurința în utilizare și obținere traiectorie către defectare prin metode grafice și intuitive. Arborele de defectare poate fi vizualizat în timp real și editat cu ușurință.

8. Tripod Beta – un program structurat și sistematic de analiză a incidentelor și investigații post-eveniment. Evidențiază lipsa de informație sau nesiguranța informației pe parcursul procesului de identificare a cauzei determinate. Referitor la implementarea acțiunilor corective, are un mecanism de control pentru eficiența acestuia ce urmărește o implementare sustenabilă.

9. PROACT – softul transferă în virtual metoda seminarului de investigație, facilitând accesul multiplilor utilizatori și împărtășirea informațiilor în formă electronică între utilizatori. Conține un ciclu complet de rezoluție a cauzelor determinate începând cu modelarea procesului, investigația, dezvoltarea de soluții, analize de hazard, investigații asupra calității și managementul schimbărilor de procedură.

În lumina acestor aplicații care, prin natura utilizării lor, ajută la indexarea unora dintre precursorii accidentelor pentru care se determină cauza determinantă, se propune o aplicație nouă care se concentrează pe lanțurile cauzale ale precursorilor cunoscuți pentru a determina măsurile de protecție necesare și a reduce nivelul de pericol asupra sistemelor, organizațiilor și instalațiilor.

Aplicația ASP 3L – dezvoltare a metodei omonime

Pe baza metodei inovative prezentate și tehnicilor detaliate în capitolele precedente s-a început dezvoltarea, în Microsoft Access, a unei aplicații pentru accesarea informațiilor din baza de date cu precursori. Aplicația are rolul de a accesa informația stocată într-un format ușor de utilizat cu ajutorul filtrelor și a căutărilor euristice.

Destinația principală a aplicației va fi de suport în luarea deciziilor pe baza actualizării variabilelor ce țin de incidența și consecințele posibile ale precursorilor cunoscuți, făcută prin introducerea unor date specifice în interfața de utilizator. Se presupune cunoașterea istoricului statistic al zonei de desfășurare a operațiunii, a navei folosite precum și a tehnologiei utilizate pentru

operațiunea efectivă.

În cercetarea ulterioară pentru postdoctorat se va dezvolta aplicația și se va diversifica utilitatea capacității acesteia de a oferi suport în luarea deciziei în funcție de coeficientul de risc și urmările probabile.

LUAREA DECIZIEI PE BAZA PRECURSORILOR

Metoda valorii așteptate

Această regulă (metodă) este adecvată pentru decizii repetitive pe termen lung. Decidentul cunoaște probabilitatea matematică apariției fiecărei condiții viitoare, multiplică probabilitatea conform recompensei fiecărei condiții și apoi le unește, după care selectează alternativa cu cel mai înalt scor. Ca și în cazul precedent, matricea consecințelor este cea din tabelul 10-1.

Varianța optimă se alege după evaluarea fiecărei variante cu relația:

$$F(V_i) = \sum_{j=1}^m p_j a_{ij}, \quad (0-1)$$

Tabelul 0-1. Matricea consecințelor

	C_1	C_2	...	C_j	...	C_m
	p_1	p_2	...	p_j	...	p_m
V_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1m}
V_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2m}
...	...	...	...	...	...	...
V_i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{im}
...	...	...	...	...	...	...
V_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nj}	...	a_{nm}

după care se alege V_l dacă

$$F(V_l) = \max_{i \in \{1, n\}} F(V_i). \quad (0-2)$$

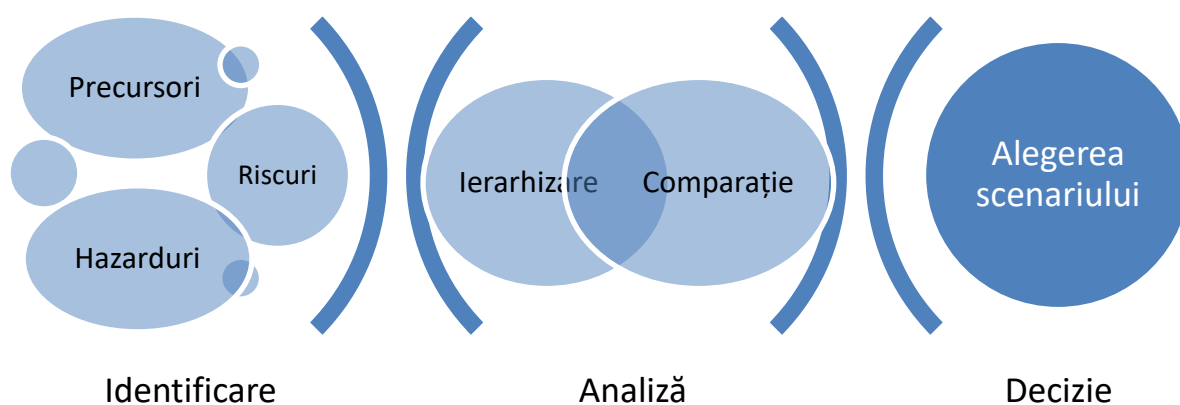


Fig. 0-1. Organigrama luării deciziei (exemplu tipic).

Incertitudinea nu trebuie privită ca un lucru negativ. Cel mai important lucru este să se realizeze faptul că incertitudinea nu poate fi eliminată, că aceasta trebuie acceptată și că trebuie construite instrumente de analiză adecvate care să permită o anumită marjă de control.

Pe baza metodelor propuse în acest capitol a fost generat un algoritm care respectă organigrama din figura 10-1 ce poate ierarhiza precursori ai evenimentelor cu hazard/risc tehnic și tehnologic, spre identificarea precursorului determinant ce va genera pericolul iminent [67].

CONCLUZIILE TEZEI

S-a declarat ca scop la începutul procesului de cercetare doctorală, identificarea influenței precursorilor secvențiali asupra incidenței evenimentelor nedorite din cadrul operațiunilor maritime din cadrul logisticii sistemelor și structurilor offshore.

