

**UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
FACULTATEA DE INGINERIE MECANICĂ ȘI ELECTRICĂ**



**TEZĂ DE DOCTORAT
- REZUMAT -**

**Contribuții la creșterea siguranței în exploatare a instalațiilor
de limitare și stingere a incendiilor din parcurile de rezervoare
destinate depozitării produselor petroliere**

**Contributions to enhancing the security of operation of fire control and
extinguishing installations for petroleum products storage tanks**

**Conducător științific
Prof. univ. dr. ing. Ioan TUDOR**

**Doctorand
ing. Marin BOBOC**

Ploiești, 2016

Rezumat

Teza de doctorat cu tema „**Contribuții la creșterea siguranței în exploatare a instalațiilor de limitare și stingere a incendiilor din parcurile de rezervoare destinate depozitării produselor petroliere**” a avut drept obiective principale studierea, cercetarea inginerască, alegerea și aplicarea celor mai adecvate metode pentru creșterea siguranței în exploatare a instalațiilor de limitare și stingere a incendiilor din parcurile de rezervoare destinate depozitării produselor petroliere.

Teza de doctorat este structurată în două părți ce cuprind 9 capitole, organizate într-o succesiune logică, pentru tratarea progresivă și argumentată a problemelor ce decurg din domeniul Ingineriei Mecanice referitoare la instalații de limitare și stingere a incendiilor.

Prima parte a tezei, „**Sinteză bibliografică privind securitatea la incendiu în parcurile de rezervoare destinate depozitării produselor petroliere lichide**” cuprinde primele trei capitole.

În *primul capitol*, „**Parcuri de rezervoare destinate depozitării produselor petroliere lichide**” sunt prezentate aspecte referitoare la caracterizarea și condițiile de depozitare a produselor petroliere lichide în rezervoare, precum și echipamentul și activitățile specifice exploatarii rezervoarelor în condiții de siguranță.

În *capitolul II*, „**Securitatea la incendiu în parcurile de rezervoare**” sunt prezentate elemente generale și particularități privind incendiile izbucnite în parcurile de rezervoare, cauze și măsuri de prevenire a incendiilor, date și informații statistice privind incendiile manifestate în acest gen de obiective, precum și modul de identificare și evaluare a riscului de incendiu.

În *capitolul III*, „**Sisteme și instalații cu rol în asigurarea securității la incendiu**” sunt prezentate variante constructive aflate în exploatare ale instalațiilor speciale de detectare, limitare și stingere a incendiilor de lichide combustibile depozitate în rezervoare și procedeele specifice pentru realizarea acestui scop.

Cea de-a *doua parte* a tezei de doctorat, „**Cercetări teoretico-experimentale privind produsele spumante și soluții tehnologice noi pentru modernizarea instalațiilor de limitare și stingere a incendiilor cu spumă**”, cuprinde următoarele șase capitole.

În *capitolul IV*, „**Stingerea incendiilor cu spumă în parcurile de rezervoare**” sunt prezentate instalațiile de limitare și stingere a incendiilor clasice, cu spumă, precum și cele alternative și complementare, pentru rezervoarele de depozitare a produselor petroliere lichide cu capac fix sau flotant și a cuvelor de retenție.

În *capitolul V*, „**Produsele spumante destinate stingerii incendiilor**” sunt prezentate aspecte privind caracteristicile, comportarea și efectele produselor spumante, precum și despre reologia fluidelor.

Capitolul VI, „**Cercetări experimentale privind vâscozitatea produselor spumante**” cuprinde prezentarea încercărilor experimentale efectuate pentru determinarea variației vâscozității în funcție de temperatură.

În *capitolul VII*, „**Cercetarea tensiunilor din rezervorul de spumant**” sunt tratate aspecte privind modernizarea instalațiilor de limitare și stingere aflate în exploatare, caracteristici, dimensionări, experimentări și cercetări prin metoda tensometriei electrice rezistive efectuate asupra rezervoarelor pentru spumant cu membrană elastică.

În *capitolul VIII*, „**Modelarea numerică prin metoda elementelor finite**” este prezentată modelarea numerică prin metoda elementelor finite a rezervorului pentru spumant cu membrană elastică și concluziile rezultate în urma acesteia.

Capitolul IX al tezei cuprinde „**Concluzii generale. Contribuții personale. Direcții noi de cercetare**”, pe care autorul le-a desprins din analiza complexă a problemelor științifice rezultând din tema tezei de doctorat.

Cuvinte cheie: Rezervoare; incendiu; instalație de limitare și stingere a incendiilor; spumant concentrat; vâscozitate; membrană elastică; tensometrie electrică rezistivă; marcă tensometrică; elemente finite.

Cuprins

	Nr. pag. în REZUMAT	Nr. pag. în TEZĂ
Rezumat	2	4
Cuprins	3	6
Preambul	6	19

PARTEA ÎNTÂI

SINTEZĂ BIBLIOGRAFICĂ PRIVIND SECURITATEA LA INCENDIU ÎN PARCURILE DE REZERVOARE DESTINATE DEPOZITĂRII PRODUSELOR PETROLIERE LICHIDE

Capitolul I. PARCURI DE REZERVOARE DESTINATE DEPOZITĂRII PRODUSELOR PETROLIERE LICHIDE	7	22
1.1. Definiere. Caracterizare	7	22
1.2. Activități specifice din depozitul de hidrocarburi	8	23
1.3. Rezervoare de depozitare a produselor petroliere.....	8	24
1.3.1. Rezervoare cilindrice verticale.....	8	24
1.4. Echipamentul destinat exploatarea rezervoarelor în condiții de siguranță.....	8	29
1.5. Amplasarea rezervoarelor cu produse petroliere la presiune atmosferică	8	35
1.6. Conducte din interiorul parcului de rezervoare	9	38
1.7. Protecția contra coroziunii rezervoarelor	9	39
Capitolul II. SECURITATEA LA INCENDIU ÎN PARCURILE DE REZERVOARE	9	41
2.1. Riscurile generate de hidrocarburi. Generalități	9	41
2.2. Caracterizarea generală a produselor lichide inflamabile	10	41
2.3. Atmosfera explozivă din jurul rezervoarelor de hidrocarburi	10	44
2.3.1. Explozia	10	45
2.3.2. Incendiu	10	49
2.4. Elemente generale privind noțiunea de incendiu	10	49
2.4.1. Simbolică și teorii	10	49
2.4.2. Definierea fenomenului. Generalități	11	51
2.4.3. Evoluția și clasificarea incendiilor	11	54
2.5. Particularități ale incendiilor izbucnite în parcurile de rezervoare	11	59
2.5.1. Procesul de încălzire și ardere a lichidelor combustibile	11	59
2.5.2. Caracteristicile incendiilor de lichide combustibile	11	61
2.5.3. Viteza de ardere	12	65
2.5.4. Flăcările lichidelor combustibile	12	66
2.5.5. Repartiția temperaturii în lichid	12	67
2.5.6. Fierberea produselor petroliere	12	70
2.5.7. Efecte asupra vecinătăților	12	72
2.5.8. Produsele rezultate în urma arderii	13	73
2.6. Asigurarea securității obiectivelor, cerință și deziderat	13	74
2.6.1. Relația risc – securitate	13	74
2.6.2. Risc, hazard și vulnerabilitate	13	75
2.6.3. Riscul tehnologic și managementul acestuia	13	76

2.7. Securitatea tehnică	13	77
2.7.1. Domenii caracteristice riscului tehnic/tehnologic	13	78
2.7.2. Factori de risc tehnic/tehnologic	13	79
2.7.3. Procesul de management al riscului	14	80
2.8. Istoric și generalități privind securitatea la incendiu	14	81
2.9. Cauze de incendiu și măsuri de prevenire	14	85
2.10. „Prețul” insecurității la incendiu	14	89
2.11. Identificarea și evaluarea riscului de incendiu	14	93
2.11.1. Date specifice obiectivului	14	93
2.11.2. Evaluarea riscului de incendiu	15	95
Capitolul III. SISTEME ȘI INSTALAȚII CU ROL ÎN ASIGURAREA SECURITĂȚII LA INCENDIU	15	100
3.1. Generalități	15	100
3.2. Detectarea, semnalizarea și alarmarea în caz de incendiu	15	101
3.3. Procedee specifice de limitare și stingere a incendiilor	15	103
3.3.1. Izolarea produselor combustibile de aerul atmosferic	15	105
3.3.2. Răcirea zonei de ardere	15	106
3.3.3. Reducerea temperaturii substanțelor aprinse prin amestecarea maselor de lichid	16	106
3.4. Variante constructive pentru instalațiile de limitare și stingere a incendiilor în parcurile de rezervoare	16	107
3.4.1. Considerații cu caracter general	16	107
3.4.2. Intruziune în istoria sistemelor de stingere cu spumă chimică și implicații actuale	16	109

PARTEA A DOUA

CERCETĂRI TEORETICO-EXPERIMENTALE PRIVIND PRODUSELE SPUMANTE ȘI SOLUȚII TEHNOLOGICE NOI PENTRU MODERNIZAREA INSTALAȚIILOR DE LIMITARE ȘI STINGERE A INCENDIILOR CU SPUMĂ

Capitolul IV. STINGEREA INCENDIILOR CU SPUMĂ ÎN PARCURILE DE REZERVOARE	16	113
4.1. Rezervoare cu capac fix	16	113
4.2. Rezervoare cu capac flotant	17	117
4.3. Cuva de retenție	17	119
4.4. Variante alternative și complementare pentru instalațiile de stingere cu spumă	17	120
4.5. Verificarea și întreținerea instalației	17	122
Capitolul V. PRODUSELE SPUMANTE DESTINATE STINGERII INCENDIILOR	18	123
5.1. Caracteristici ale spumanților și spumelor stingătoare	18	123
5.2. Comportarea spumei la stingerea incendiilor	18	129
5.3. Efectele spumanților concentrați asupra mediului	18	130
5.4. Reologia fluidelor	18	132
5.4.1. Introducere	18	132
5.4.2. Reologie newtoniană	19	133
5.4.3. Reologie neneutroniană	19	134

Capitolul VI. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND VÂSCOZITATEA PRODUSELOR SPUMANTE	19	136
6.1. Descrierea aparatului Brookfield DV-III ULTRA	19	137
6.2. Rezultate experimentale	19	138
6.3. Concluzii	20	140
Capitolul VII. CERCETAREA TENSIUNILOR DIN REZERVORUL PENTRU SPUMANT	21	141
7.1. Încadrarea rezervorului pentru spumant în instalația fixă de limitare și stingere a incendiilor	21	141
7.2. Caracteristici constructive ale rezervoarelor pentru spumant cu membrană elastică	22	145
7.3. Funcționarea rezervoarelor cu membrană	23	150
7.4. Membrana elastică	23	152
7.4.1. Prezentare generală	23	152
7.4.2. Grosimea membranei elastice	23	153
7.5. Cercetări experimentale privind comportarea rezervoarelor cu membrană prin metoda tensometriei electrice rezistive	25	160
7.5.1. Aspecte teoretice privind metoda tensometriei electrice rezistive ...	25	160
7.5.2. Descrierea standului experimental	26	161
7.5.3. Determinări experimentale și rezultate obținute	28	166
7.5.4. Concluzii din interpretarea rezultatelor	31	172
Capitolul VIII. MODELAREA NUMERICĂ PRIN METODA ELEMENTELOR FINITE	31	173
8.1. Modelarea numerică	31	173
8.2. Concluzii desprinse din MEF	35	179
Capitolul IX. CONCLUZII	36	182
9.1. Concluzii generale	36	182
9.2. Contribuții personale	38	184
9.3. Direcții noi de cercetare	38	185
BIBLIOGRAFIE	39	186

N.B. Numerotarea reperelor bibliografice, figurilor, tabelor și formulelor este identică cu cea din teza de doctorat.

PREAMBUL

Evenimentele majore manifestate în trecutul recent, percepute și înțelese de către întreaga opinie publică ca incendii, cu referire în deosebi la cazul din **Clubul Colectiv** situat în Sectorul 4 din București care a avut loc în noaptea de vineri 30 octombrie 2015, într-o fostă hală a fabricii Pionierul, a adus în atenția tuturor, oameni simpli, organe de anchetă, specialiști, jurnaliști, etc. gravitatea consecințelor ce pot să apară în aceste situații și necesitatea existenței și respectării tuturor măsurilor de prevenire și stingere.

Existența victimelor multiple, respectiv **64 de persoane decedate** în acest tragic eveniment, precum și a celor aflați în suferință ca urmare a traumelor provocate, atât la nivel fizic cât și psihic, a generat un val de revoltă civică, materializată și prin conștientizarea de către cei implicați în managementul situațiilor de urgență a obligațiilor și oportunităților de adaptare a cadrului legislativ la situațiile concrete existente în vederea eficientizării instituționale, îmbunătățirii calității serviciilor furnizate către cetățeni și reducerii impactului efectelor situațiilor de urgență asupra comunităților, dar și la responsabilizarea cetățenilor, fie ei clienți sau proprietari de obiective, angajați sau angajatori.

Asigurarea securității la incendiu reprezintă o obligație permanentă, cu caracter public, manifestată la nivel național, la care trebuie să participe atât cetățenii, cât și operatorii economici și instituțiile statului.

Ritmul de dezvoltare a tehnicii și a tehnologiilor de fabricație a fost și este unul deosebit de alert. Pentru producerea de bunuri materiale se folosesc noi materii prime, se experimentează și se implementează noi procese tehnologice și de fabricație, se acordă o mare atenție mecanizării și automatizării proceselor de producție, se modernizează întreprinderile existente.

Industria în general și în particular industria din domeniul petrolului, folosește diferite materii prime și substanțe chimice, cu grade de pericolozitate foarte ridicate din punct de vedere al riscului de incendiu/explozie.

Este evident faptul că datorită necesarului permanent de produse petroliere, frecvența operațiunilor de încărcare – descărcare a rezervoarelor de depozitare este una foarte crescută, ceea ce duce la realizarea condițiilor favorabile de formare a amestecurilor cu potențial exploziv.

Din acest considerent, pentru activitatea de prevenire a incendiilor există o preocupare permanentă pentru studierea, cunoașterea și însușirea proprietăților fizico-chimice ale substanțelor folosite, a pericolului de incendiu pe care îl prezintă, al comportării lor în diferite situații, dar și pentru îmbunătățirea și modernizarea procedurilor, utilajelor și substanțelor folosite în prevenirea și stingerea incendiilor.

Se depun eforturi pentru înlăturarea cauzele de producere a incendiilor, elaborându-se standarde, regulamente, norme și normative care stabilesc condiții speciale pentru prevenirea incendiilor. Dacă totuși acestea se produc, este necesar să existe condițiile necesare pentru limitarea propagării incendiilor și stingerea lor în faza inițială de dezvoltare.

Reprezentanții operatorilor economici și companiilor industriale, precum și autoritatea de reglementare, coordonare și control în domeniul apărării împotriva incendiilor, respectiv Inspectoratul General pentru Situații de Urgență, au sarcina și obiectivul comun de a asigura securitatea la incendiu și prevenirea distrugerilor de bunuri materiale și/sau pierderilor de vieți omenești, la aceasta contribuind în mod semnificativ și instalațiile de limitare și stingere a incendiilor.

În perioadele în care resursele financiare o permit, investitorii recurg la aplicarea măsurilor prevăzute în programele de modernizare a infrastructurii de depozitare, care vizează construirea de noi depozite și modernizarea a cât mai multor din cele existente, considerându-se că o rețea modernă de depozite va ajuta, pe de-o parte, la reducerea costurilor și la creșterea eficienței activităților, dar și la furnizarea către clienți a unor produse la cele mai înalte standarde europene.

Investițiile recente în depozitele din România însumează peste 200 milioane de euro, având ca destinație automatizarea completă a acestora și respectarea normelor și standardelor naționale și europene în domeniu.

Dintre acestea se pot menționa: prevederea rezervoarelor supraterane cu sistem automat de măsurare a volumului și temperaturii; sistem automat de protecție pentru supra-alimentare; sistem fix

de stingere a incendiilor; conectarea la sistemul automat de detecție a scurgerilor și fisurilor; încărcarea produselor în autocisterne și controlul acesteia prin sisteme automatizate; prevederea cu unități de recuperare a vaporilor pentru a minimiza emisiile de hidrocarburi; sisteme de colectare a apei uzate; sistem de protecție împotriva incendiilor prevăzut cu dispozitive automate de alarmare și avertizare în caz de incendiu; sistem de control automat și administrare a procesului tehnologic și a întregii activități din depozit.

În acest context a fost elaborată teza de doctorat. Asigurarea securității rezervoarelor destinate depozitării produselor petroliere este extrem de vastă, iar în cadrul lucrării m-am limitat la studierea și cercetarea instalațiilor de limitare și stingere a incendiilor cu spumă, în scopul creșterii siguranței în exploatare a acestora.