În general, rezultatele analizelor arată că evenimentele offshore cu cauze naturale sunt frecvente și au, de regulă, consecințe reduse. Cele mai mari amenințări offshore sunt vremea nefavorabilă, exprimată prin vânt puternic și valuri cu înălțimi de undă mari. Furtunile creează încărcări suplimentare asupra structurilor offshore rezultând, în anumite cazuri, depășirea valorilor rezistenței nominale a structurii. Fulgerele și cutremurele au cauzat incidente rare, dar cu consecințe relevante.

Comparând structurile offshore fixe cu cele plutitoare, se constată diferențe majore de vulnerabilitate. În cazul celor din urmă, se constată consecințe ca pierderea poziției datorită ruperii liniilor de ancorare datorate aceluiași condiții meteo nefavorabile menționate mai sus. În cazul structurilor fixe, furtunile au cauzat încărcări majore care au dus la avarii importante ale structurii, răsturnări, scufundări sau eșuări.

La nivelurile ulterioare de analiză a rezultat că evenimentul natural, care nu este necesar să fie de intensitate majoră, a fost doar cauza determinantă, dar aceasta a fost acompaniată de factori favorizanți ca oboseala, coroziunea, proceduri greșite etc. Conform analizei cantitative în baza informațiilor din WOAD, în Marea Nordului și Golful Mexic se petrec majoritatea accidentelor offshore datorită activității intense și a numărului mare de instalații.

Aproape 4% din totalul accidentelor cu cauză determinantă naturală au avut ca și consecință unul sau mai multe decese, procentul scade în jur de 2.5% dacă se limitează arealul la datele pentru continentul european. Un număr important de evenimente (21 doar în Europa) a cauzat deversări de substanțe periculoase care au dus la afectarea mediului înconjurător. O operațiune cu risc ridicat ar fi remorcajul marin, care produce un uimitor de mare număr de accidente, ducând la definirea operațiunilor de transfer offshore ca operațiune cu risc major.

Cum teza de doctorat reprezintă încununarea inovativ-aplicativă a demersului de cercetare și rezultatul studiilor de doctorat, se prezintă în context și sintetic concluziile derivate din acest proces de cercetare:

1. Prezentarea metodologiei de identificare, indexare, ierarhizare a precursorilor secvențiali și actualizare a nivelului de influență obținut de aceștia în apariția evenimentelor nedorite tehnice și tehnologice, introduce o nouă perspectivă de analiză a surselor de pericol.
2. Mergând pe principiul lui Bayes se ajunge la concluzia că erorile umane au influențe majore în apariția evenimentelor nedorite, iar barierele de securitate necesare necesită eforturi sporite datorită vulnerabilității dinamice a acestei categorii de precursori.
3. Reprezentarea grafică a rezultatelor obținute în urma analizei pe 3 niveluri oferă o imagine de ansamblu asupra constelației de precursori mai mult sau mai puțin activi, ce trebuie neutralizați în funcție de potențial înainte de a începe operațiunea.
4. Luarea deciziilor pe baza diagramei ASP GIS utilizând o metodă cu consistentă, ca cea a valorii așteptate propusă de lucrarea de față, în timp poate constitui un ajutor real în cazul gestionării de procese/proiecte complexe și multidisciplinare.
5. Automatizarea metodologiei conduce la ușurința aplicării practice în cadrul industriei dar oferă și avantajul dezvoltării ulterioare prin adăugarea de facilități pentru optimizarea securității activităților logistice din industria offshore, în particular, și a activității industriale, în general.

CONTRIBUȚII PERSONALE

Făcând o paralelă între metodele clasice de analiză a pericolelor menționate în capitolul 2 și metoda dezvoltată în urma analizei elementelor cauzale pentru accidentele offshore prezentate în baza de date WOAD, rezultă că metoda creează premisele unei noi filozofii de analiză. Dacă prin metoda clasică se are în vedere o ierarhizare bazată pe o grilă standard fixă de evaluare a incidenței și consecințelor unor pericole aparente, cercetarea de față propune abordarea în profunzime și analiza vulnerabilității dinamice a precursorilor secvențiali prin intermediul rețelei bayesiene actualizând scorul precursorilor în funcție de trei aspecte esențiale, zona de lucru, echipamentele folosite și tehnologia utilizată.

Pentru elaborarea metodologiei, identificarea elementelor de lucru (i.e. precursorii) și realizarea studiului de caz au fost necesare următoarele contribuții personale cu caracter original:

Analiza unui volum de 6000 de accidente offshore petrecute în decursul a 35 ani pentru identificarea cauzelor determinante ale accidentelor și, mai în profunzime, identificarea precursorilor secvențiali;

Aplicarea unei metodologii de tip 5 Why modificată derivată din modelul „swiss cheese” pentru identificarea precursorilor secvențiali și a traiectoriei lor posibile către accident;

Evaluarea consecințelor probabile și a incidenței unui precursor pe baze statistice folosind metoda inovativă de identificare-evaluare, ASP 3L, în esență o analiză pe trei nivele (calitativ, semi-cantitativ și cantitativ), obținând o distribuție standard a precursorilor cunoscuți în baza informațiilor existente despre ei;

Categorisirea a 336 precursori, vezi capitolul 13, conform cu aspectele pe care le pot influența folosind un model GIS (engl. Geographic Information System), provenit din analizele dezastrelor naturale [58], modificat să cuprindă aspecte determinante în operațiunile maritime aferente activităților offshore;

Exemplificarea metodei originale dezvoltate ASP 3L, printr-un studiu de caz asupra precursorilor implicați în operațiunea marină de instalare a unui cablu submarin folosind rețeaua bayesiană pentru actualizarea incidenței și intensității consecințelor posibile conform datelor specifice ale operațiunii;

Propunerea dezvoltării, pentru metoda ASP 3L, a unei aplicații soft omonime care să sprijine luarea deciziilor în cadrul momentelor critice ale operațiunilor maritime offshore (Ex. apariția unor condiții meteo nefavorabile neașteptate).

Acest demers de cercetare a fost precedat de studiul în cadrul doctoratului prin trei rapoarte de cercetare [68] [69] [70], urmate de implementarea metodologiei prezentate aici pentru evaluarea, evidențierea, aprobarea și monitorizarea operațiunilor maritime din cadrul operațiunilor de construcție a parcurilor eoliene offshore și a mentenanței în cadrul instalațiilor offshore de exploatare a hidrocarburilor submarine.



NATIONAL MINISTRY OF EDUCATION
OIL-GAS UNIVERSITY OF PLOIEȘTI
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Mechanical and Electrical Engineering
Doctoral School

DOCTORAL THESIS

Contributions regarding sequential precursors databases of the
offshore events with technical and technological risk

Doctoral Advisor,
Prof. univ. dr. ing. Alecsandru PAVEL

Author,
Ing. Ionut Dragos NEAGU

PLOIEȘTI
2018

SUMMARY

I. INTRO	5
II. PRESENTATION OF RELEVANT RESEARCH	9
III. TERMS AND ACRONYMS	11
1 CURRENT NATIONAL STAGE OF PRECURSORS RESEARCH AND HAZARD MANAGEMENT IN DIAGNOSIS, MENETENANCE AND RELIABILITY OF MARINE OPERATIONS FOR OFFSHORE STRUCTURES AND SYSTEMS.....	15
1.1. LEGAL AND ADMINISTRATIVE APPROACH OF RISK MANAGEMENT.	15
1.2. GENERAL PRINCIPLES AND METHODS OF RISK EVALUATION.....	16
1.3. TERMINOLOGY USED IN RISK ANALYSIS.	18
1.4. DEFINITION AND ANALISYS OF RISK FACTORS.	23
1.5. EVENT TREE	26
1.6. FAULT TREE	27
2 INTERNAȚIONAL CURRENT NATIONAL STAGE OF PRECURSORS RESEARCH AND HAZARD MANAGEMENT IN DIAGNOSIS, MENETENANCE AND RELIABILITY OF MARINE OPERATIONS FOR OFFSHORE STRUCTURES AND SYSTEMS.....	29
2.1. THE ADMINISTRATIVE-LEGISLATIVE FRAMEWORK AT EUROPEEAN AND INTERNAȚIONAL LEVEL	29
2.2. BOWTIE ANALYSIS	29
2.3. QUALITATIVE METHODS IN RISK ANALYSIS.....	30
2.4. QUANTITATIVE METHODS IN RISK ANALYSIS.....	31
2.1.1 HAZOP Method	31
2.1.2 The rapid systematisation method	34
2.1.3 Multicriterial analysis	37
2.1.4 Analytical Hierarchy Process	38
2.1.5 Saaty Scale – mathematical model	39
2.1.6 Fault probability evaluation	41
2.1.7 Fault probability using bayesian method	41
2.1.8 Dynamic Risk Analysis methodology.....	42
2.1.9 Aplicability of DRA.....	43
2.1.10 Event tree model	44
2.1.11 Event occurence probability.....	45
2.1.12 Probability update with Bayesian method	46
3 FUNDAMENTAL APPROACH REGARDING ENGINEERING AND MANAGEMENT OF DYAGNOSIS, MENTENANCE AND RELIABILITY OF MARINE OPERATION IN OFFSHORE	49
3.1. FUNDAMENTAL APPROACH OF MANAGEMENT OF DYAGNOSIS, MAINTENANCE AND RELIABILITY IN OFFSHORE ACTIVITIES.....	50
3.2. QUALITATIVE AND QUANTITATIVE ANALISYS	53
3.3. SECURITY BARRIERS.....	56
4 PRECURSORS ROLE IN RISK EVALUATION	59
5 CONCEPT, DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY FOR EVALUATION, HIERARCHY AND MITIGATION OF PRECURSORS	65
5.1 IDENTIFICATION OF SEQUENTIAL PRECURSORS– NIVEL 1 (QUALITATIVE ANALYSIS)	67
5.2 MULTICAUZALITATE ȘI INTERFERENȚĂ – NIVEL 2 (SEMI-QUANTITATIVE ANALYSIS)	69
5.3 ALGORITMUL DE CLASIFICARE - NIVELUL 3 (QUANTITATIVE ANALYSIS).....	71
6 DEVELOPMENT OF SEQUENTIAL PRECURSORS DATABASE	73
6.1 BAYESIAN NETWORKS.....	73
6.2 BAYESIAN UPDATE.....	73
6.3 CONSEQUENCE HIERARCHY	75

6.4	PRECURSORS HIERARCHY	78
6.4.1	<i>Identification of sequential precursors in case of marine operations for loading</i>	<i>82</i>
6.4.2	<i>Identification of sequential precursors in case of marine operations for transport</i>	<i>88</i>
6.4.3	<i>Identification of sequential precursors in case of marine operations for installation</i>	<i>93</i>
6.5	MITIGATION OF ROOT CAUSE PRECURSORS	98
7	PRECURSORS NUMERIC STUDY IN CASE OF INSTALLATION OF SUBMARINE CABLES...	101
7.1.	RESULTS OF ASP 3L METHOD IN CASE OF INSTALLATION	101
7.2.	GRAPHICAL REPRESENTATION OF RESULTS USING A GIS DIAGRAM	109
8	PRECURSORS NUMERIC STUDY FOR USE OF JACK-UP VESSELS	111
8.1	RESULTS OF ASP 3L METHOD IN CASE OF JACK-UP CRANE VESSEL FOR HEAVY LIFT ON OFFSHORE WIND TURBINES GENERATORS.....	111
9	AUTOMATION OF THE ANALYSIS	122
9.1	SOFTWARE PACKAGES FOR ROOT CAUSE ANALYSIS	122
9.2	ASP 3L SOFTWARE – BASED ON ASP 3L METHOD.....	124
10	PRECURSORS BASED DECISION MAKING	125
10.1	EXPECTED VALUE THEORY	125
11	CONCLUSIONS AND FURTHER OBJECTIVES	127
12	PERSONAL CONTRIBUTION TO THE THEME	129
13	APPENDICES	131
13	BIBLIOGRAPHY	131

INTRODUCTION

Recognizing the signals before the accidents offers clearly a potential way of improving security and many research studies have tried the development of the methodology of identification and use of precursors to foresee accidents. In this thesis will be referenced all those studies aimed to reduce the risk exposure and responsibilities of decision making factors in instatement of security barriers.