PARTEA ÎNTÂI
SINTEZĂ BIBLIOGRAFICĂ PRIVIND SECURITATEA LA INCENDIU
ÎN PARCURI DE REZERVOARE DESTINATE DEPOZITĂRII
PRODUSELOR PETROLIERE LICHIDE
I. PARCURI DE REZERVOARE
DESTINATE DEPOZITĂRII PRODUSELOR PETROLIERE LICHIDE
1.1. Definiere. Caracterizare

Produsele petroliere sunt considerate amestecurile ce conțin cel puțin 70 % hidrocarburi, rezultate în procesele de rafinare a petrolului brut. Dintre produsele rafinate pot fi amintite: benzinele, motorinele, carburanții de aviație, uleiurile lubrifiante ș.a.

Parcurile de rezervoare destinate depozitării produselor petroliere sunt constituite din mai multe rezervoare, de regulă de același tip, cu capacități egale sau diferite, pentru care este necesară respectarea normelor specifice privind măsurile ce trebuie a fi luate pentru preîntâmpinarea accidentelor, a izolării, limitării și stingerii eventualelor incendii ce pot să apară pe durata de exploatare a acestora.

În tabelul 1.1 sunt prezentate câteva exemple de produse petroliere în stare lichidă la presiunea atmosferică în funcție de clasa, temperatura de inflamabilitate a vaporilor și temperatura de depozitare [66].

**Tabelul 1.1. Clasificarea produselor petroliere lichide
în funcție de temperatura de inflamabilitate**

Clasa lichidului combustibil	Temperatura de inflamabilitate a vaporilor [°C]	Temperatura de depozitare [°C]	Exemple de produse petroliere
I	sub 28	Temperatura ambiantă	Benzină, benzen, gazolină etc.
II	28 - 55		Benzine grele, petrol brut
III	55 - 100	Inferioară, egală sau superioară temperaturii de inflamabilitate	Motorine, uleiuri ușoare, combustibili speciali
IV	peste 100		Uleiuri grele, păcură

După poziția față de nivelul solului, rezervoarele pot fi supraterane, semiîngropate sau îngropate, iar după forma pe care o au pot fi cilindrice verticale, cilindrice orizontale, sferice sau sub forma de picătură.

1.2. Activități specifice din depozitul de hidrocarburi

Activitățile specifice desfășurate în cadrul unui parc de depozitare a produselor petroliere lichide sunt diverse, dintre care cele mai importante sunt:

- primirea produselor prin:
 - o conducte de primire;
 - o cisterne CF și/sau auto;
 - o nave maritime sau barje fluviale;

- depozitarea în rezervoare;
- transvazarea între rezervoare;
- livrarea produselor depozitate.

1.3. Rezervoare de depozitare a produselor petroliere

Rezervoarele pentru depozitarea hidrocarburilor lichide sunt recipiente cu capacități mai mari de 3 m³, de diferite forme și dimensiuni, executate dintr-o gamă variată de materiale, toate lucrând la presiunea atmosferică [60].

1.3.1. Rezervoare cilindrice verticale

De interes pentru teza de doctorat sunt rezervoarele metalice cilindrice verticale, acestea fiind cele mai utilizate la nivel național pentru depozitarea produselor petroliere.

Acestea se execută din virole din tablă de oțel, sudate sau nituite, se montează relativ ușor, sunt considerate economice și își păstrează forma geometrică sub acțiunea solicitărilor date de presiunea hidrostatică. Au capace și funduri plate, conice, bombate sau de forme speciale, fiind prevăzute cu capac fix, capac flotant, ecran flotant sau pernă de gaz inert în spațiul de vapori.

Rezervoarele cilindrice verticale subterane au toate componentele sub nivelul natural al terenului. Acoperirea cu pământ a boltei fosei din beton armat, constituie o metodă curentă de protecție față de agresiunea exterioară termică sau mecanică, în principal dacă acestea conțin produse inflamabile. Grosimea stratului de acoperire este de cel puțin un metru [111]. Asemenea rezervoare sunt specifice sectorului militar.

Rezervoare cilindrice verticale cu capac flotant, sunt rezervoarele al căror capac prevăzut cu flotoare „plutește” la suprafața lichidului depozitat (la creșterea volumului se ridică, iar la micșorarea volumului coboară), fiind un răspuns la necesitatea de a diminua, pe cât posibil, scăpările volatilelor pe parcursul „respirației mari și mici”.

În regiunile cu precipitații abundente, în special sub formă de zăpadă, pentru a evita acumularea acestora și apariția riscului de prăbușire a ecranului flotant, este necesară construirea unui acoperiș exterior, ceea ce duce, în mod evident, la creșterea costurilor de realizare a investiției. Acest tip de rezervor poartă denumirea de **rezervor cilindric vertical cu capac flotant interior** (figura 1.3) [87].

1.4. Echipamentul destinat exploatării rezervoarelor în condiții de siguranță

În vederea exploatării rezervoarelor pentru produse petroliere în condiții de siguranță, cu eliminarea sau reducerea posibilităților de apariție a cauzelor generatoare de riscuri, acestea sunt prevăzute cu echipamente specializate.

Echipamentele sunt standardizate și sunt concepute a avea funcțiuni și destinații preconizate, cu rol bine determinat.

Echipamentul rezervoarelor necesar unei exploatări cât mai sigure rezultă tocmai din efectuarea în siguranță a operațiunilor menționate, acesta fiind compus, în principal din: racorduri de încărcare-descărcare, gură de vizitare, indicator de nivel, instalație de încălzire, gură de lumină, supapă de respirație, supapă hidraulică de siguranță, opritor de flăcări.

1.5. Amplasarea rezervoarelor cu produse petroliere la presiune atmosferică

Cuve de reținere

Fiecare rezervor sau ansamblu de rezervoare din depozitul de hidrocarburi lichide trebuie asociat unei cuve de reținere în care rezervoarele se află la distanțe relative de siguranță. Amplasarea rezervoarelor supraterane ce lucrează la presiunea atmosferică se face în cuve îndiguite, distanța relativă depinzând de volum, diametru și clasa produsului. Distanța de siguranță dintre rezervoarele vecine se măsoară în plan orizontal între mantalele acestora, luându-se în considerare cazul cel mai

defavorabil determinat de diametrul rezervorului (D) și natura produselor depozitate, precum și de tipul de rezervor.

Distanțele minime între rezervoare și alte categorii de obiective din cadrul parcului sunt prezentate în tabelul 1.5 [30].

Tabelul 1.5. Distanțe minime dintre rezervoare și construcțiile învecinate

Obiectivele învecinate	Gradul de rezistență la foc al obiectivului	Distanța dintre obiectivele învecinate și rezervoarele din depozitele de categoria D4 – D7, în m			
		D4	D5	D6	D7
Construcții civile	I – II	30	20	18	16
Construcții industriale și depozite	III	40	25	22	20
Stații de pompare aferente	-	20	15	12	-
Rampe de încărcare/descărcare și linii c.f. de garaj	-	20	15	10	-
Limita terenului	-	15	12	10	8

Tabelul 1.6. Volumul util al cuvei de retenție

Numărul de rezervoare din cuva de retenție	Clasa lichidului depozitat și volumul util al cuvei, în % din capacitatea rezervorului	
	Clasa I și II	Clasa III și IV
1 rezervor	100	100
2 rezervoare	60	50
3 rezervoare sau mai multe	50	40
Depozite PECO	33	33

1.6. Conducte din interiorul parcului de rezervoare

În cadrul unui depozit de hidrocarburi lichide conductele sunt de două categorii:

- conducte tehnologice prin care se asigură manipularea combustibilului;
- conducte de intervenție în caz deversare sau de incendiu.

În cazul aplicării protecției catodice, conductele tehnologice și cele de intervenție sunt prevăzute cu îmbinări electroizolante față de rezervoare.

1.7. Protecția contra coroziunii rezervoarelor

Coroziunea se manifestă în principal electrochimic, în interiorul și în exteriorul rezervorului și conduce la pierderi importante de produs și la intervenții extrem de costisitoare.

Tema tezei nu se referă direct la combaterea coroziunii, fapt pentru care consider necesară prezentarea sumară a posibilităților de protecție, astfel încât pierderile economice să fie minime, afectarea pânzei freatice să fie slabă, dacă nu nulă, iar siguranța în exploatare să fie crescută.

Multe dintre incidentele produse la rezervoare sunt cauzate de coroziune.

Procedeele principale de combatere a coroziunii sunt protecția pasivă prin acoperire și protecția activă prin protecție catodică [62], la care s-ar putea adăuga folosirea inhibitorilor de coroziune. Protecția pasivă constă în acoperirea prin vopsire a suprafețelor exterioare ale rezervorului și placarea interioară, cel puțin a primei virole.

II. SECURITATEA LA INCENDIU ÎN PARCURILE DE REZERVOARE

2.1. Riscurile generate de hidrocarburi. Generalități

Securitatea la incendiu se consideră prioritară încă din faza de alegere și stabilire a locației depozitului de hidrocarburi. Se au în vedere structura instalațiilor ce compun depozitul, inclusiv a rezervoarelor și deservirea și intervențiile asupra acestora în ceea ce privește posibilitatea de producere a exploziei și incendiului.

2.2. Caracterizarea generală a produselor lichide inflamabile

Scopul prelucrării țițeiului și a celorlalte bitumene constă în obținerea de fracțiuni care sunt formate din mai mulți sau mai puțini componenți, în general amestecuri de hidrocarburi care sunt date utilizării în marele consum sau în unele industrii prelucrătoare.

Proprietățile și compoziția acestor fracțiuni, denumite în genere „produse”, sunt determinate de modul de folosință.

Produsele fabricate din țiței sunt folosite mai ales drept combustibili gazoși, lichizi și solizi, iar peste 85% din totalitatea produselor sunt arse în motoare și injectoare. Această utilizare cere ca produsele să îndeplinească anumite condiții de scurgere, de volatilitate, de stabilitate chimică, de aprindere, precum și condiții în ceea ce privește transportul și depozitarea lor.

2.3. Atmosfera explozivă din jurul rezervoarelor de hidrocarburi

Atmosfera explozivă este definită prin HG nr. 752/2004 ca fiind amestecul cu aerul, în condiții atmosferice, a substanțelor inflamabile sub formă de gaze, vapori, ceață sau pulberi în care, după ce s-a produs aprinderea, combustia se propagă în întregul amestec nears.

Energia de aprindere este mică, fiind suficientă cea pe care o are o scânteie electrică sau mecanică, aflată într-o zonă a amestecului gazos în care este îndeplinită condiția de aprindere.

2.3.1. Explozia

Explozia este o reacție exotermică caracterizată prin violența manifestării și rapiditate.

Este însoțită de degajare de căldură, lumină și apariția efectelor mecanice majore.

Reprezintă energia eliberată în urma unei oxidări rapide manifestată în unități de timp de ordinul fracțiunilor de secundă.

Viteza de aprindere în cazul exploziei este de 10÷100 m/s.

O manifestare tipică în cazul exploziilor apărute la rezervoarele destinate depozitării produselor petroliere este formarea *mingii de foc (fireball)* (figura 2.1) [119].

Un caz particular al manifestării exploziei ca efect de domino este cel în care este însoțită de fenomenul BLEVE (BoilingLiquideExpandingVapourExplosion), care poate fi definit ca evaporare violentă, cu caracter exploziv, a rezervorului a cărei temperatură a atins o valoare suficient de ridicată pentru a se produce fierberea produsului la presiunea atmosferică. În cazul multor situații, fenomenul BLEVE poate fi însoțit de proiectarea violentă a combustibilului de către vaporii de apă formați prin încălzirea apei din interiorul rezervorului (fenomenul Boil Over).

2.3.2. Incendiu

Incendiul se produce întotdeauna după aprinderea prin explozie a produselor volatile.

Consecințele producerii incendiului sunt multiple, dintre care mai importante sunt:

- afectarea termică a persoanelor venite în contact cu flacăra sau sub efectul radiației termice;
- propagarea la alte rezervoare și la construcțiile și vegetațiile aflate în vecinătate;
- poluarea pe arii mari a aerului prin fumul degajat și a apei de suprafață prin particulele și substanțele toxice ajunse pe sol.

2.4. Elemente generale privind noțiunea de incendiu

2.4.1. Simbolică și teorii

Încă din cele mai vechi timpuri, oamenii cu fire contemplativă, interesați de a observa și a nota cele mai subtile schimbări ale naturii, au emis diverse teorii privind elementele primordiale/esențiale pentru existența, susținerea și evoluția vieții pe Pământ.

La greci sunt consacrate patru elemente: Apa, Aerul, Focul și Pământul (figura 2.2, a) [131].

La chinezi, există teoria celor cinci elemente, care își are rădăcinile în vremuri străvechi, fiind apărută în perioada dinastiilor Yin și Zhou (sec. XVI – 221 î.e.n.).

Cele cinci elemente se referă la cinci categorii din lumea naturală, și anume: Apa, Lemnul, Focul, Pământul și Metalul (figura 2.2, b) [72].

2.4.2. Definirea fenomenului. Generalități

Definiția, potrivit Dicționarului explicativ al limbii române, este o „*operație logică prin care se determină conținutul unei noțiuni, notele ei esențiale, ...*”.

Astfel, definirea incendiului, devine o adevărată provocare pentru cei interesați în acest sens, existând posibilitatea abordării în funcție de referențial.

Definirea incendiului comportă multiple variante, acestea fiind utile și asociate scopului avut în vedere și contextului de prezentare, respectiv poate fi abordat ca: termen/cuvânt, fenomen, obiect de studiu, temă de cercetare/inovare, aspect juridic, etc.

Termodinamic, incendiul este o reacție chimică exotermă, cu emisie de lumină între oxigenul din aer și elementele chimice combustibile (carbonul, hidrogenul, sulful și combinațiile dintre acestea), care se găsesc în concentrații diferite împreună cu alte componente în substanțele (materialele) combustibile solide, lichide sau gazoase. Emisia de lumină se realizează frecvent sub formă de flacără și/sau incandescență [36].

2.4.3. Evoluția și clasificarea incendiilor

Etapile de evoluție ale unui incendiu fac obiectul multor lucrări de specialitate, din conținutul cărora se poate desprinde în mod clar ideea că, nu există două incendii identice, acestea fiind condiționate în mod evident de către o serie de factori externi, imprevizibili și imposibil de anticipat în condiții reale.

Totuși, sunt general acceptate cele cinci faze ale unui incendiu, desigur, duratele acestora fiind predispuse unor variații generate de intervenția a numeroși factori, precum: forma și dimensiunile încăperii, sarcina termică, deschiderile existente în cadrul elementelor de construcții, tipul materialelor combustibile, dispunerea încăperii în clădire, geometria acesteia, fenomenele ce pot să apară pe parcursul arderii, etc.

2.5. Particularități ale incendiilor izbucnite în parcurile de rezervoare

2.5.1. Procesul de încălzire și ardere a lichidelor combustibile

Lichidele ușor inflamabile și cele combustibile se folosesc în cantități mari în cele mai diferite ramuri industriale, în transporturi ș.a. sub formă de combustibil, lubrifianți, solvenți, materii prime industriale etc. O caracteristică a majorității lichidelor ușor inflamabile și a celor combustibile este originea lor organică, fapt care determină combustibilitatea acestora. În compoziția lichidelor ușor inflamabile și a celor combustibile de origine organică predomină carbonul și hidrogenul, motiv pentru care aceste lichide mai sunt denumite și hidrocarburi.

2.5.2. Caracteristicile incendiilor de lichide combustibile

Capacitățile mari de stocare ale rezervoarelor pentru produse petroliere, cumulate cu proprietățile lichidelor depozitate, generează riscuri majore în cazul intervențiilor de stingere a incendiilor la astfel de facilități. Pentru limitarea și stingerea unor astfel de incendii este necesară alocarea unui număr semnificativ de utilaje, agenți de stingere și personal calificat.

Arderea, în funcție de caracterul evaporării și al formării amestecului de vapori cu aer se poate clasifica astfel:

- arderea lichidului în rezervoare (figura 2.10, a);
- arderea lichidului vărsat/deversat pe un material de altă natură (figura 2.10, b);
- arderea lichidului sub formă de jeturi (figura 2.10, c) [48].

2.5.3. Viteza de ardere

Viteza de ardere a unui lichid pe o suprafață descoperită este determinată de viteza lui de evaporare și se exprimă prin masa sau volumul de combustibil care se evaporă de pe unitatea de suprafață în unitatea de timp.

În cazul arderii lichidului în rezervoare se utilizează viteza liniară de ardere sau viteza de regresie R , în mm/min, exprimată ca, grosimea stratului de lichid h care arde în unitatea de timp, potrivit relației:

$$R = h / \tau_{ardere} . \quad (2.5)$$

Viteza de ardere este influențată de efectul flăcărilor asupra mantalei rezervorului, prin aportul de căldură pe care-l aduce astfel.