On first look may seem as an easy thing, design and operation of a program for precursors management. This perception creates a feeling of retrospective prejudice, this meaning that after the accident, people could consider that it could have been foreseen as being highly probable, if not inevitable, by the pre-accident analysis. Retrospective prejudice will also explain major differences from the pre and post-accident analysis.

In fact, after careful analysis, development and operation of a precursors management program appears as a challenging activity. For the use of precursors information, the precursors software needs to identify possible threats before those could be visible; to detect, filter and hierarchy identified precursors.

Even if the development of programs that hold all the abovementioned characteristics could be challenging, is important to highlight the methodology through which could be created or developed as improvement of existing software. To exemplify, there are people, companies, organizations and industries capable to foresee and answer to potential unfavorable events, without the involvement of precursors. It must be analyzed the accuracy with which the precursors action is foreseen, and this could be improved.

Precursors could be defined as events, conditions and sequences prior and leading to an accident. Therefore, it could be understood that they are independent items as Lego bricks of the accidents and can include internal events (equipment malfunction, human error) or external (earthquakes, wars, etc.). One type of precursor more difficult to identify in case of post-accident analysis are the ones created by security culture of an organization, for example or socio-cultural particularities of the country/region, that cannot be deemed as root cause precursors but are creating accident favorable scenarios.

Reporting system of precursors based on a strict definition and severity limits needs a mechanism to allow the addition of new precursors or modification of severity for registered precursors. A precursors management software could have added value also for the reliability of studied systems. Therefore, a precursor identified during accident trajectory modelling could highlight a failure mode unforeseen in the FMEA or manual of the installation. On the other hand, because the precursors are safer to count they could create new benchmark for system security. Another benefit with high importance is the risk awareness especially for the organizations where the accidents are very rare.

Most used way of identification and quantification of precursors is post-accident analysis of near misses (quasi-accidents), including root cause determination, who statistically appear more often than accidents. This information consolidated into a database of precursors together with the foreseen associated consequences could create a tool that with the help of probabilistic analysis could evaluate conditional impact of precursors. This way the probabilistic analysis makes possible the probability quantification corresponding to each precursor in leading to accidents of various severities through the evaluation of conditional probability of accidents taking as input the values of some precursors and their influence via

Bayesian networks. The advantage of this method is mainly given by the conditional hierarchy of precursors in order to facilitate certain corrective measures of security barriers.

Experimental analysis is generic composed of four major steps, as it follows:

1. Methodology description – details regarding 3 level method (qualitative, semi-quantitative, quantitative) of identification, hierarchy and evaluation of precursors;
2. Sequential Precursors Database description - listing the precursors identified as root causes of unfavorable events during loading, transport and installation of offshore structures and systems;
3. Case study – analysis of precursors status during a subsea cable installation;
4. Case study – analysis of precursors during offshore heavy lift using a jack-up crane vessel;
5. Supporting personal contributions to the study of precursors – including identification of the aspects that require further investigation during other post-doctoral studies.

This doctoral thesis proposes an innovative methodology based on the central element, named the precursor, which is identified by root cause analysis, evaluated with systems theory and Bayes theory, showed in updated state using Bayesian network.

The origin of using precursors is known as the necessity to evaluate protection in case of rare accidents with high consequences (LOHC – low occurrence high consequences) where due to seldom cases and very different scenarios a qualitative evaluation will not give a satisfying answer.

Precursor of the accident could be defined as an event without fatalities or significant material damage that have not caused an accident due to existence of very effective security barrier. Qualitative analysis applied over precursors has two very important aspects. Firstly, an accident and his precursors have the origin in failures and common incidents that can be used for classical quantitative analysis, and secondly all accidents are anticipated by precursors, that could be considered as benchmark for security barriers. Those assumptions are resulting from analysis of some disasters in major risk industries like aero-spatial (explosion of Challenger shuttle a few minutes from launch - 1986, explosion of shuttle Columbia at reentry in atmosphere - 2003), nuclear (explosion of Three Mile Island nuclear plant, USA – 1979 and explosion of Fukushima Daiichi, Japan - 2011) and offshore (explosion and fire of Piper Alpha platform, North Sea – 1976 and relatively recent Deepwater Horizon explosion and adjacent pollution disaster, Gulf of Mexico - 2010).

Beside the precursors analysis, quantitative analysis is modelling a set of failures and unfavorable events connected through logical relations. Because the causal factors number is quite low, we can meet similar aspects among accidents that could result in historical probability and statistic analysis. Theoretically, it could be argued that the scenario where fault tree type of quantitative analysis or event tree or bowtie could have some results. All are with reserves, firstly because an analyst has limited knowledge over the events, over the relations between them and more important the information about events is affected by multiple forwarding.

If for first variable it cannot be found subjectivity mitigation measures, for the second it can be considered hierarchy using bayesian networks which has been proven as a reliable method.

Quantitative analysis based on precursors was applied on major accidents in domains like aero-spatial, nuclear and chemical industry, but the efforts in oil and gas domain are limited.

This thesis applies classical quantitative analysis based on historical statistics, combined with Bayesian analysis where precursors create probability profile. In chapter 5 the methodology is shown, chapter 6 presents the precursors database and chapters 7 and 8 show case studies proving the importance of the analysis and opportunities of further development. Chapter 9 presents the conclusions of the analysis and those of the author with regards to the research and her innovative character.

SUMMARY

The analysis of security culture and objective data from industry could prove useful in time to understand the safety culture perception variation in time, as well as the relation between security factors and security performance.

The utmost importance must be given to the consistency of precursors occurrence into a limited period of time in order to confirm their validity. In both, regulatory committees and industrial operators' correspondence between precursors occurrence and security performance (or lack of performance in this case) should be established to confirm that identified events are indeed precursors.

Integration of data sets from various industrial operators in order to develop a generalized model will create a challenge that cannot be avoided in the effort to obtain a model valid across the process industries as a minimum. Comparing results from various organizations, especially with regards to perception and performance in time, could have importance in establishing a methodology of precursors, effective and predictive for each stakeholder, and precise to cover all phases of the system.

Separate studies of human factor induced precursors, were taken into consideration as defining 3 stages cognitive mental due to workload that act as precursors of accidents in naval and offshore industries. The 3 stages mentioned above are overload, underload and transient situations.

The industries with similar risk profile were considered, as aviation, nuclear power generation, where the methods of hierarchy of identified precursors on probabilistic risk analysis were borrowed. As particularity for the mentioned industries the problems with their precursors related analysis are in connection with different treatment of internal and external precursors in nuclear and LOHC (low occurrence high consequences) vs HOLC (high occurrence low consequences) in aviation.

To identify the series of precursors that will be used as a basis for applied methodology as causes of the accidents contained in WOAD (i.e. World Offshore Accident Database), the root cause identification method of 5 Why's is used as per the example in fig. 1-1.

The reasons behind the choice of the 5 why's method for precursors identification lie in the easiness of root cause identification of the incident/accident together with corresponding precursor, highlighting the path between the precursor and his effect, and finally offers a reliable verification of the statistic study performed using 3 stages multiple hazards analysis method.

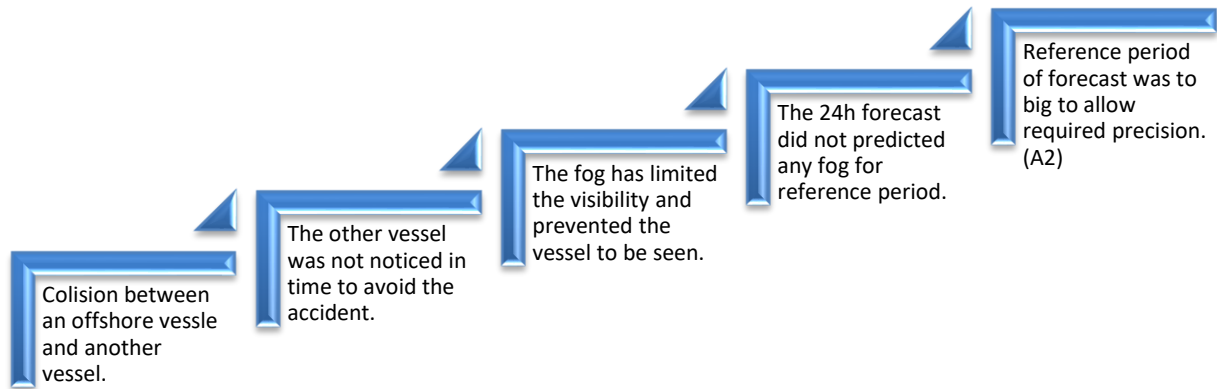


Fig. 3. Precursors identification 5 why's method.

Using the method of 5 why as first stage were identified a considerable number of precursors that have been structured into a hierarchy GIS (i.e. Geographic Information System) type as shown in Fig. 1-2 following the implied aspect of the operation. The database was structured using the Microsoft Access software and managed via Microsoft Excel and Visio for evaluation and risk score update on the occurrence of the identified precursors.

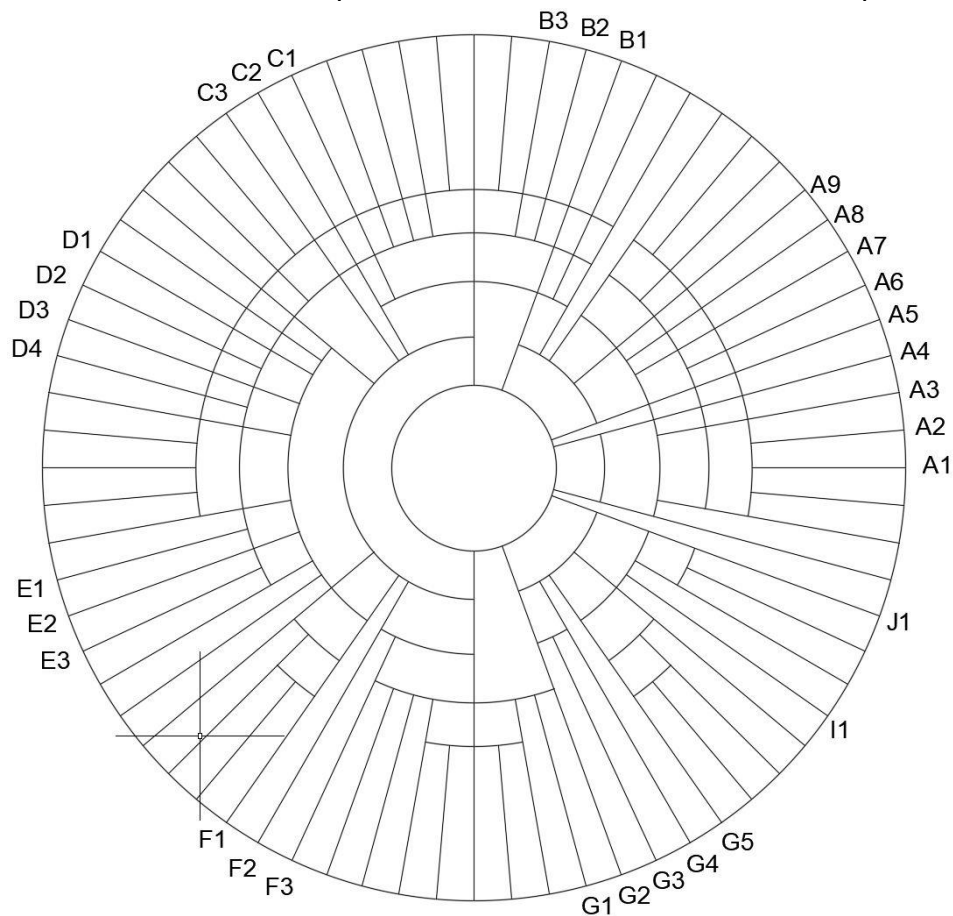


Fig. 4. Typical example of GIS diagram

CONCLUSIONS

It has been declared as scope, on initiation of doctoral research, identification of the precursors influences over the incidence of undesired events during marine operations for logistics of offshore systems and structures.