2.5.4. Flăcările lichidelor combustibile

Definirea flăcării conform ISO 13943/2008, este: propagarea rapidă, autosuștinută, cu viteză mai mică decât cea a sunetului, a arderii în mediu gazos, cu generare de lumină. Flacăra reprezintă o masă de gaze ce emite radiații electromagnetice ca urmare a reacțiilor chimice cu degajare de căldură ce produc creștere bruscă a temperaturii [25].

Influențată de proprietățile lichidelor combustibile, zona luminoasă a flăcării poate ajunge la temperaturi de $1000 \div 1300$ °C.

2.5.5. Repartiția temperaturii în lichid

Arderea lichidului la suprafața acestuia, duce la apariția stratificării pe verticală a maselor de lichid aprins.

Creșterea grosimii stratului încălzit S cu timpul se poate calcula, la prima aproximație, cu formula:

$$S = V_m \cdot \tau \quad (2.7)$$

în care:

V_m – viteza medie de încălzire a lichidului respectiv;

T – timpul socotit de la începutul formării stratului încălzit.

2.5.6. Fierberea produselor petroliere

Manifestarea arderii în rezervoare este imprevizibilă, respectiv de la o ardere inițială relativ calmă poate să apară o intensificare a acesteia, dimensiunile flăcărilor cresc brusc, cu proiectarea peste mantaua rezervorului a unei mari cantități de lichid aprins.

Un fenomen rar întâlnit este erupția care să ia caracterul unei explozii puternice. Fenomenul de deversare, mai mult sau mai puțin calmă, a țigeliului poartă denumirea de fierberea țigeliului.

2.5.7. Efecte asupra vecinătăților

Având în vedere temperaturile foarte mari care se manifestă ca urmare a arderii produselor petroliere depozitate în rezervoare, efectele asupra vecinătăților pot fi majore, transferul termic făcându-se prin conducție, convecție și radiație.

Efecte asupra vecinătăților pot să apară și ca urmare a producerii unei explozii la nivelul rezervorului, care poate duce la producerea undei de viitură sub forma unei cantități impresionante de lichid aprins care este deversată în cuva de retenție, cu posibilitatea depășirii sau ruperii digului de protecție (figura 2.15, *a* și *b*) [71,85].

2.5.8. Produsele rezultate în urma arderii

Pe durata unui incendiu rezultă anumite produse de ardere și de descompunere. În general, acestea sunt părți componente ale fumului.

Pe timpul incendiilor, în funcție de substanțele/materialele care ard, poate fi necesară prelevarea de probe din produsele rezultate în urma arderii, analizarea acestora și a riscurilor de mediu pe care le prezintă.

2.6. Asigurarea securității obiectivelor, cerință și deziderat

2.6.1. Relația risc - securitate

Prin considerarea înțelesurilor uzuale ale termenilor *risc* și *securitate*, se poate afirma că securitatea este starea unui sistem în care riscul de realizare a unui eveniment este zero.

Astfel, securitatea și riscul sunt două noțiuni opuse, iar existența uneia dintre ele presupune excluderea celeilalte.

2.6.2. Risc, hazard și vulnerabilitate

Întrucât experiența a dovedit că producerea situațiilor de urgență este o certitudine, indiferent de nivelul măsurilor dispuse și implementate, este necesar a se acționa în sensul cunoașterii manifestărilor tipice ale acestora, în scopul gestionării corecte pentru reducerea consecințelor.

2.6.3. Riscul tehnologic și managementul acestuia

Exploatarea sistemelor în condiții de siguranță este o condiție esențială.

Cele patru elemente tipice ale funcționării sistemelor sunt: disponibilitate, fiabilitate, securitate și mentenanță. Identificarea, evaluarea și ierarhizarea consecințelor posibilelor avarii sunt aspecte de natură să stabilească care pot fi avariile majore.

2.7. Securitatea tehnică

Securitatea tehnică poate fi exprimată ca mărimea inversă a riscului tehnic.

Pentru securitatea tehnică și riscul tehnic există diverse exprimări, atât din punct de vedere calitativ, cât și cantitativ. O exprimare cantitativă a riscului tehnic poate fi: probabilitatea de producere în sistem a unei avarii majore. Securitatea tehnică reprezintă probabilitatea ca în cadru unui sistem să nu se producă o avarie major.

2.7.1. Domenii caracteristice riscului tehnic/tehnologic

Pentru evaluarea nivelului consecințelor este necesară stabilirea unei scări de apreciere a gravității.

În general, pentru riscul tehnic sunt exprimate următoarele domenii:

- zona riscului neglijabil (avarii minore caracterizate prin frecvență și consecințe reduse);
- zona riscului acceptabil (avarii minore cu frecvență ridicată sau avarii majore cu frecvență redusă);
- zona riscului inacceptabil (avarii majore cu frecvență ridicată).

2.7.2. Factori de risc tehnic/tehnologic

Factorii de risc asociați unui sistem tehnic pot fi clasificați în funcție de fazele realizării și exploatării acestuia.

Toate erorile înmagazinate în cadrul unui sistem tehnic/tehnologic se acumulează în mod progresiv și generează uneori riscuri care nu au fost prevăzute.

Factorii de risc tehnic sunt interdependenți și interacționează între ei.

2.7.3. Procesul de management al riscului

În structura managementul decizional, managementul riscului este privit ca un proces complex, de suport.

Informațiile desprinse din activitatea de management al riscului este necesară și utilă în procesul de analiză efectuat în cadrul managementului general din cadrul unui obiectiv.

Managementul riscului este caracterizat prin capacitatea factorului uman de a analiza informații, a comunica și a propune soluții eficiente pentru bunul mers al organizației.

2.8. Istoric și generalități privind securitatea la incendiu

Noțiunile *risc de incendiu* și *securitate la incendiu* au început să prezinte interes pentru deținătorii diferitelor tipuri de afaceri, la nivel internațional, începând cu anii 1960, ca o necesitate și totodată ca o reacție la numărul tot mai mare de incendii și a gravității consecințelor acestora.

Din aceste considerente, societatea modernă a investit în cercetarea și găsirea unor metode eficiente de reducere a riscului de incendiu. Acest lucru se traduce prin implementarea cerinței fundamentale securitate la incendiu.

Prin sintagma „*securitate la incendiu*” ne referim în principal la condițiile privind amplasarea construcțiilor, performanțele de comportare la foc a structurilor și a produselor pentru construcții, a instalațiilor aferente clădirilor și de protecție împotriva incendiilor, în cazul producerii unui asemenea eveniment.

2.9. Cauze de incendiu și măsuri de prevenire

NFPA 921 Guid for Fire and Explosion Investigations, ed. 2008, clasifică cauzele în patru mari categorii: intenționate (arson), neintenționate (accidentale), naturale (cauze tehnice) și nedeterminate [25].

Principalele cauze care pot provoca aprinderea la depozitele de produse petroliere sunt:

- o focul deschis; scânteile; autoaprinderile; electricitatea statică și atmosferică.

2.10. „Prețul” insecurității la incendiu

La nivel internațional CTIF International Association of Fire and Rescue Services pe baza datelor oficiale comunicate din partea statelor afiliate realizează o prezentare statistică a incendiilor și a consecințelor acestora, pe anumite criterii considerate de interes [80].

Numărul mediu de incendii pe an comunicat din partea României pentru perioada 2010 – 2014 este de 27734.

Pentru o populație de 20.121.000 cetățeni declarați din partea României a fost comunicat un număr mediu de 231 decese/an cauzate de incendii pentru perioada 2010 – 2014.

2.11. Identificarea și evaluarea riscului de incendiu

Pentru stabilirea importanței și a necesității existenței și funcționării corespunzătoare a instalației de limitare și stingere a incendiilor la parcurile de rezervoare pentru produse petroliere se efectuează o evaluare a riscului de incendiu pentru un depozit real, cu mențiunea că datele de identificare exacte nu pot fi furnizate din motive de confidențialitate.

2.11.1. Date specifice obiectivului

Parcul de rezervoare se întinde pe o suprafață de 7395,17 m² și este compus din cinci rezervoare amplasate pe o platformă acoperită cu pietriș, fără să fie prevăzute cu cuvă de retenție.

Dimensiunile rezervoarelor sunt precizate în tabelul 2.7.

2.11.2. Evaluarea riscului de incendiu

Întrucât aplicarea la rezervoarele de produse petroliere a metodei matematice de evaluare a riscului de incendiu prezintă unele dificultăți în cuantificarea factorilor specifici și în relaționarea acestora, nefiind agreat în acest sens un ghid specific, ceea ce duce la rezultate influențate de erori, pentru evaluarea gradului de protecție împotriva incendiilor se apelează la Metoda CHECK-LIST.

III. SISTEME ȘI INSTALAȚII CU ROL ÎN ASIGURAREA SECURITĂȚII LA INCENDIU

3.1. Generalități

Incendiile manifestate într-un astfel de mediu deosebit de ostil din punct de vedere al organizării și realizării intervenției forțelor specializate, coroborat cu eventuale condiții meteorologice defavorabile, cum ar fi intensificări ale vântului cu schimbări de direcție ale acestuia, pot fi ușor scăpate de sub control, ceea ce, din considerentul pierderilor directe materiale, se poate materializa prin propagarea incendiului și la alte rezervoare.

3.2. Detectarea, semnalizarea și alarmarea în caz de incendiu

Un rol esențial în realizarea unei intervenții operative pentru limitarea și stingerea unui incendiu, și în cazul rezervoarelor de depozitare a produselor petroliere, este reprezentat de detectarea, semnalizarea și alarmarea incipientă a acestuia.

Deoarece încă nu există un detector „universal” de incendiu, care să reacționeze la fel de bine la toate tipurile de ardere, recunoașterea timpurie a incendiilor implică stabilirea optimă a mărimilor specifice și, bazându-ne pe caracteristica de răspuns a fiecărui tip de detector, luarea corectă a deciziei de alegere.

Varianta constructivă este cu atât mai eficientă dacă detectorul este conectat la un dispozitiv special de stingere cu spumă, cu declanșare rapidă, care să ducă la izolarea flăcării de aerul atmosferic.

3.3. Procedee specifice de limitare și stingere a incendiilor

În cazul rezervoarelor, în funcție de caracteristicile produselor petroliere depozitate, principalele metode de limitare și stingere obligatoriu a fi luate în calcul sunt: izolarea produselor combustibile de aerul atmosferic; răcirea zonei de ardere; reducerea temperaturii substanțelor aprinse prin amestecarea maselor de lichid.

Proprietățile substanțelor de stingere acționează simultan asupra focarului prin combinarea procedeelelor de stingere: izolarea combustibilului față de aerul atmosferic și răcirea.

3.3.1. Izolarea produselor combustibile de aerul atmosferic

Stingerea se realizează prin eliminarea uneia dintre condițiile de susținere a procesului de ardere, acționând asupra concentrației amestecului de vapori combustibili cu aerul, prin izolarea substanțelor combustibile de aerul atmosferic.

Izolarea substanțelor combustibile de aerul atmosferic se realizează prin acoperirea acestora cu substanțe speciale, care trebuie să aibă proprietăți adecvate lichidelor asupra cărora se acționează.

3.3.2. Răcirea zonei de ardere

Cel mai uzual agent de stingere utilizat pentru răcirea zonei de ardere este apa, având în vedere, pe de o parte că este substanța de stingere cel mai la îndemână și cu costuri scăzute, iar pe de altă parte prin vaporizare extrage o mare cantitate de căldură din zona de ardere, având căldura latentă de vaporizare mare, respectiv 243,58 J la 25 °C.

3.3.3. Reducerea temperaturii substanțelor aprinse prin amestecarea maselor de lichid

Amestecarea straturilor de lichid se realizează prin circulația acestuia sau cu ajutorul aerului sau a gazelor inerte introduse pe la fundul rezervoarelor (figura 3.2) [106].

La introducerea aerului sub stratul de lichid, în acesta apar curenți a căror intensitate este determinată de dimensiunile geometrice ale sistemului, de debitul de aer și de proprietățile fizice ale lichidului. Experimental s-a stabilit faptul că, caracterul mișcării depinde de înălțimea stratului de lichid din rezervor și de diametrul acestuia.

3.4. Variante constructive pentru instalațiile de limitare și stingere a incendiilor în parcurile de rezervoare

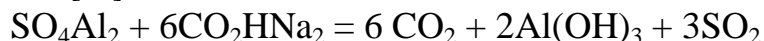
3.4.1. Considerații cu caracter general

Constructiv, instalațiile de limitare și stingere a incendiilor sunt fixe, semifixe și mobile (figura 3.3) [90].

În funcție de modul de punere în funcțiune a acestora, instalații pot fi cu acționare manuală sau automată. Pentru punerea în funcțiune în mod automat, instalația trebuie să fie conectată la un sistem de semnalizare a incendiilor, în scopul detectării acestuia încă din fază incipientă.

3.4.2. Intruziune în istoria sistemelor de stingere cu spumă chimică și implicații actuale

Spumele chimice erau obținute prin dispersarea cu ajutorul bioxidului de carbon în soluții apoase de produse chimice ce pot reacționa, cele mai cunoscute fiind soluțiile apoase de bicarbonat de sodiu și sulfat de aluminiu [23].



Întrucât bulele de spumă chimică conțineau bioxid de carbon, acestea erau eficiente în stingerea incendiilor, deoarece prin spargerea acestora se realiza în zona de ardere un mediu inert, impropriu susținerii acesteia.

Unul dintre obiectivele tezei de doctorat este de a propune o soluție viabilă pentru înlocuirea acestor instalații și realizarea pe această cale a unei protecții reale a rezervoarelor pe care le echipează.

PARTEA A DOUA **CERCETĂRI TEORETICO-EXPERIMENTALE PRIVIND** **PRODUSELE SPUMANTE ȘI SOLUȚII TEHNOLOGICE NOI** **PENTRU MODERNIZAREA INSTALAȚIILOR DE** **LIMITARE ȘI STINGERE A INCENDIILOR CU SPUMĂ**

IV. STINGEREA INCENDIILOR CU SPUMĂ **ÎN PARCURILE DE REZERVOARE**

4.1. Rezervoare cu capac fix

Instalațiile fixe de stingere a incendiilor cu spumă a rezervoarelor se compun, în principal, din (figura 4.1) [98]:

- instalații de alimentare cu apă; pompe pentru apă; recipiente pentru spumant; pompe pentru spumant; conducte pentru soluție spumantă; generatoare de spumă cu insuflare de aer; dozatoare; deversoare de spumă; dispozitive de automatizare și control.

Instalațiile de stingere cu spumă introdusă pe la partea inferioară a rezervorului asigură ajungerea la suprafața incendiată a întregii cantități de spumă și răcirea stratului de combustibil de la suprafață.

4.2. Rezervoare cu capac flotant

Pentru protecția rezervoarelor cu capac flotant, deversarea spumei se realizează pe contur, în zona inelului de etanșare. Ca și amplasare, deversoarele se prevăd deasupra celei mai înalte poziții posibile a capacului flotant.

Pentru eficiența stingerii este necesară realizarea unei anumite grosimi și lățimi a stratului de spumă pentru a asigura stabilitatea acesteia și a evita descompunerea termică, precum și curgerea liberă a acesteia fără obstacole.

Soluția tehnică adoptată este instalarea unui dig pentru reținerea spumei deasupra capacului flotant, în zona de etanșare, cu o distanță între partea superioară a digului de spumă și partea superioară a corpului rezervorului față de nivelul maxim admis de umplere al rezervorului de minimum 500 mm (figura 4.6).

4.3. Cuva de retenție

Instalațiile de stingere pentru cuvele de retenție pot fi fixe sau semifixe, iar componentele lor se montează în afara zonelor pe care le deservesc, în scopul evitării deteriorării fizice pe timpul incendiului. Deversarea spumei în cuva de retenție trebuie începută imediat după demararea incendiului.

Inerția, durata tuturor operațiilor de punere în funcțiune a instalațiilor acționate manual, exprimată ca durata de timp necesară din momentul declanșării incendiului până la debitarea spumei prin cel mai înalt deversor de spumă în zona protejată, este necesar să fie sub 15 minute la parcurile de rezervoare.

4.4. Variante alternative și complementare pentru instalațiile de stingere cu spumă

Este cunoscut faptul că în cazul rezervoarelor cu capac flotant, în zona garniturii de etanșare se acumulează vapori ai lichidului depozitat, ceea ce reprezintă una dintre principalele amenințări pentru declanșarea unui incendiu sau producerea unei explozii. Dacă prin garnitura de etanșare au loc pierderi de vapori, acestea în contact cu rugina și aerul pot forma amestecuri piroforice. Reacția este profund exotermică și poate degaja suficientă energie pentru constitui cauza de inițiere a unui incendiu.