In general, the results show that offshore events of natural causes are of high frequency and reduced consequences. Out of those the most notable events are due to unfavourable weather, expressed as high winds and waves with increased wave height. The storms create increased loads on offshore structures resulting in some cases in exceeding the bearing capacity. Lighting and earthquakes have a low occurrence, but the consequences are relevant.

Comparing incident occurrence and precursors for fixed and floating offshore structures, it appears that the vulnerabilities are completely different. For floating offshore structures, loss of position due to mooring arrangement failure is the most occurrent cause of incidents, related mainly with environmental causes. Fixed structures have as main environmental cause the storms that lead to important damage on structures, collapse, sinking or grounding.

On further study on incident path was noted that environmental was only the root cause of the incident and a serie of other factors like corrosion, fatigue, wrong procedure etc. have determined the occurrence.

Regarding the areas more prone to accidents, based on WOAD information, North Sea and Gulf of Mexico share the first positions due mainly to intense activities and high number of installations.

Almost 4% of all accidents with natural/environmental root cause have had at least one fatality, out of which 2.5% only in Europe. High percentage of events have caused spills of dangerous substances leading to damage of the environment. Marine towing operations are also highly vulnerable and lead to a great number of incidents, offshore tow being a major risk operation.

In this thesis is the result of innovative and applicative effort to evaluate a priori the risk profile of various operation with a new philosophy considering precursors. Main aspects of this research are summarised as follows:

1. Development of identification, indexing & hierarchy and update methodology for accident sequential precursors and their influence on the occurrence of undesired technical and technological events, creates and new perspective on sources of danger analysis.
2. Following Bayes principle precursors involving human errors have a major influence due to their dynamical vulnerability and therefore their security barriers required by this methodology are highlighted.
3. Inovative graphical representation using GIS based diagram, for results using 3 level analysis gives a comprehensive view on the reactivity of identified precursors.
4. Decision making based on ASP 3L method using expected value algorithm evaluation for usage as assistance on complex projects.
5. Automation trials of the method, which may create the premises for extended usage and upgrade for optimisation of logistic activities in offshore industry and industrial activities.

PERSONAL CONTRIBUTIONS

Making a connection between classic risk analysis methods mentioned in chapter 2 of the thesis and innovative method created based on causal events analysis of offshore incidents and accidents mentioned in WOAD database, may lead to creation of new danger analysis philosophy.

If through classical method the risks are evaluated on a fixed standard checklist that evaluates probability and consequences for known hazards, this research proposed the dynamical indepth approach and vulnerabilities analysis using precursors. This could be obtained with the use of bayesian networks for reactivity score update based on three essential aspects as area, equipments and method used for the operation performed.

For the elaboration of the methodology, identification of database elements (e.g. precursors) and case studies included the following original aspects:

- ✓ Analysis of a volum of about 6000 offshore accidents over a period of 35 years and identification of relevant common root causes, and furthermore identification of sequential precursors.
- ✓ Inovative application of 5 Why's method of root cause analysis for identification of root causes combined with "swiss cheese" principle for incident trajectory.
- ✓ Evaluation and analitic hierachy of precursors based on probable consequences and occurrence using innovative method ASP 3L, a method based on 3 levels of analysis (qualitative, semi-quantitative and quantitative), obtaining a standard distribution of known precursors.
- ✓ Creation of first index of 336 precursors, corresponding to influenced aspects, using GIS (Geographic Information System) based diagram, sourced from natural disasters analysis, modified to cover various aspects of marine operations.
- ✓ Case study using ASP 3L method, on precursors involved into submarine power cable installation using bayesian networks for precursors occurrence and reactivity update.
- ✓ Investigation of method automation with a software product to assist in decision making on critical moments of high-risk offshore operations.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Mignan A, S. Wiemer și D. Giardini, „The quantification of low-probability–high-consequences events: part I. A generic multi-risk approach,” *Natural Hazards*, vol. 73, nr. Issue 3, p. 1999–2022, 2014.
- [2] Cooke Roger, H. Ross și A. Stern, „Precursor Analysis for Offshore Oil and Gas Drilling (From Prescriptive to Risk-Informed Regulation),” *Resources for Future*, Washington, USA, 2011.
- [3] Meel A, L. O'Neill, J. Levin, W. Seider, U. Oktem și N. Keren, „Operational risk assessment of chemical industries by exploiting accident databases,” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 20, pp. 113-127, 2007.
- [4] Garcia-Aristizabal A, Z.Liu, F. Nadim, A. Mignan, K. Fleming și B. Luna, „A three-level framework for multi-risk assessment,” *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, vol. 9, nr. 2, pp. 59-74, 2015.
- [5] Schwanitz Valeria Jana și A. Wierling, „Offshore wind investments – Realism about cost developments is necessary,” July 2016. [Interactiv].
- [6] Neagu Ionuț Dragoș, „Abordarea fundamentală teoretică/analitică/numerică-academică privind analiza și managementul diagnozei, mentenanței și fiabilității operațiunilor maritime în domeniul offshore,” Ploiesti, 2016.
- [7] Neagu Ionuț Dragoș, „Deepwater Horizon Disaster and Influence on Offshore Industry Regulations,” *Journal of Engineering Studies and Research*, vol. 17, nr. 2, pp. 94-101, 2011.
- [8] Othman Mohamad Rizza, R. Idris, M. H. Hassim și W. H. B. W. Ibrahim, „Prioritizing HAZOP analysis using analytic hierarchy process (AHP),” *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 18, nr. 5, 2016.
- [9] Neagu Ionuț Dragoș, „Risk Control - Marine Warranty Survey,” *Journal of Engineering Studies and Research*, vol. 11, nr. 2, pp. 66-76, 2012.
- [10] Parlamentul României, *Legea Petrolului nr. 238/2004*, București: Monitorul Oficial, 2004.
- [11] Hagerty Curry L and L. J. Ramseur, "Deepwater Horizon Oil Spill: Selected Issues for Congress," Congressional Research Service, Washington, 2010.
- [12] Guvernul României, *Hotărârea de Guvern nr. 161*, București: Monitorul Oficial, 2015.
- [13] L. Poelhekke, W. S. Jäger, A. v. Dongeren, T. A. Plomaritis, R. McCall and Ó. Ferreira, “Predicting Coastal Hazards for Sandy Coasts with a Bayesian Network,” 2016. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/306391611>. [Accessed 2016].
- [14] Cardano Girolamo, *Liber de Ludo Aleae* (tr. Cartea Jocurilor de Noroc), Roma: NA, 1663.
- [15] N. E. Agency, „Five Years after the Fukushima Daiichi Accident: Nuclear Safety Improvements and Lessons Learnt,” Organisation for Economic Co-Operation and Development, Boulogne-Billancourt, France, 2016.
- [16] T. L. Saaty și L. Zhang, „The Need for Adding Judgment in Bayesian Prediction,” *International Journal of Information Technology and Decision Making*, vol. 15, nr. 4, pp. 1-29, 2016.