Prin urmare, a devenit necesară realizarea unui sistem care să asigure detectarea și suprimarea incendiului încă din faza de inițiere, astfel încât să se evite o dezvoltare ulterioară cu efecte dezastruoase, utilizând agentul de stingere potrivit.

Pentru realizarea unei eficiențe crescute a procesului de stingere, au mai fost dezvoltate și testate soluții combinate de stingere, cum sunt:

- sistem de stingere cu spumă și sistem de stingere cu pulbere;
- sistem de stingere cu spumă și sistem de stingere cu gaze inerte (acționează prin reducerea conținutului de oxigen în zona de ardere);
- sistem de stingere cu spumă și sistem de stingere cu generatoare de aerosoli (acționează prin scăderea temperaturii în zona de ardere).

4.5. Verificarea și întreținerea instalației

Instalația fixă de stingere cu spumă presupune siguranță și disponibilitate permanentă în caz de intervenție. Aceste condiții impun efectuarea periodică a verificării tehnice a bunei funcționării a amestecătoarelor, dozatoarelor, distribuitoarelor, deversoarelor, recipientelor cu produs spumant concentrat, rețelelor de conducte, armăturilor, pompelor etc. Cel puțin anual se efectuează revizia tehnică a întregii instalații [91], când se procedează la înlocuirea sau repararea componentelor ce nu corespund condițiilor normale de funcționare. Revizia tehnică se consideră efectuată dacă la probele la care este supusă instalația aceasta corespunde normei tehnice de utilizare.

V. PRODUSELE SPUMANTE DESTINATE STINGERII INCENDIILOR

5.1. Caracteristici ale spumanților și spumelor stingătoare

Proprietățile determinante ale spumelor pentru a asigura eficiența stingerii sunt: coeficientul de înfoiere, persistența/stabilitatea, aderența/vâscozitatea și dispersia. Totuși, pe lângă acestea, capacitatea de stingere mai depinde și de condițiile în care se folosește spuma, de proprietățile și temperatura lichidului care arde. Gradul de înfoiere (GF) se stabilește ca raport între volumul produsului spumant și volumul soluției obținut după preparare. Cu cât gradul de înfoiere este mai mare cu atât spuma obținută are o densitate aparentă mai scăzută și distanța la care poate fi trimisă este mai mică.

5.2. Comportarea spumei la stingerea incendiilor

La stingerea incendiilor, spuma se scurge pe suprafața combustibilului suferind multiple modificări care, în ultimă instanță, se reduc la o distrugere intensă a spumei, în timpul căreia din ea se separă lichidul care pătrunde în profunzimea lichidului aprins.

Agentul de stingere formează o zonă de izolare a produsului combustibil. Transferul de căldură nu se mai realizează, procesul de evaporare scade în intensitate, straturile superioare ale lichidului aprins încep să se răcească. Toate acestea concură la oprirea reacțiilor în lanț și previn reaprinderea incendiului (figura 5.2) [86].

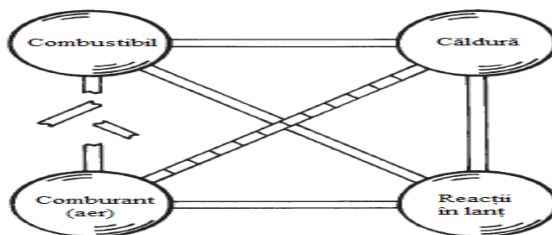


Figura 5.2. Mecanismul de acțiune al spumei pentru stingerea incendiilor
– izolarea și răcirea zonei de ardere

5.3. Efectele spumanților concentrați asupra mediului

În vederea creșterii eficienței la stingerea incendiilor au fost create produse de stingere în compoziția cărora există anumiți componenți care prezintă riscuri majore pentru mediul înconjurător. Printre produsele de stingere a incendiilor, cu efecte negative asupra mediului se numără și unii dintre spumanții concentrați.

Clorofluorocarburile (CFC) și hidroclorofluorocarburile (HCFC) au fost interzise la comercializare și utilizare prin Protocolul de la Montreal [97].

Pentru înlocuirea acestora, la începutul anilor '90 au fost utilizate la scară largă, substanțe chimice obținute în mod artificial, precum (HFC, PFC și SF₆).

Potrivit compoziției chimice, acestea au fost denumite gaze fluorurate.

5.4. Reologia fluidelor

5.4.1. Introducere

Reologia se ocupă cu studiul comportării fluidelor în timpul curgerii.

În sensul cel mai larg, reologia reprezintă o ramură a fizicii care studiază deformarea, inclusiv curgerea corpurilor. Potrivit acestei definiții, ea acoperă domeniile și ale unor științe deja independente: hidrodinamica și aerodinamica fluidelor teoria elasticității, teoria plasticității și chiar metalurgia.

Lichidele și solidele se împart în două profiluri importante reologice: *newtoniene* și *nenewtoniene*. Proprietățile reologice se împart în două categorii: proprietăți esențiale care pot fi descrise de ecuațiile de transformare ale sistemelor respective (ex.: *vâscozitatea dinamică*), și proprietăți tehnologice care nu pot fi parametrizate cu ecuații reologice dar pot fi studiate cantitativ.

5.4.2. Reologie newtoniană

Comportarea curgerii unor lichide precum apa, alcoolul, glicerina, etc., se încadrează în categoria reologiei newtoniene. Curgerea lichidului are loc în straturi care se deplasează cu viteze diferite (figura 5.4).

Pentru studierea variației vâscozității cu temperatura pot fi folosite diferite variante de vâscozimetre, precum: vâscozimetrul Höppler, vâscozimetre cu extrudare capilară Ubbelohde și Ostwald, vâscozimetrul Engler.

5.4.3. Reologie nnewtoniană

Nu toate lichidele și semisolidurile încep să curgă atunci când este aplicată o tensiune de forfecare și nici nu au o vâscozitate constantă o dată cu creșterea tensiunii de forfecare. Astfel, inclusiv unii dintre spumații concentrați destinați stingerii incendiilor se încadrează în reologia nnewtoniană.

Vâscozitatea lichidelor nnewtoniene se poate măsura folosind vâscozimetrul *Rheotest*. Instrumentul are un sistem de doi cilindri coaxiali: cel exterior conține lichidul, cel interior, care se introduce în lichid, se rotește cu viteză constantă. Rotirea acestuia este controlată (fiind proporțională cu viteza de forfecare) și citirea pe scală ne conduce la tensiunea de forfecare.

VI. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND VÂSCOZITATEA PRODUSELOR SPUMANTE

Determinarea vâscozității produselor spumante destinate stingerii incendiilor a fost efectuată în cadrul Laboratorului de încercări la foc din Centrul Național pentru Securitate la Incendiu și Protecție Civilă, cu sprijinul și prin amabilitatea și bunăvoința personalului specializat, în calitate de laborator acreditat de către RENAR – Asociația de Acreditare din România.

A fost utilizat vâscozimetrul Brookfield DV-III Ultra.

Încercările au avut ca scop stabilirea variațiilor vâscozității în funcție de temperatură. Au fost alese pentru determinări un număr de 4 produse: unul pseudoplastic Filfoam A 836 și trei newtoniene Filfoam 916 Kerr, Profoam 806 G, Fluorofoam 806.

6.1. Descrierea aparatului Brookfield DV-III ULTRA

Vâscozimetrul Brookfield DV-III Ultra (figura 6.1) permite studiul comportării la curgere a fluidelor dependente sau independente de timp prin înregistrarea reogramelor de curgere și calculul caracteristicilor reologice ale fluidelor (vâscozitatea aparentă, coeficientul de consistență, indicii de comportare la curgere, efortul de curgere, coeficientul tixotropic), precum și determinarea influenței temperaturii asupra comportării la curgere.

6.2. Rezultate experimentale

Prin efectuarea încercărilor experimentale pentru 4 spumați concentrați cu Vâscozimetrul Brookfield DV-III Ultra, la temperaturile de 15, 20 și 25°C, au fost obținute valori ale vâscozității dinamice înscrise în tabelul 6.1 pentru spumant pseudoplastic, respectiv în tabelul 6.2 pentru spumați newtonieni. În figurile 6.2 și 6.3 sunt reprezentate variațiile vâscozității în funcție de temperatură.

Tabelul 6.1. Valori ale vâscozității în funcție de temperatură

Produs spumant	Temperatura °C	Vâscozitatea cP
Filfoam A 836	15	1800
	20	1660
	25	1000

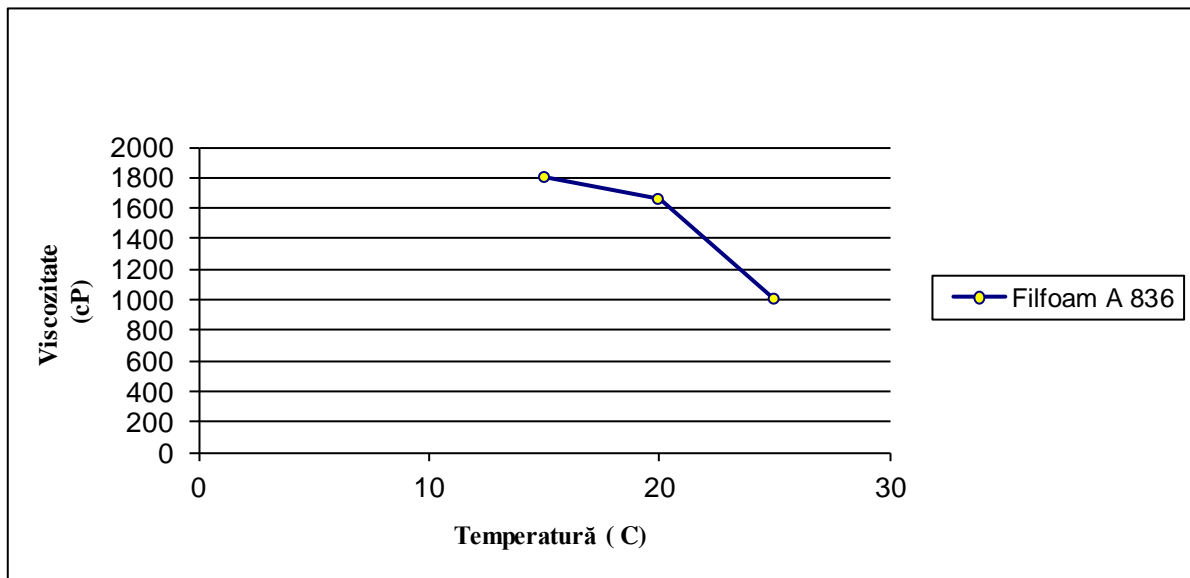


Figura 6.2. Variația vâscozității în funcție de temperatură pentru spumant pseudoplastic

Tabelul 6.2. Valori ale vâscozității în funcție de temperatură

Produs spumant	Temperatura °C	Vâscozitatea cP
Filfoam 916 Kerr	15	4,9
	20	4,6
	25	4,1
Profoam 806 G	15	12
	20	11
	25	10
Fluorfoam 806	15	6,8
	20	6,3
	25	6

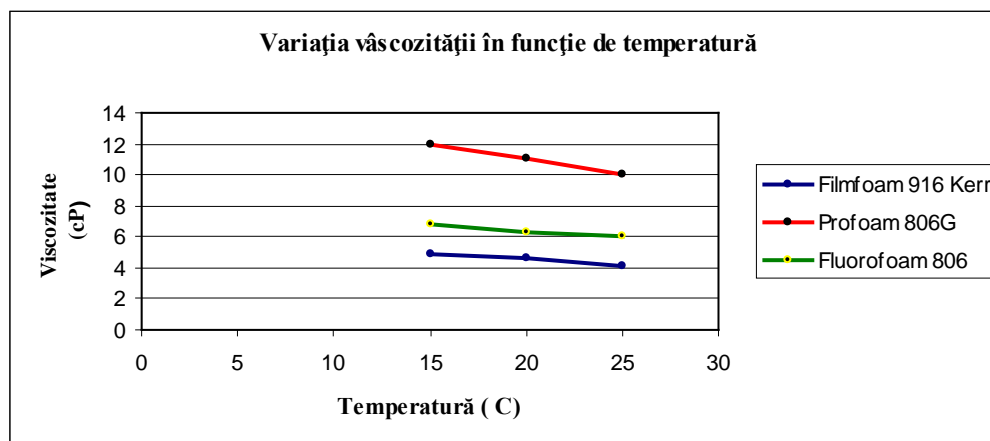


Figura 6.3. Variația vâscozității în funcție de temperatură pentru spumânți newtonieni

6.3. Concluzii

Rezultatele încercărilor experimentale pot fi interpretate astfel:

1. Produsul Filfoam A 836 se comportă ca un lichid pseudoplastic a cărui vâscozitate scade neliniar la creșterea temperaturii. La temperatura de 25 °C vâscozitatea scade la aproximativ jumătate față de vâscozitatea de la 20 °C.

Această constatare practică indică necesitatea aplicării unor presiuni mărite la temperaturi scăzute pentru a asigura același debit. Totodată, înainte de utilizare lichidele pseudoplastice se recomandă a fi expuse unei fluidizări prin agitare. După încetarea agitării, în scurt timp vâscozitatea revine la o valoare apropiată de cea neagitată dacă n-a intervenit ruperea lanțurilor intermoleculare.

2. Produsele Filmfoam 916 Kerr, Profoam 806G și Fluorofoam 806 fac parte din categoria produselor newtoniene a căror vâscozitate scade liniar cu creșterea temperaturii.

Prin creșterea temperaturii de la 15 °C la 25 °C, vâscozitatea produsului Filmfoam 916 Kerr ajunge la 83,3 %, a produsului Profoam 806G la 85,7 %, iar a produsului Fluorofoam 806 la 80,0 %. De această scădere de vâscozitate trebuie să se țină seama la prepararea spumei.

VII. CERCETAREA TENSIUNILOR DIN REZERVORUL PENTRU SPUMANT

7.1. Încadrarea rezervorului pentru spumant în instalația fixă de limitare și stingere a incendiilor

Întrucât în parcurile de rezervoare pentru depozitarea produselor petroliere continuă să existe instalații de limitare și stingere a incendiilor uzate fizic și moral, este necesară modernizarea și reabilitarea acestor facilități pentru asigurarea unui nivel corespunzător de protecție reală, îndeplinirea cerințelor legale de funcționare și pentru satisfacerea exigențelor societăților de asigurare.

În funcție de caracteristicile obiectivului și de posibilitățile concrete de modernizare, propun următoarele soluții:

- reconsiderarea ipotezelor de dimensionare și reducerea numărului de amestecătoare în linie;
- transformarea acestora în mini-stații centrale, cu rezervor pentru spumant cu membrană elastică și dozator automat cu debit variabil, eliminând toate amestecătoarele în linie (figura 7.2) [120].

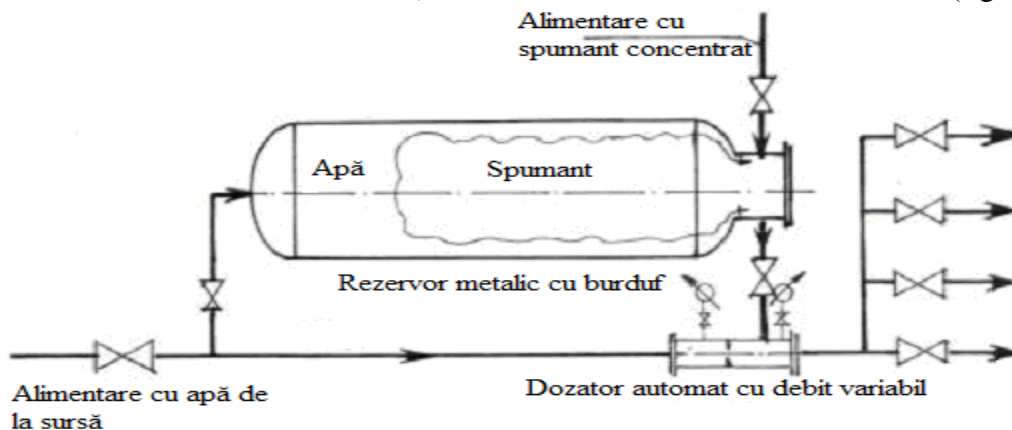


Figura 7.2. Mini-stație centrală, cu vas de spumant cu membrană elastică și dozator automat cu debit variabil

Acest aspect constituie și obiectul principal de studiu și de cercetare al temei de doctorat.

Eficientizarea și totodată creșterea siguranței în exploatare a instalațiilor se poate realiza prin echiparea stațiilor existente cu echipamente moderne, care elimină pompele pentru spumant și dozatoarele automate cu valve diferențiale.

Dozarea se poate realiza utilizând energia potențială a apei de incendiu și dozatoare automate cu debit variabil. Acestea nu au piese în mișcare și nu necesită reglaje.

Durata de timp necesară din momentul declanșării incendiului până la debitarea spumei prin cel mai înalt deversor de spumă în zona protejată reprezintă inerția sistemului determinată de durata tuturor operațiilor de punere în funcțiune a instalațiilor.

Sistemul propus permite automatizarea punerii în funcțiune și reducerea inerției sistemului, fiind necesară deschiderea unui singur robinet.

Rezervoarele pentru spumant cu membrană elastică, componentă esențială a schemei de modernizare abordată în cadrul cercetărilor, pot fi construite, în funcție de cantitățile de substanță de stingere necesară, condițiile de amplasare, etc. în varianta rezervor cilindric orizontal pe suport și (figura 7.3, a) sau rezervor cilindric vertical pe picioare (figura 7.3, b) [89].



Figura 7.3. Variante constructive pentru rezervoare cu membrană

a – rezervor cilindric orizontal pe suport șă; *b* – rezervor cilindric vertical pe picioare

Pentru funcționarea corectă nu este necesară o forță externă, alta decât forța apei utilizată pentru limitarea și stingerea incendiului, provenită de la sursa de alimentare prin grupul de pompare.

Membrana permite ca presiunea apei să fie transferată la spumantul concentrat, fără ca aceste două fluide să se amestece. Un dozator de spumă generează o scădere a presiunii apei pe unde trece fluxul de apă. Imediat ce presiunea spumantului concentrat este mai mare decât presiunea apei în interiorul dozatorului de spumant, spumantul va fi dozat în fluxul de apă într-un raport prestabilit.

Principalele avantaje ale utilizării rezervoarelor pentru spumant cu membrană elastică în instalațiile de limitare și stingere a incendiilor cu spumă sunt:

- reducerea costurilor instalației prin eliminarea pompelor pentru spumant;
- intrarea în funcțiune a instalației imediat după începerea refulării apei;
- existența unui sistem fiabil de dozare cu spumant;
- poate fi utilizat pentru protecție la riscuri multiple;
- poate fi prevăzut cu găuri de fixare ceea ce face ușoară instalarea;
- poate fi prevăzut cu o gamă largă de conducte preinstalate;
- poate fi accesoriizat cu materiale și opțiuni diverse, în funcție de aplicație.

7.2. Caracteristici constructive ale rezervoarelor pentru spumant cu membrană elastică

Rezervoarele pentru spumant cu membrană elastică sunt recipiente sub presiune și se încadrează pentru a fi proiectate conform SR EN 13445-3 Recipiente sub presiune nesupuse la flacără. Partea 3: Proiectare.

Corpul rezervorului poate fi construit din oțel carbon sau opțional din alte materiale cum este, de exemplu, oțelul inoxidabil.

Variante tipice de oțeluri din care poate fi fabricat corpul rezervorului sunt S235, S275 și S355, în care partea numerică reprezintă valoarea minimă a rezistenței la curgere pentru grosimi <16 mm, exprimată în N/mm².

Corpul rezervorului se realizează prin sudare electrică automată, în care instalația autoreglează parametrii regimului de sudare și poziția relativă a elementelor metal de adaos și metal de bază, fiind prevăzută cu circuit de reacție pentru asigurarea stabilității procesului.

Presiunea de proiectare a rezervoarelor cu membrană este de 12 bar, iar presiunea de testare este de 17 bar.

7.3. Funcționarea rezervoarelor cu membrană

În figura 7.7 este prezentat schematic principiul de funcționare a rezervorului vertical cu membrană.

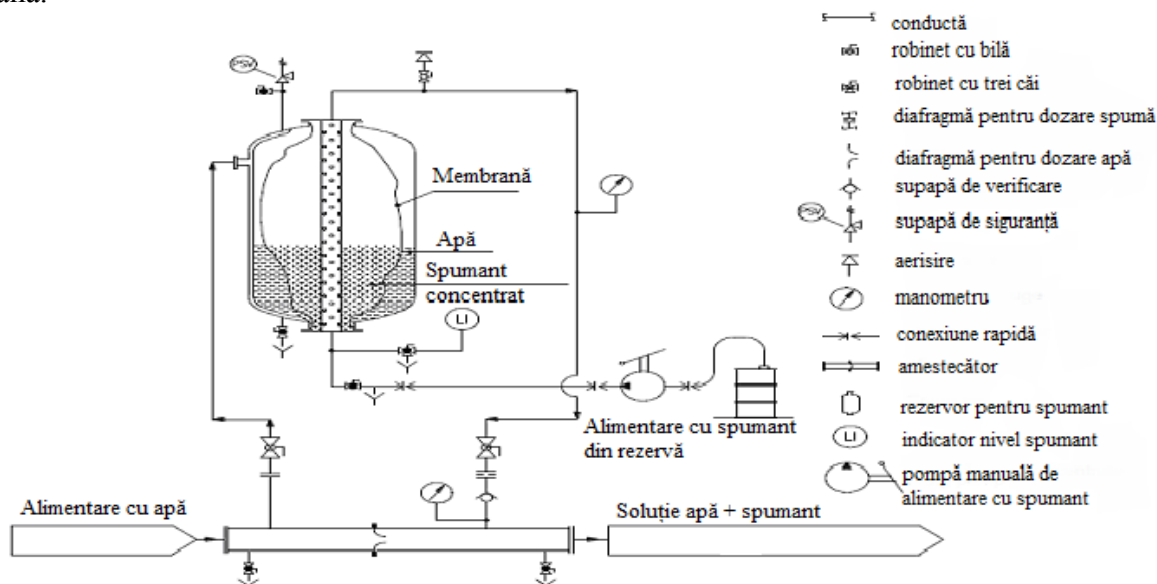


Figura 7.7. Schema principiului de funcționare a rezervorului vertical cu membrană

7.4. Membrana elastică

7.4.1. Prezentare generală

Membrana elastică din interiorul rezervorului metalic are rolul de a asigura depozitarea propriu-zisă a spumantului concentrat, precum și separarea între apă și spumant.

Urmare a forțelor exercitate de presiunea apei introdusă între mantaua metalică a rezervorului și membrana elastică, aceasta din urmă se deformează și acționează asupra spumantului concentrat, împingându-l în afara rezervorului, către dozatorul automat.

Membrana este echipată cu capace pentru a asigura etanșeitarea apei și spumantului în condiții de presiune constantă. O condiție esențială este realizarea acestor membrane în construcție turnată integral, fără lipituri și fără utilizarea adezivilor.

7.4.2. Grosimea membranei elastice

Pentru dimensionarea membranei, aceasta se consideră un înveliș subțire.

Condițiile pentru obținerea stării fără momente sunt:

- forțele externe să fie distribuite uniform;
- forma învelișului să nu aibă fluctuații semnificative ale razelor de curbură;
- rezemarea capetelor învelișului să elimine componentele transversale importante ale reacțiunilor [56].

Se scrie relația de echilibru a forțelor care acționează asupra elementului de înveliș.

Forțele care acționează asupra laturilor sunt $\sigma_1 h ds_2$ și $\sigma_2 h ds_1$, tangente la suprafața mediană, în care $ds_1 = \rho_1 d\theta_1$ și $ds_2 = \rho_2 d\theta_2$.

Relația între tensiuni normale și alungiri specifice este:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \tag{7.7}$$

Coeficientul E este cunoscut drept modulul de elasticitate longitudinal al materialului (*modulul lui Young*) [56].

Presupunem următoarea schemă de calcul în care am reprezentat fibra medie deformată (figura 7.17) [79]:

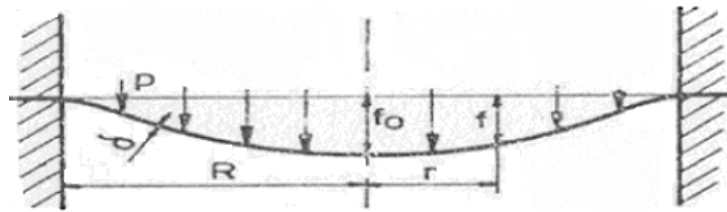


Figura 7.17. Schema de calcul a membranei

În centrul membranei, la distanța R și respectiv r=0, vom avea tensiunile radiale:

$$\sigma_r = 0,423 \cdot \sqrt[3]{\frac{E \cdot p^2 \cdot R^2}{\delta^2}} \quad (7.10)$$

$$\sigma_R = 0,328 \cdot \sqrt[3]{\frac{E \cdot p^2 \cdot R^2}{\delta^2}} \quad (7.11)$$

în care:

- E – modulul de elasticitate al materialului membranei;
 - p – presiunea apei introdusă între mantaua rezervorului pentru spumant și membrana elastică;
 - σ_r și σ_R sunt tensiunile radiale pentru r = 0 (în centrul membranei);
 - r = R, în secțiunea de încastrare, considerând valoarea $\nu = 0,25$ pentru coeficientul lui Poisson.
- Neglijând raportul

$$\frac{\delta^8 \cdot E^2}{p \cdot R^8}$$

față de alți termeni, care pentru valori uzuale variază între 10^{-8} și 10^{-10} , se obțin următoarele expresii de dimensionare a membranei:

$$\frac{f_0}{R} = 1,03 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{E}} \quad (7.12)$$

$$\frac{\sigma}{p} = 0,285 \cdot \frac{R^2}{\delta \cdot f_0} \quad (7.13)$$

$$f_0 = 0,671 \cdot R \sqrt[3]{\frac{p \cdot R}{\delta \cdot E}}, \quad (7.14)$$

în care:

- f_0 – săgeata maximă;
- E – modulul de elasticitate al materialului membranei;
- δ – grosimea peretelui membranei;
- σ – tensiunea normală (N/m^2).

Pentru realizarea dimensionării iau în calcul următoarele valori ale parametrilor de mai sus, pentru rezervorul pe care au fost efectuate testele prin metoda tensometriei electrice rezistive, astfel:

- p = 12 bar ($12 \cdot 10^5 N/m^2$),
- $f_0 = 0,3$ m;
- R = 0,55 m.

Prin introducerea valorilor în cadrul relației $\frac{f_0}{R} = 1,03 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{E}}$, aceasta devine:

$$\frac{0,3}{0,55} = 1,03 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{E}} \quad (7.15)$$

Pentru atribuirea de valori modulului de elasticitate, se obțin următoarele grosimi aproximative ale peretelui membranei, tabelul 7.6.

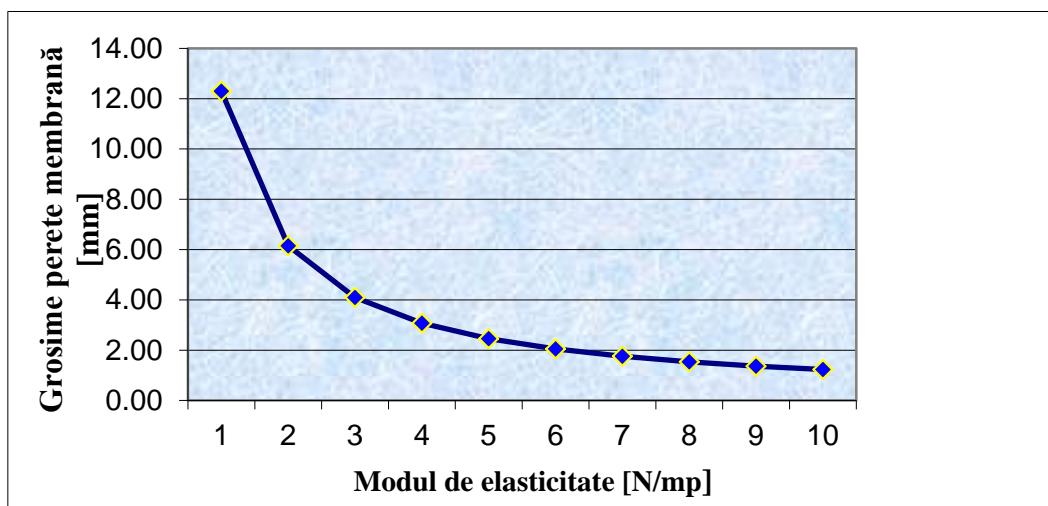
Valoarea $E = 1 \cdot 10^8 N/m^2$ este specifică pentru cauciuc [112].

**Tabelul 7.6. Grosimea peretelui membranei
în funcție de modulul de elasticitate al materialului**

Modulul de elasticitate E [N/m ²]	Grosimea peretelui membranei [mm]
1·10 ⁸	12,3
2·10 ⁸	6,15
3·10 ⁸	4,10
4·10 ⁸	3,08
5·10 ⁸	2,46
6·10 ⁸	2,05
7·10 ⁸	1,76
8·10 ⁸	1,54
9·10 ⁸	1,37
10·10 ⁸	1,23

Prin urmare, realizarea membranelor din cauciuc pentru astfel de rezervoare nu este soluția optimă. Pentru grosimi mai mici ale peretelui rezervorului, dar care asigură rezistența la tracțiune necesară funcționării de lungă durată fără defecțiuni, pot fi utilizate materiale speciale, pornind de la cauciuc sintetic, fibre de poliester, neopren, hypalon sau orice alt material care îndeplinește condițiile de elasticitate și de rezistență la acțiunea produșilor chimici din compoziția spumașilor concentrați.

În figura 7.18 este prezentată variația grosimii peretelui membranei în funcție de modulul de elasticitate al materialului.



**Figura 7.18. Variația grosimii peretelui membranei
în funcție de modulul de elasticitate al materialului**

7.5. Cercetări experimentale privind comportarea rezervoarelor cu membrană, prin metoda tensometriei electrice rezistive

7.5.1. Aspecte teoretice privind metoda tensometriei electrice rezistive

Tensometria reprezintă metoda de măsurare a deformațiilor mici la suprafața corpurilor supuse unor solicitări. Proprietatea care stă la baza metodei tensometrice este sensibilitatea la deformație, adică modificarea rezistenței electrice a unui conductor când este deformat [24].

7.5.2. Descrierea standului experimental

În vederea efectuării cercetărilor experimentale privind comportarea rezervoarelor cu membrană prin metoda tensometriei electrice rezistive, am procedat la realizarea unui stand experimental în cadrul Grupului de firme Gepro Ploiești, care a inclus:

- rezervor vertical cu membrană, producător DAFO FOMTEC Suedia, aflat în posesia Grupului de firme Gepro Ploiești în calitate de distribuitor (caracteristici tipodimensionale sunt precizate în tabelul 7.7);
- mărci tensometrice de uz general pentru măsurarea tensiunilor mecanice, producător Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, „tip rozetă”, model 10/120 RY91, cu traductori electrorezistivi pe trei direcții (0° , 45° , 90°), 5 bucăți (specificație tehnică prezentată în figura 7.19);
- marcă tensometrică compensator tip 10/120 LY 11, producător Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, 1 bucată;
- adeziv epoxi bicomponent, tip X60, producător Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, cu proprietăți de întărire rapidă la rece și temperatură de lucru cuprinsă între -200°C și $+80^\circ\text{C}$ (specificație tehnică prezentată în figura 7.20);
- chit de protecție termică a mărcilor tensometrice tip ABM 75, producător Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH; folie de aluminiu acoperită cu un strat de chit de 3 mm; permeabilitate foarte redusă la apă și temperatură de lucru între -196°C și $+75^\circ\text{C}$ (figura 7.21);
- aparat de măsură tip IT1, producător Huggenberger Zurich (figura 7.22);
- spumant Fomtec ARC 3X6, AFFF și AR, 200 litri (figura 7.23);
- pompă manuală (figura 7.24);
- materiale și accesorii diverse.