- [17] Pavel Alecsandru, S. Neagoe, C. Zoicas, I.-A. Mocioi, I. Anghel și C. Mateescu, „Filozofia conceptelor terminologice privind ingineria modernă,” în *Riscuri și surse de avarii tehnologice în rafinaj-petrochimie*, vol. 9, București, Ed. ILEX, 2008, pp. 62-63.
- [18] Robert Christian P, N. Chopin și J. Rousseau, „Harold Jeffreys’s Theory of Probability Revisited,” *Statistical Science*, vol. 24, nr. 18 Jan 2010, pp. 141-172, 2009.
- [19] Skjong Rolf și B. Wentworth, „EXPERT JUDGEMENT AND RISK PERCEPTION,” *Research Gate*, pp. 1-8, 8 August 2016.
- [20] Masson M and Morier Y, “Methodology to Assess Future Risks,” Future Aviation Safety Team (FAST), Paris, 2012.
- [21] F. Khan, P. N. Thodi, S. Imtiaz și R. Abbassi, „Real-time monitoring and management of offshore process system integrity,” *Chemical Engineering*, vol. 71, nr. November 2016, p. 14:61, 2016.
- [22] American Petroleum Institute / American Society of Mechanical Engineers, *Recommended Practice 579-1 / FFS-1*, American Petroleum Institute, 2007.
- [23] Neagu Dragoș Ionuț, „Accident Sequence Precursors in Risk Management for Offshore Industry,” *Sea-Conf 2015 1st International Conference - Book of Abstracts*, vol. 1, pp. 35-37, 2015.
- [24] Kappesa M S, K. Grubera, S. Frigerioa, R. Bella, M. Keilera și T. Gladea, „The MultiRISK platform: The technical concept and application of a regional-scale multihazard exposure analysis tool,” *Geomorphology*, vol. Volumes 151–152, nr. 15 May 2012, p. 139–155, 2012.
- [25] GFZ German Research Centre for Geosciences, „MATRIX - New Multi-Hazard and Multi-Risk Assessment Methods for Europe,” National Platforms of Disaster Risk Reduction, 18 September 2013. [Interactiv]. Available: <http://matrix.gpi.kit.edu/>.
- [26] Komendantova Naedejda, R. Mrzyglocki, A. Mignon, B. Khazai, F. Wenzel, A. Patt și K. Fleming, „Multi-hazard and multi-risk decision support tools as a part of participatory risk governance:,” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 1, pp. 50-67, 2014.
- [27] F. Yan, K. Xu, X. Yao și Y. Li, „Fuzzy Bayesian Network-Bow-Tie Analysis of Gas Leakage during Biomass Gasification,” *PLoS ONE*, vol. 11, nr. 7, 2016.
- [28] M. P. L. Daniel J. Mollura, *Radiology in Global Health - Strategies, Implementation and Application*, New York: Springer, 2014.
- [29] M. R. Othman, R. Idris, M. H. Hassim și W. H. B. W. Ibrahim, „Prioritizing HAZOP analysis using analytic hierarchy process (AHP),” *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 18, nr. 5, 2016.
- [30] Norwegian Geotechnical Institute, *Frontiers in Offshore Geotechnics*, Oslo: Taylor & Francis Group, 2015.
- [31] Boudali H și J. B. Dugan, *Reliability Engineering and System Safety*, 2005.
- [32] I. A. E. Agency, *Fundamental Safety Principles*, Viena: International Atomic Energy Agency, 2006.
- [33] Fenton Norman și M. Neil, *Risk Assessment and Decision Analysis with Bayesian Networks*, Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2013.
- [34] A. Petrillo, F. D. Felice și T. L. Saaty, *Applications and Theory of Analytic Hierarchy Process - Decision Making for Strategic Decisions*, InTECH, 2016.