Pentru realizarea standului experimental s-a procedat astfel:

- au fost alese locurile de măsurare, în puncte considerate critice/sensibile, după analizarea geometriei rezervorului, a funcționării acestuia și a sarcinilor aplicate asupra lui;
- a fost ales tipul de traductori rozetă, pentru a determina starea plană de tensiune;
- a fost curățată zona în care urma să fie lipiți traductorii, până la luciu metalic, pe o suprafață suficient de mare pentru a permite lipirea corespunzătoare; suprafața este curățată pe cale chimică pentru eliminarea resturilor de umezeală, murdărie, grăsime, uleiuri, etc. (figura 7.25);



Figura 7.25. Pregătirea suprafeței

- au fost lipiți traductorii, cu adeziv special destinat, urmărindu-se apăsarea ușoară și cât mai uniformă a elementului senzor (figura 7.26);
- s-a avut în vedere realizarea unei scheme de amplasare a fiecărui traductor electrorezistiv, pentru înregistrarea și interpretarea corectă a valorilor obținute (figura 7.27);



Figura 7.26. Lipirea mărcilor tensometrice

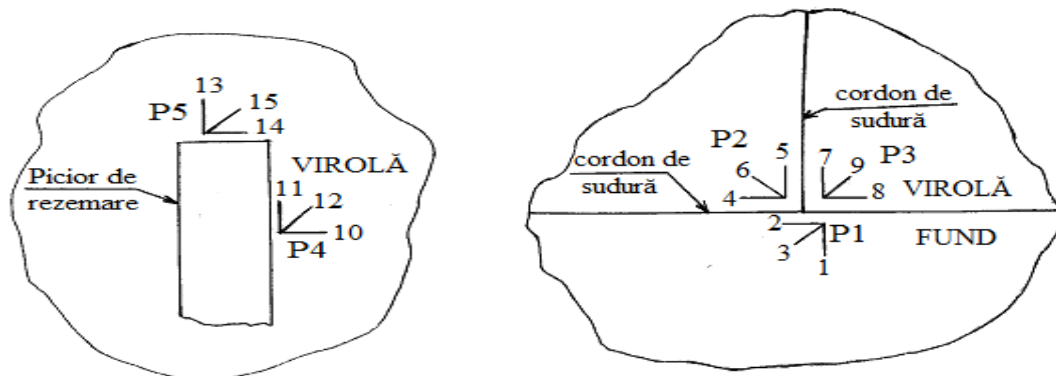


Figura 7.27. Schema de amplasare a mărcilor tensometrice

- au fost uscați traductorii și s-a aplicat un chit de protecție termică;
- a fost realizat circuitul electric și s-a procedat la introducerea unui traductor compensator pentru eliminarea dezechilibrărilor generate de variația temperaturii (figura 7.28).

În figura 7.29 este prezentată imaginea de ansamblu a standului experimental.



Figura 7.29. Imagine de ansamblu a standului experimental

7.5.3. Determinări experimentale și rezultate obținute

Măsurările cu ajutorul traductorului tensometric rezistiv se bazează, în principiu, pe faptul că atunci când un conductor electric (sau semiconductor), care constituie elementul sensibil, se lungeste sau se scurtează, rezistența sa electrică se modifică.

Modelul de rezervor a fost testat în condiții de încercare de presiune hidraulică. Au fost înregistrate valorile indicate cu rezervorul și membrana goale, fără apă, respectiv spumant.

A urmat ridicarea presiunii în 4 trepte (3, 6, 9 și 12 bar) și depresurizarea, la aceleași trepte de presiune, în ordine inversă.

Au mai fost înregistrate rezultatele obținute la creșterea presiunii de la 0 la 12 bar.

Valorile înregistrate sunt precizate în tabelul 7.8.

Tabelul 7.8. Valori ale deformațiilor specifice liniare înregistrate la aplicarea presiunii hidraulice

Nr. PMT	Nr. TER	VAS GOL	Treptele de presiune, în bar				
			0	3	6	9	12
1	1 (X,V)	14850	14850	13015	13295	13600	13840
	2 (Y,H)	15360	15130	15135	15145	15150	15260
	3 (E)	14610	14060	14175	14160	14260	14400
2	4 (X,V)	14120	14015	14045	14120	14195	14270
	5 (Y,H)	15480	15260	15440	15495	15560	15610
	6 (E)	15825	15570	15800	15830	15860	15895
3	7 (X,V)	14495	14495	14520	14550	14580	14615
	8 (Y,H)	15120	15110	15135	15155	15175	15195
	9 (E)	15340	15330	15340	15350	15360	15370
4	10 (X,V)	14360	14350	14355	14360	14380	14405
	11 (Y,H)	15120	15070	15155	15270	15380	15495
	12 (E)	15769	15740	15780	15840	15900	15960
5	13 (X,V)	14485	14465	14545	14610	14670	14735
	14 (Y,H)	14865	14860	14930	15005	15070	15150
	15 (E)	14765	14755	14825	14890	14950	15025

Continuare

Trepte de presiune, în bar					
9	6	3	0	12	0
13890	14115	14400	14530	15040	14595
15120	15178	15205	15245	15295	15260
14350	14170	14030	14345	14565	14400
14245	14200	14155	14110	14285	14110
15585	15550	15510	15475	15620	15480
15885	15870	15850	15835	15905	15840
14590	14555	14520	14500	14620	14500
15180	15160	15140	15120	15200	15115
15365	15355	15345	15335	15375	15340
14385	14370	14350	14335	14432	14345
15395	15290	15180	15080	15520	15080
15900	15850	15790	15740	15970	15740
14670	14610	14550	14490	14730	14480
15075	15005	14950	14870	15145	14865
14950	14895	14830	14770	15015	14760

PMT = Punct de Măsurare Tensometrică (Rozeta Tensometrică)

TER = Traductor Electro-Rezistiv

X = Axa Ortogonală Verticală (Direcția Meridiană)

Y = Axa Ortogonală Orizontală (Direcția Circumferențială/Inelară)

E = Direcția Bisectorială (Înclinată la 45°).

Cu valorile din tabelul 7.6 s-a procedat la determinarea prin calcul a tensiunilor mecanice în peretele vasului în punctele indicate în figura 7.27.

La calculul tensiunilor mecanice au fost avute în vedere următoarele aspecte:

- valorile de referință ale deformațiilor specifice liniare produse de greutatea apei sunt cele din tabelul 7.6 coloana „Vas gol”;
- valorile de referință ale deformațiilor specifice liniare produse de presiune sunt cele corespunzătoare primei coloane pentru care presiunea are valoarea zero.

Valoarea tensiunilor principale a fost calculată cu relația:

$$\sigma_{1,2} = \frac{E}{1-\mu} \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_b}{2} \pm \frac{E}{\sqrt{2}(1+\mu)} \sqrt{(\varepsilon_a - \varepsilon_c)^2 + (\varepsilon_b - \varepsilon_c)^2}, \quad (7.26)$$

în care:

E – modulul de elasticitate al materialului vasului;

μ – coeficientul lui Poisson;

$\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_c$ – corespund direcțiilor din figura 7.30.

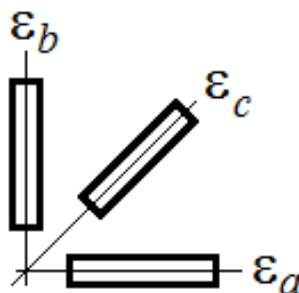


Figura 7.30. Notarea deformațiilor specifice liniare

Tensiunea echivalentă, conform criteriului von Mises a fost calculată cu relația:

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}. \quad (7.27)$$

Valorile astfel obținute sunt prezentate în tabelul 7.9.

Tensiunile maxime echivalente produse de greutatea apei și de presiune sunt prezentate în tabelul 7.10. Deoarece traductorul electrezistiv din punctul 1 nu a funcționat corect în tabelul 7.10 sunt indicate numai valorile tensiunii echivalente maxime din celelalte 4 puncte conform cu figura 7.27.

Tabelul 7.10. Valorile tensiunii echivalente maxime

Presiunea MPa	Punctul de măsurare			
	P2	P3	P4	P5
	σ_{ech}^{max} , MPa			
0	59,66	2,48	10,60	4,35
0,3	111,20	11,08	28,19	26,94
0,6	119,38	19,3	51,84	47,94
0,9	134,91	28,42	74,97	66,71
0,12	151,60	38,19	99,45	88,45
0,9	144,62	30,79	78,37	67,51
0,6	134,48	21,05	56,28	47,88
0,3	124,66	11,47	33,21	30,84
0	58,23	2,46	3,64	5,70

Variațiile tensiunilor maxime echivalente înscrise în tabelul 7.8 sunt reprezentate grafic în figura 7.31, a, b, c și d.

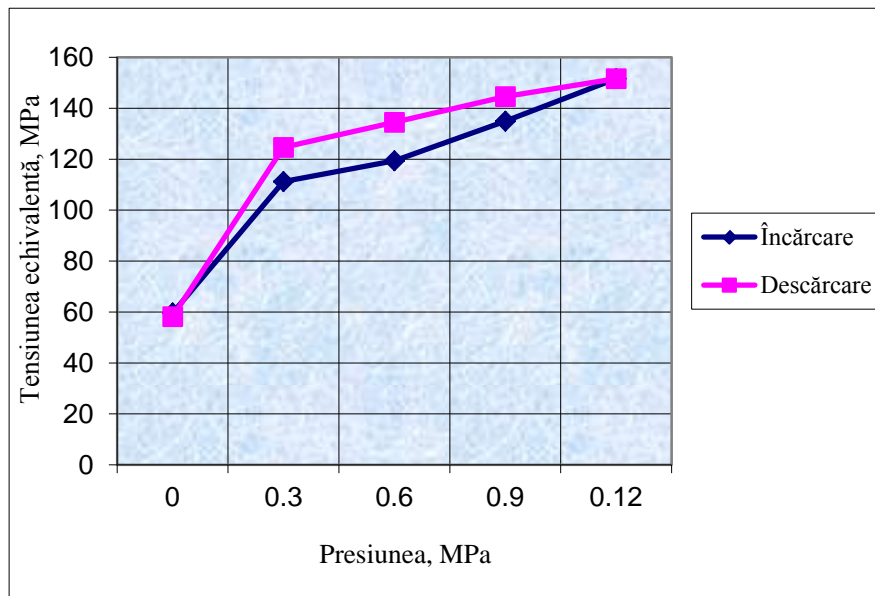


Figura 7.31. a – Variația tensiunii echivalente maxime cu presiunea în punctul P2

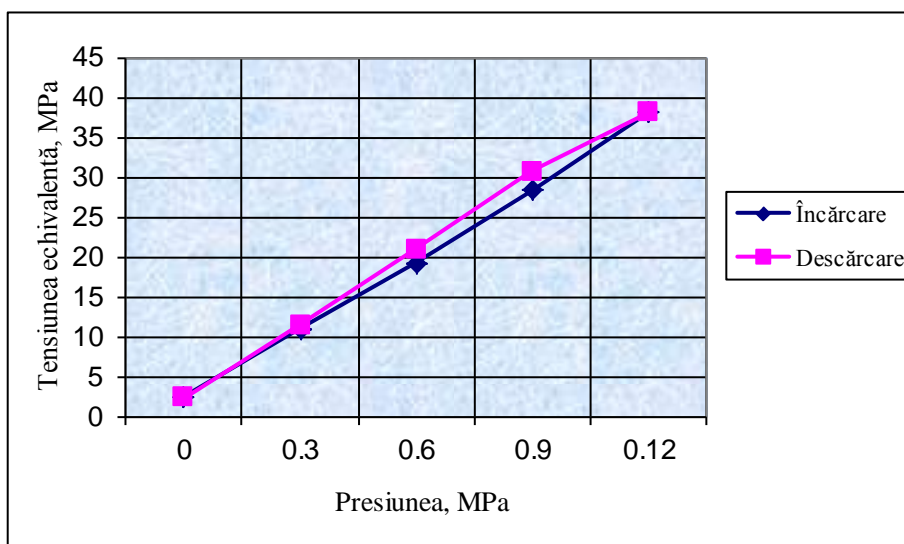


Figura 7.31. b – Variația tensiunii echivalente maxime cu presiunea în punctul P3

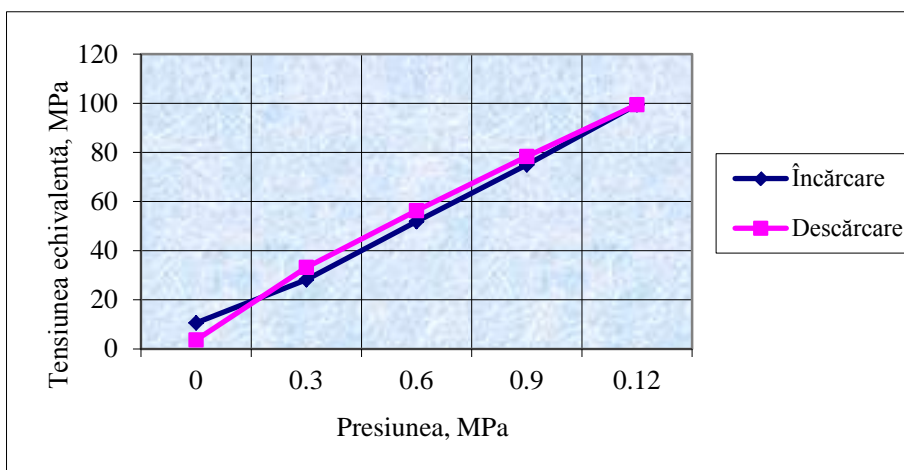


Figura 7.31. c – Variația tensiunii echivalente maxime cu presiunea în punctul P4

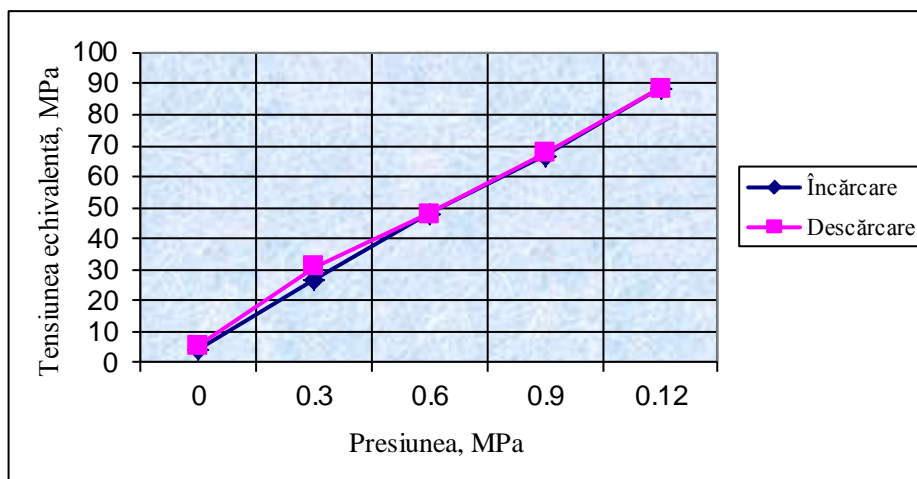


Figura 7.31. d – Variația tensiunii echivalente maxime cu presiunea în punctul P5

7.5.4. Concluzii din interpretarea rezultatelor

1. Cu excepția punctului de măsurare P1, întrucât traductorul electrorezistiv nu a funcționat corect, pentru celelalte puncte de măsurare se poate constata o liniaritate a valorilor tensiunii echivalente (criteriul von Mises);
2. Se constată diferență între valorile tensiunilor maxime echivalente calculate pentru punctele P2 și P3, cu toate că acestea sunt situate simetric față de cordonul de sudură, posibil influențate de tensiunile remanente din peretele rezervorului;
3. Pentru punctele P4 și P5 valorile tensiunilor maxime echivalente sunt justificabile, fiind condiționate de zona de amplasare a traductorilor electrorezistivi, respectiv în apropierea unuia dintre picioarele pe care este montat rezervorul cilindric vertical pentru spumant, zonă în care au loc concentrări mari de tensiuni.

VIII. MODELAREA NUMERICĂ PRIN METODA ELEMENTELOR FINITE

8.1. Modelarea numerică

Modelarea numerică s-a dezvoltat în două direcții: metoda diferențelor finite, respectiv metoda elementelor finite (MEF). MEF utilizează un model complet pentru fenomenul analizat. Deoarece MEF permite analize diverse și dificile, această metodă de analiză numerică este acceptată în prezent ca metodă standard de proiectare și de expertizare. În vederea evaluării tensiunilor mecanice în rezervorul expertizat experimental prin tensometrare prin MEF, a fost necesar să se realizeze modelul acestuia. În cadrul acestui model o importanță foarte mare o are alegerea tipului de element finit utilizat. Având în vedere forma, solicitările și constrângerile de natură geometrică ale rezervorului analizat (geometrie și încărcări simetrice, grosime mică a peretelui vasului) s-a optat pentru un element finit de tip SHELL93 din biblioteca de elemente finite ale programului ANSYS (figura 8.1). Eforturile secționale și tensiunile furnizate de acest tip de element sunt precizate în figura 8.2.

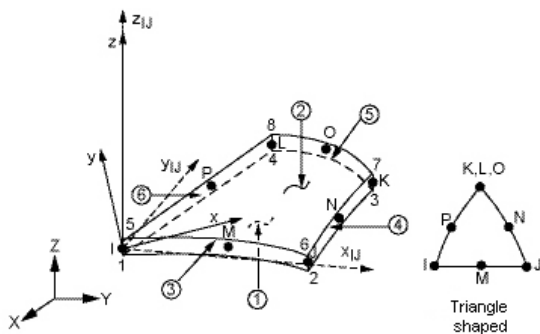


Figura 8.1. Elementul finit SHELL93

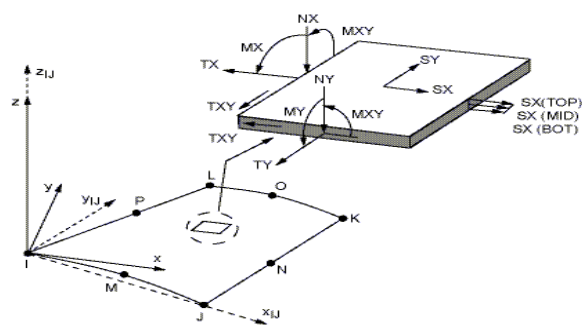


Figura 8.2. Eforturile secționale și tensiunile furnizate de elementul finit SHELL93

Odată elementul finit ales, mai întâi trebuie realizat modelul geometric al rezervorului. Acest model este obținut, pe baza desenelor rezervorului, figura 8.3, prin materializarea suprafețelor mediane ale rezervorului propriu zis, cât și ale picioarelor.

Informațiile privind rezervorul sunt prezentate în tabelul 7.5 și 8.1.

Tabelul 8.1. Informații privind rezervorul cilindric vertical pentru spumant

Capacitate (litri)	A mm	B mm	C mm	Ø D mm	E mm	T mm	Ø F mm	Presiune de lucru (bar)	Presiune de testare (bar)
200	1550	1100	775	600	671	15	18	12	17

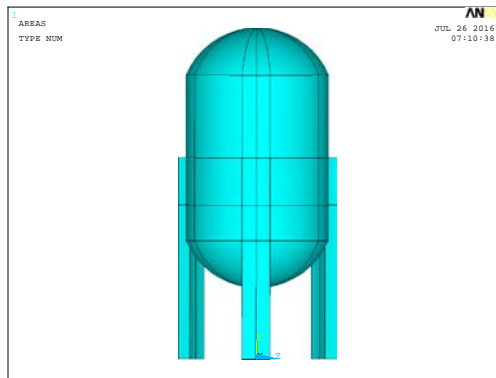


Figura 8.4. Modelul geometric al rezervorului

În vederea obținerii modelului cu elemente finite, modelului geometric i s-au atribuit proprietățile de material precum și grosimile de perete aferente.

În figura 8.5 sunt prezentate aceste caracteristici geometrice ale modelului.

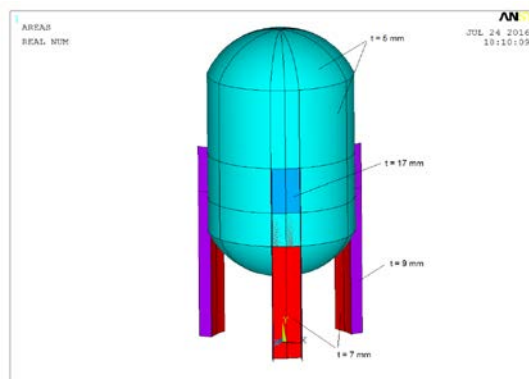


Figura 8.5. Grosimile de perete utilizate în analiza numerică

În conformitate cu modul de rezemare și prindere al rezervorului s-au blocat atât rotirile, cât și translațiile aferente nodurilor situate pe liniile de la baza picioarelor (figura 8.6).

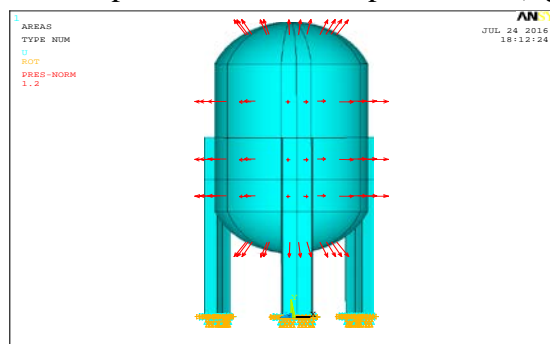


Figura 8.6. Solicitarea și constrângerile geometrice ale rezervorului analizat

În ceea ce privește solicitările s-a considerat numai solicitarea din presiune $p = 12 \text{ bar} = 1,2 \text{ MPa}$, deoarece solicitarea dată de apa din rezervor este foarte mică ($p_{ap\grave{a}} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$) (figura 8.5).

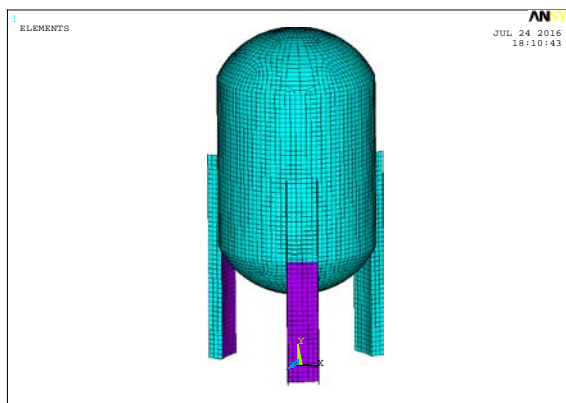


Figura 8.7. Modelul cu elemente finite al rezervorului

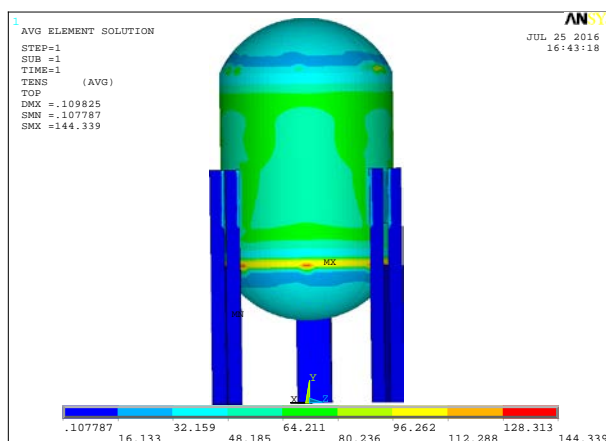


Figura 8.8. Intensitatea tensiunilor echivalente (criteriul von Mises), în MPa, produse de $p = 1,2 \text{ MPa}$

În ceea ce privește materialul, deoarece s-a considerat că deformățiile produse nu depășesc limita de elasticitate a materialului rezervorului, au fost necesare numai: modulul de elasticitate longitudinală $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ și coeficientul Poisson $\mu = 0,3$ corespunzătoare oțelului din care rezervorul este confecționat.

Modelul cu elemente finite este prezentat în figura 8.7. În urma rulării programului s-au evidențiat tensiunile mecanice. În figura 8.8 este redată harta tensiunilor mecanice echivalente (criteriul von Mises) pe întregul model. În figura 8.9 sunt redată tensiunile mecanice în pereții rezervorului propriu zis.

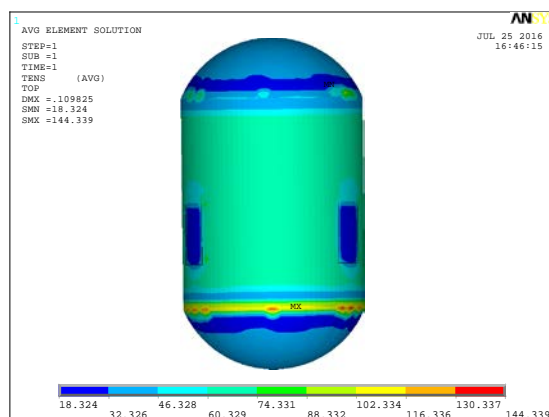


Figura 8.9. Intensitatea tensiunilor echivalente (criteriul von Mises), în MPa, în pereții rezervorului propriu-zis, produse de $p = 1,2 \text{ MPa}$

Pentru a putea compara valorile tensiunilor mecanice echivalente măsurate experimental cu cele evaluate numeric s-au evidențiat aceste tensiuni în punctele de măsurare. Astfel în figura 8.10 sunt redată valorile tensiunilor mecanice obținute prin MEF în jurul punctului de măsurare P4.

De asemenea, în figura 8.11 sunt redată tensiunile mecanice obținute prin MEF în jurul punctului de măsurate P5.

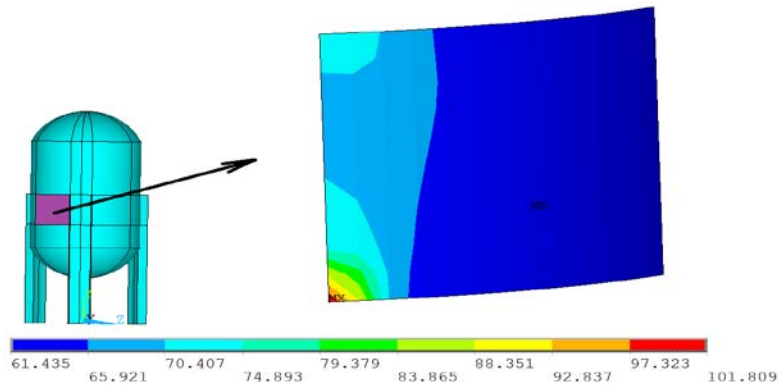


Figura 8.10. Valorile tensiunii echivalente (criteriul von Mises) în jurul punctului de măsurare P4, în MPa

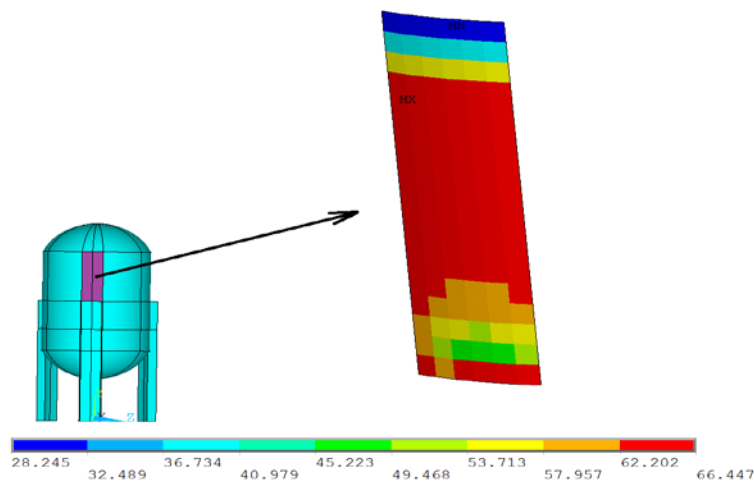


Figura 8.11. Valorile tensiunii echivalente (criteriul von Mises) în jurul punctului de măsurare P5, în MPa

Deoarece presiunea de probă a rezervorului analizat este $p = 1,7$ MPa, în figura 8.12 este redată variația tensiunilor mecanice corespunzătoare acestei presiuni.

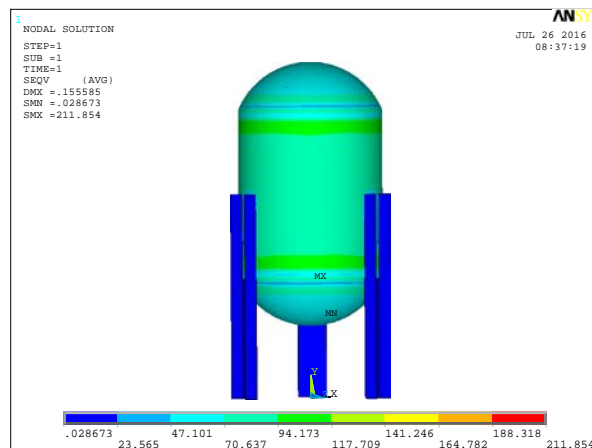


Figura 8.12. Intensitatea tensiunilor echivalente (criteriul von Mises) în MPa, produse de $p = 1,7$ MPa

8.2. Concluzii desprinse din MEF

Din analiza valorilor tensiunilor mecanice obținute prin analiză numerică și cele determinate experimental se desprind următoarele concluzii:

- tensiunea echivalentă maximă se dezvoltă în zona racordării mantalei rezervorului cu fundul acestuia (figura 8.8 și 8.9). Valoarea acesteia $\sigma_{ech}^{MEF} = 144,3$ MPa este comparabilă cu valoarea $\sigma_{ech}^{exp} = 151,60$ MPa măsurată în punctul P2. Valoarea $\sigma_{ech}^{exp} = 38,19$ MPa măsurată în punctul P3 indică faptul că rozeta tensometrică din acest punct a furnizat date eronate, posibil din cauza tensiunilor remanente de la nivelul peretelui rezervorului;
- tensiunea echivalentă corespunzătoare punctului de măsurare P4 $\sigma_{ech}^{exp} = 99,45$ MPa este ceva mai mare ca tensiunea echivalentă determinată prin MEF, $\sigma_{ech}^{MEF} = 66,45$ MPa;
- același aspect se relevă și în cazul punctului de măsurare P5 în care $\sigma_{ech}^{exp} = 88,45$ MPa față de $\sigma_{ech}^{MEF} = 74,9$ MPa;
- aceste deosebiri între valorile măsurate și cele determinate prin analiză numerică se pot explica astfel:
 - o analiza cu elemente finite efectuată a fost o analiză globală;
 - o pentru evidențierea cât mai exactă a influenței concentratorilor de tensiuni din jurul zonelor în care picioarele sunt sudate de manta este necesară o analiză pe un model 3D al zonei respective în care să se țină seama și de forma și dimensiunile cordoanelor de sudură.

În concluzie, expertizarea din punct de vedere al rezistenței mecanice a rezervorului, arată că acesta, în funcție de materialul din care este confecționat, are coeficienți de siguranță prezentați în tabelul 8.2.

Tabelul 8.2. Valorile factorilor de siguranță pentru presiunea de lucru, respectiv pentru presiunea de probă

Oțel	Rezistența minimă la tracțiune R_m , MPa	σ_{ech}^{MEF} MPa		c_s pentru $p = 1,2$ MPa	c_p pentru $p = 1,7$ MPa	Tensiunea admisibilă pentru $c_s = 1,5$ MPa	Grosimea minimă acceptată pentru $c_s = 1,5$ t, mm
		$p = 1,2$ MPa	$p = 1,7$ MPa				
S235	360	144,3	211,8	2,5	1,69	246	3,7
S275	370			2,56	1,75	246,7	3,7
S355	470			3,22	2,22	313	3,1

Se constată o valoare destul de mare a coeficienților de siguranță. Rezultă că rezervorul analizat prezintă o supradimensionare. Acest lucru se datorează adaosului de coroziune de 1 mm impus de proiectant.

În consecință, pe perioada de exploatare trebuie urmărită variația grosimii peretelui, care se micșorează ca urmare a coroziunii. Folosind modelul analizat s-a putut determina grosimea minimă ce poate fi acceptată pentru mantaua rezervorului, în regim de funcționare ($p = 1,2$ MPa), pentru un coeficient de siguranță $c_s = 1,5$.

Valorile grosimii de perete corespunzătoare tensiunii admisibile din tabelul 8.2 au condus la tensiunile echivalente maxime (criteriul von Mises) prezentate în figurile 8.13 și 8.14.

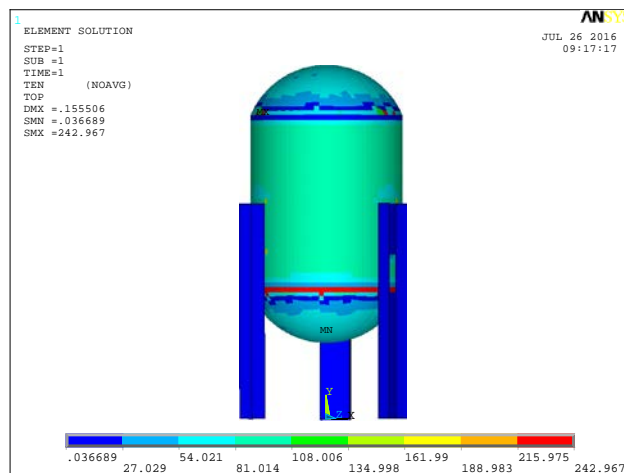


Figura 8.13. Intensitatea tensiunilor echivalente (criteriul von Mises), în MPa, produse de $p = 1,2$ MPa, grosimea vasului $t = 3,7$ mm

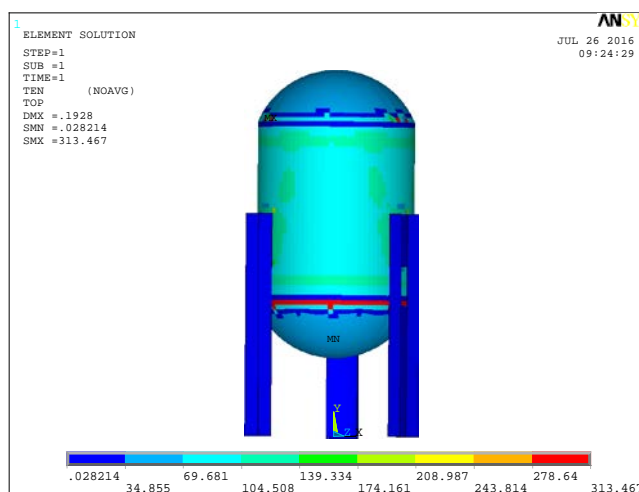


Figura 8.14. Intensitatea tensiunilor echivalente (criteriul von Mises), în MPa, produse de $p = 1,2$ MPa, grosimea vasului $t = 3,1$ mm

IX. CONCLUZII

9.1. Concluzii generale

Obiectivul principal al tezei a constat în cercetarea posibilităților de modernizare a instalațiilor de limitare și stingere a incendiilor din parcurile de rezervoare destinate depozitării produselor petroliere, în vederea creșterii siguranței în exploatarea acestora.