- [35] Neagu Ionuț Dragoș, „Welding fracture due to extreme environmental conditions/,” în *Lucrările prezentate la al XXI-lea Simpozion Național de Mecanica Ruperii*, Ploiești, 2015.
- [36] Y. Z. Ayele, J. Barabady și E. L. Droguett, „Dynamic Bayesian network based risk assessment for Arctic offshore drilling waste handling,” *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, vol. 138(5), May 2016.
- [37] A. Fiegenbaum și H. Thomas, „Dynamic and Risk Measurements Perspectives on Bowman's risk-return paradox for strategic management,” University of Illinois Urbana-Campaign, Urbana-Campaign, Illinois, 1985.
- [38] M. Bouissou, *Gestion de la complexite dans les etudes quantitative de surete de fonctionnement de systemes*, Paris: Lavoisier, 2008.
- [39] B. Q. Luna , L. Garre and Y. Yang, “A Bayesian Network approach for risk assessment to a spatially distributed power infrastructure in a GIS environment,” *Journal of Polish Safety and Reliability Association Summer Safety and Reliability Seminars, Volume 6, Number 3, 2015*, p. 7, 2015.
- [40] M. Kalantarnia, F. Khan și K. Hawboldt, „Dynamic risk assessment using failure assessment and Bayesian theory,” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22, p. 600–606, 2009.
- [41] P. F. Romney B. Duffey BSc și F. D. John W. Saull CEng, *MANAGING RISK - THE HUMAN ELEMENT*, Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [42] Brian W Sheron, „STATUS OF THE ACCIDENT SEQUENCE PRECURSOR PROGRAM AND THE STANDARDIZED PLANT ANALYSIS RISK MODELS,” Office of Nuclear Regulatory Research, Washington, 2014.
- [43] J. E. Vinnem, T. Aven, M. Sorum și K. Oien, *Structured approach to risk indicators for major hazards*, Maastricht: ESREL2003, 2003.
- [44] Rae Andrew, R. Alexander și J. McDermid, „Fixing the cracks in the crystal ball: A maturity model for quantitative risk assessment,” *Reliability Engineering and System Safety* 125, pp. 67-81, 2014.
- [45] Habli Ibrahim, K. Macnish, C. Megone, M. Nicholson și A. Rae, „The Ethics of Acceptable Safety,” în *23rd Safety-critical Systems Symposium*, Bristol, UK, 2015.
- [46] Kunreuther Howard C, V. M. Bier și J. R. Phimister, *Accident Precursor Analysis and Management: Reducing Technological Risk Through Diligence*, New York: National Academies Press, 2004.
- [47] Nuclear Energy Institute, "Economic Impacts of The Davis-Besse Nuclear Power Station," Nuclear Energy Institute, Washington, USA, 2015.
- [48] Neagu Ionuț Dragoș, „Shared Database of Accident Sequence Precursors,” în *Proceedings of Deep Offshore Technology International Conference*, New Orleans. SUA, 2011.
- [49] Embrey David și C. Blackett, „A SET OF COMPUTER BASED TOOL FOR COGNITIVE WORKLOAD MEASUREMENT IN MARINE OPERATIONS,” în *Human Factors Issues in Complex System Performance*, Sheffield, Anglia, Shaker Publishing, 2006, pp. 34-47.
- [50] Yang Joon-Eon, “Development of an Integrated Risk Assessment Framework for Internal/External Events and All Power Modes,” *NUCLEAR ENGINEERING AND*

- TECHNOLOGY, pp. 459 - 470, 2012.
- [51] Vinnem J E, T. Aven, M. Sorum și K. Oien, Structured approach to risk indicators for major hazards, Maastricht: ESREL2003, 2003.
- [52] Luna Byron Quan, L. Garre and Y. Yang, "A Bayesian Network approach for risk assessment to a spatially distributed power infrastructure in a GIS environment," *Journal of Polish Safety and Reliability Association Summer Safety and Reliability Seminars, Volume 6, Number 3, 2015*, p. 7, 2015.
- [53] Gill Joel C și B. D. Malamud, „Hazard interactions and interaction networks (cascades) within multi-hazard methodologies,” *Earth System Dynamics*, vol. 7, pp. 659 - 679, 2016.
- [54] Katsaounis T și C. Simeoni, „First and second order error estimates for the Upwind Source at Interface method,” *Mathematics of Computation*, vol. 74, pp. 103-122, 2005.
- [55] Vinnem Jan-Erik, „Use of accident precursor event investigations in the understanding of major hazard risk potential in the Norwegian offshore industry,” *Journal of Risk and Reliability*, p. 14, 2012.
- [56] Gardoni Paolo, C. Murphy și A. Rowell, Risk Analysis or Natural Hazards, New York: Springer International Publishing AG, 2015.
- [57] Kalantarnia Maryam, Khan Faisal și Hawboldt Kelly, „Dynamic risk assessment using failure assessment and Bayesian theory,” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22, p. 600–606, 2009.
- [58] Passarelli Luigi, L. Sandri, A. Bonazzi și W. Marzocchi, „Bayesian Hierarchical Time Predictable Model for eruption occurrence: an application to Kilauea Volcano,” *Geophysical Journal International*, pp. 1525-1538, 2010.
- [59] Körvers P, „Accident precursors: pro-active identification of safety risks in the chemical process industry,” Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2004.
- [60] Neagu Ionuț Dragoș, „Statistic study of jack-up vessels operational times,” *Marine Energy*, 2016.
- [61] De Eduardo C, Gas and Oil Reliability Engineering: Modeling and Analysis, Cambridge: Elsevier, 2016.
- [62] Neagu Ionuț Dragoș, „Analysis of operational windows for jack-up and jack-down of jack-up vessels involved in offshore windfarms,” DNVGL, Hamburg, Germany, 2013.
- [63] Marian Ristea, Adrian Popa, Neagu Ionuț Dragoș și Mircea Pavel, „Comparative analysis on a CLB station keeping in regular and irregular waves,” *Sea-Conf 2015 1st International Conference - Book of Abstracts*, vol. 1, pp. 34-37, 2015.
- [64] DNVGL Group, *DNVGL-ST-N001*, Oslo, 2016.
- [65] W. E. Council, „World Energy Resources 2016,” World Energy Council, London, 2017.
- [66] Andersen K H, Cyclic soil parameters for offshore foundation design, Oslo: Taylor & Francis Group, 2015.
- [67] Garcia-Aristizabal Alexander, P. Gasparini și G. UHINGA, „Multi-risk Assessment as a Tool for Decision-Making,” *Urban Vulnerability and Climate Change in Africa*, vol. 4, nr. 10 Feb. 2015, pp. 229-258, 2015.
- [68] Neagu Ionuț Dragoș, „Stadiul actual al studiului precursorilor și managementului pericolului în diagnoza, mentenanța și predictibilitatea activităților logistice offshore,” Ploiești, 2016.

- [69] Neagu Ionuț Dragoș, „Abordarea fundamentală, teoretică/analitică/numerică-academică privind ingineria și managementul diagnozei, mentenanței și fiabilității operațiunilor maritime în domeniul offshore,” Ploiesti, 2016.
- [70] Neagu Ionuț Dragoș, „Abordarea experimentală, modelare, simulare numerică, in-situ, în industrie privind precursorii și managementul riscului în diagnoza, mentenanța și fiabilitatea sistemelor/structurilor offshore,” Ploiești, 2017.
- [71] Garcia-Aristizabal Alexander, W. Marzocchi și A. Di Ruocco, „Assessment of hazard interactions in a multi-risk,” European Community’s Seventh Framework Programme, Berlin, 2013.

Nota:

Bibliografia este indexată în ordinea citărilor din textul tezei.