Acest studiu cuprinde două părți principale:

- sinteza bibliografică privind securitatea la incendiu în parcurile de rezervoare destinate depozitării produselor petroliere lichide, descrierea particularităților incendiilor manifestate în astfel de obiective și a echipamentului și instalațiilor speciale pentru exploatarea în condiții de siguranță;
- cercetarea teoretico-experimentală a produselor spumante și a soluțiilor tehnologice noi pentru modernizarea instalațiilor de limitare și stingere a incendiilor cu spumă.

Pentru **partea întâi a tezei**, principalele concluzii sunt:

1.1. Parcurile de rezervoare destinate depozitării produselor petroliere lichide se realizează potrivit normelor specifice, fiind necesară atât respectarea distanțelor minime de siguranță, cât și realizarea îndiguirilor;

1.2. Pentru asigurarea exploatării rezervoarelor în condiții de siguranță este necesară dotarea acestora cu echipamente cu funcțiuni specializate în scopul evitării condițiilor de formare a amestecurilor explozive;

1.3. Pentru a cunoaște și a conștientiza gravitatea efectelor ce pot fi generate de incendiile produse într-un parc de rezervoare destinate depozitării produselor petroliere lichide este necesară aplicarea unei metode adecvate pentru identificarea și evaluarea riscului de incendiu;

1.4. Produsele petroliere lichide au proprietăți fizico-chimice care pot genera riscuri majore, ceea ce impune abordarea subiectului cu atenție și responsabilitate;

1.5. Pentru producerea unui incendiu este necesară punerea în comun în același timp și spațiu a factorilor determinanți, iar incendiile la rezervoarele de depozitare au manifestări tipice;

1.6. Statisticile generale privind incendiile, dar și cele specifice cu referire la parcurile de rezervoare oferă informații concrete despre gravitatea consecințelor ce pot afecta viața și integritatea corporală a oamenilor, pagubele materiale și efectele asupra mediului.

Pentru **partea a doua a tezei**, ce cuprinde cercetările teoretico-experimentale pe care le-am efectuat, principalele concluzii sunt:

2.1. Sistemele și instalațiile de detectare, semnalizare, limitare și stingere a incendiilor au un rol decisiv în reducerea gravității consecințelor menționate la punctul anterior;

2.2. Instalațiile speciale cu spumă reprezintă varianta optimă, atât din punct de vedere al costurilor, cât și al eficienței pentru limitarea și stingerea incendiilor de produse petroliere lichide depozitate în rezervoare sau deversate accidental;

2.3. Pentru realizarea stingerii incendiilor, în fază incipientă, au fost realizate variante alternative și complementare de instalații speciale, fără ca dotarea rezervoarelor cu astfel de echipamente să fie obligatorie;

2.4. Spumanții concentrați dozați corespunzător cu debitul de apă, au rolul de a realiza spumele stingătoare care sunt un sistem dispers, format din conglomerate de bule umplute cu un gaz oarecare (de exemplu aer), fiind separate între ele prin pelicule lichide fine, cu diferiți coeficienți de înfoiere;

2.5. Spumanții concentrați pot avea efecte negative asupra mediului înconjurător, motiv pentru care este necesară respectarea prevederilor reglementărilor internaționale în ceea ce privește depozitarea, utilizarea și neutralizarea acestora la expirarea perioadei de utilizare;

2.6. Întrucât vâscozitatea spumanților concentrați este un parametru care poate influența eficiența acestora, am efectuat încercări și experimentări cu ajutorul vâscozimetruului Brookfield DV-III Ultra privind comportarea la curgere în funcție de temperatură;

2.7. Rezultatele obținute pentru trei spumanti newtonieni (Filfoam 916 Kerr, Profoam 806 G, Fluorofoam 806) și unul pseudoplastic (Filfoam A 836) pot fi interpretate în sensul că vâscozitatea produselor testate scade cu creșterea temperaturii, iar în cazul produsului pseudoplastic această variație este mult mai evidentă, aspect ce trebuie avut în vedere pe timpul realizării dozajului spumantului concentrat cu apa;

2.8. În parcurile de rezervoare pentru depozitarea produselor petroliere continuă să existe instalații de limitare și stingere a incendiilor uzate fizic și moral, fiind necesară modernizarea și reabilitarea acestor facilități pentru asigurarea unui nivel corespunzător de protecție reală, prin echiparea stațiilor existente cu echipamente moderne, care elimină pompele pentru spumant și dozatoarele automate cu valve diferențiale;

2.9. Rezervoarele pentru spumant cu membrană elastică, componentă esențială a schemei de modernizare abordată în cadrul cercetărilor, pot fi construite, în funcție de cantitățile de substanță de stingere necesară, condițiile de amplasare, etc. în variantă rezervor cilindric orizontal pe suport și sau rezervor cilindric vertical pe picioare;

2.10. Pentru a stabili modul de comportare a rezervoarelor cu membrană am efectuat cercetări experimentale prin metoda tensometriei electrice rezistive pe un rezervor vertical de 200 litri, iar pentru realizarea standului experimental am utilizat mărci tensometrice de uz general pentru măsurarea tensiunilor mecanice, producător Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, „tip rozetă”, model 10/120 RY91, cu traductori electrorezistivi pe trei direcții (0°, 45°, 90°) și am ales locurile de măsurare în puncte considerate critice/sensibile, după analizarea geometriei rezervorului, a funcționării acestuia și a sarcinilor aplicate asupra lui;

2.11. Pentru punctele de măsurare se poate constata o liniaritate a valorilor tensiunii echivalente (criteriul von Mises) și o concentrare a tensiunilor în punctele din apropierea picioarelor pe care este montat rezervorul;

2.12. Studiarea modelului de rezervor propus a fost continuată prin modelarea numerică prin metoda elementelor finite, optându-se pentru un element finit de tip SHELL93 din biblioteca de elemente finite ale programului ANSYS;

2.13. Din analiza valorilor tensiunilor mecanice obținute prin analiză numerică și cele determinate experimental rezultă că tensiunea echivalentă maximă se dezvoltă în zona racordării mantalei rezervorului cu fundul acestuia și se constată o valoare destul de mare a coeficienților de siguranță, rezervorul analizat prezentând o supradimensionare datorată adaosului de coroziune.

9.2. Contribuții personale

Asigurarea securității la incendiu și a siguranței în exploatare a echipamentelor specializate, inclusiv în parcurile de rezervoare destinate depozitării produselor petroliere, trebuie să reprezinte o cerință și un deziderat, în același timp.

Pentru realizarea acestora, o contribuție originală este reprezentată de stabilirea unei metode viabile de identificare și evaluare a riscului de incendiu, corespunzătoare pentru astfel de obiective industriale.

O altă contribuție este reprezentată de determinarea variației vâscozității în funcție de temperatură, pentru spumați concentrați newtonieni și pseudoplastici, pentru a asigura eficiența stingerii incendiilor.

O contribuție deosebită o consider implementarea și testarea unui echipament adecvat, rezervor pentru spumant cu membrană elastică, pentru modernizarea și creșterea eficienței și a siguranței în exploatare a instalațiilor de limitare și stingere a incendiilor cu spumă.

Verificarea modului de comportare a rezervorului pentru spumant cu membrană elastică la presiune hidraulică prin metoda tensometriei electrice rezistive și determinarea zonelor de concentrare a tensiunilor mecanice reprezintă o altă contribuție.

O contribuție originală este și studiarea rezervorului pentru spumant cu membrană elastică prin modelarea numerică prin metoda elementelor finite și compararea cu rezultatele încercărilor experimentale, pentru a obține o imagine de ansamblu asupra siguranței în exploatare a echipamentului.

9.3. Direcții noi de cercetare

Cercetările teoretico-experimentale în domeniul abordat în cadrul tezei pot fi continuate prin analizarea rezervorului pentru spumant cu membrană elastică pe un model 3D pentru a evidenția influența concentratorilor de tensiuni, ținându-se seama de forma și dimensiunile cordoanelor de sudură.

O direcție nouă de cercetare poate fi reprezentată de studiarea aprofundată a caracteristicilor și a comportării membranei elastice în condiții de presiune hidraulică și sub influența substanțelor chimice din care sunt produși spumații concentrați.

Totodată, pentru obiective speciale cum sunt parcurile de rezervoare de depozitare a produselor petroliere pot fi efectuate modelări ale diverselor tipuri de incendii pentru a obține informații și date privind manifestările tipice și riscurile posibile pentru personalul de deservire și de intervenție.

Pot fi dezvoltate și testate soluții alternative și complementare pentru creșterea eficienței instalațiilor de stingere a incendiilor cu spumă, avându-se în vedere și raportul cost/beneficii.

Prezenta teză de doctorat reprezintă o bază teoretică și experimentală de la care se pot iniția sau continua cercetările în domeniile prezentate.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Anghel I. – Contribuții privind modelarea și simularea incendiilor prin metode numerice. Teză de doctorat. Universitatea „Petrol – Gaze”. Ploiești. 2009
2. Bălulescu P. – Protecția contra incendiilor la depozitele de rezervoare cu lichide combustibile. Ministerul de Interne. Comandamentul Pompierilor. 1974
3. Bălulescu P. – Stingerea incendiilor. Editura Tehnică. București. 1981
4. Bălulescu P., Călinescu V. – Instalații automate de detectare și stingere a incendiilor. Editura Tehnică. București. 1977
5. **Boboc M.** – Sinteza lucrărilor de specialitate privind instalațiile de limitare și stingere a incendiilor cu spumă. Referat 1
6. **Boboc M.** – Caracterizarea produselor spumante folosite la limitarea și stingerea incendiilor. Referat 2
7. **Boboc M.** – Cercetări experimentale privind eficacitatea instalațiilor de limitare și stingere a incendiilor cu spumă. Referat 3
8. **Boboc M.** – Characterization of the Foam Products Used for Extinguishing Fires. Buletinul Universității „Petrol-Gaze” din Ploiești, Seria Tehnică, Vol. LXIII, No. 2/2011
9. **Boboc M.** – Modern systems for control and extinguishing fires at petroleum storage tanks. Buletinul Universității „Petrol-Gaze” din Ploiești, Seria Tehnică, în curs de publicare
10. **Boboc M., Strugariu R. D.** – Tendințe actuale în stingerea incendiilor. „SIGPROT – 2004” Lucrările Sesiunii de comunicări științifice cu participare internațională a Facultății de Pompieri Ediția a VII-a. Editura Printech. București. 2004
11. **Boboc M.** – Tendințe actuale în protecția locală la incendiu. A V-a conferință internațională de apărare împotriva incendiilor. Băile Felix. 2004
12. **Boboc M.** – Formarea persoanelor fizice care execută lucrări în domeniul apărării împotriva incendiilor, în perspectiva integrării în Uniunea Europeană. A VII-a conferință internațională de apărare împotriva incendiilor. Băile Felix. 2006
13. Boger D.V., Walters K. – Rheological Phenomena in focus. Elsevier. Amsterdam. 1993
14. Buzdugan Gh., Blumenfeld M. – Tensometria electrică rezistivă. Editura Tehnică. București. 1966
15. Calotă S., Popa Ghe., Sorescu G., Dolha S. – Cercetarea cauzelor de incendii. Aspecte teoretice și practice. Editura Universul Juridic. București. 2010
16. Debie N. C. – Chimia petrolului Vol. II. Editura Tehnică. București. 1951
17. Dumitru E. T. – Contribuții privind îmbunătățirea condițiilor de preparare a emulsiilor destinate stingerii incendiilor din industria de petrol. Teză de doctorat. Universitatea „Petrol-Gaze” Ploiești. 2014
18. Eirich F. – Rheology. Theory and applications, Vol. I-IV. New-York – London, Academic Press. 1956-1965
19. Heudier L. ș.a. – Les eclatements de reservoirs. 2004.
www.ENERISfr/.../omega15-eclatement-reservoir-125630-04945b-2-1389868766.pdf
20. Iamandi C., Petrescu V. – Mecanica fluidelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1978
21. Nicolae V. – Protecția depozitelor de produse petroliere împotriva incendiilor. Editura Universității „Petrol-Gaze” Ploiești. 2008
22. Pavel A. – Siguranța în funcționare a utilajelor petrochimice. Editura Tehnică. București. 1988

23. Pavel A. – Surse și riscuri de avarie în petrol – petrochimie – chimie. Editura Universității „Petrol-Gaze” Ploiești. 1993
24. Pavel A., Dumitru Gh., Popa A., Iancu (Boghici) E. I., Nicolae V., Ștefan T. – Recipiente – rezervoare și aparate – cilindrice orizontale, Vol. 1 și 2. Editura Ilex. 2011
25. Pavel A., Mocioi I. A., Anghel I. – Riscuri și surse de avarii tehnologice în rafinaj-petrochimie. Editura ILEX. București. 2008
26. Pavel A., Paraschiv M., Voicu I. – Protecția antiexplozivă a instalațiilor tehnologice. Editura Tehnică. București. 1989
27. Pavel A., Voicu I., Columbeanu I. – Protecția antiexplozivă a instalațiilor tehnologice. Editura Tehnică. București. 1989
28. Pavel A. – Depozitarea produselor volatile. Vol. I și II. Editura Institutului Central de Documentare Tehnică. București. 1968
29. Persoz B. – Introduction a l’etude de la Rheologie. Paris, Dunod. 1960
30. Petrov I. I., Reutt V. C. – Stingerea incendiilor de lichide combustibile. Întreprinderea poligrafică „Tiparul”. 1963
31. Popescu D., Pavel A. – Risc tehnic / tehnologic. Editura Briliant. București. 1998
32. Proca A., Pușor R. N. – Incendii...Explozii...Cauze...Stingere – Centrul de Studii, Experimentări și Specializare P.S.I.. București. 1991
33. Radeș M. – Rezistența materialelor I. Editura Printech. București. 2010
34. Reiner M. – Deformation, strain and flow. An elementary introduction to rheology. London H.K. Lewis. 1960
35. Stămbuleanu A. – Flacăra industrială. Editura Tehnică. 1982
36. Teodorescu Șt. – Utilaj tehnologic și de rafinărie, cap. XI – Rezervoare de depozitare atmosferice. Editura IPG Ploiești. 1976
37. Tudor I. – Tribologie. Editura Universității „Petrol-Gaze” Ploiești. 2001
38. Tudor I. ș.a. – Protecția anticorozivă și reabilitarea conductelor și rezervoarelor. Editura Universității „Petrol-Gaze” din Ploiești. 2007
39. Tudor I., Rîpeniu R. G. – Ingineria coroziunii. Editura Universității „Petrol-Gaze” din Ploiești. Vol. 1-2. 2002
40. xxx – Normativ departamental pentru proiectarea și executarea construcțiilor și instalațiilor din punct de vedere al prevenirii incendiilor în industria chimică NPCICH 1977, Ordinul nr. 1862/26 VIII 1977 dat de Ministerul Industriei Chimice
41. xxx – „Normativ privind securitatea la incendiu a construcțiilor, Partea a II-a - Instalații de stingere”, indicativ P118/2-2013, aprobat Ordinul ministrului dezvoltării regionale și administrației publice nr. 2463/2013. M. Of. nr. 595 bis din 24.09.2013
42. xxx – *Arosage a l’eau. Ineris*. DRA-PREV. 2005. www.ineris.fr/badoris.pdf
43. xxx – *Arrosage a la mousse. INERIS DRA-PREV*. 2005. www.ineris.fr/badoris/Pdf
44. xxx – *How to Classify Oil Tanks?* <http://www.ansonindustry.com/how-to-classify-oil-tanks.html>
45. xxx – *Mise sous talus ou sous terre des reservoirs contenant des hydrocarbures liquides inflammables. INERIS 2001*. www.ineris.fr/centredoc/48.pdf
46. xxx – SR EN 1568:2009 Agenți de stingere a incendiilor. Spumanți concentrați. Părțile 1 ÷ 4
47. xxx – SR ISO 3104:1996 Produse petroliere – Lichide opace și transparente. Determinarea vâscozității cinematice și calculul vâscozității dinamice
48. xxx – SR ISO 3105:1998 Vâscozimetre cinematice cu capilară de sticlă – Specificații și instrucțiuni de operare