

**Aprobat,
Reprezentant legal
Mateiu Sergiu Cristinel**

**Director proiect,
Costin Cepișcă**

Nr. contract de finanțare: 260/ 17.06.2020
Axa prioritară 1 - Cercetare, dezvoltare tehnologica si inovare (CDI) în sprijinul competitivității economice și dezvoltării afacerilor
Acțiunea 1.2.1 Stimularea cererii întreprinderilor pentru inovare prin proiecte de CDI derulate de întreprinderi individual sau în parteneriat cu institutele de CD și universități, în scopul inovării de procese și de produse în sectoarele economice care prezintă potențial de creștere

Titlul proiectului: Instalație inovatoare pentru cimentare și operațiuni speciale la sondă destinată eficientizării extragerii resurselor energetice convenționale - INOCEM

ID: -

MySMIS: 120032

RAPORT INTERMEDIAR
Perioada 17 iulie 2020 –16 septembrie 2020

Activitate: A1. Activități de Cercetare Industrială

A1.1 Studiu pentru obținerea unor metode inovative de optimizare a echipamentului destinat operațiunilor speciale și de cimentare la sondele în exploatare și stabilirea specificațiilor tehnice pentru subsambluri și echipament

17 Iulie 2020 - 16 octombrie 2020

Lider S.C. PETAL S.A.Husi
Partener ICPE CA – grup cercetare IPCUP

CUPRINS

Pag.

A. OBIECTIVELE PROIECTULUI	3
B. OBIECTIVELE ACTIVITĂȚII RAPORTATE	3
C. REZUMATUL ETAPEI DE EXECUȚIE	4
D. DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ	6
Capitolul 1. Elemente generale privind activitatea de cimentare și operațiuni speciale la sonde	6
Capitolul 2. Cerințe referitoare la operațiunile de cimentare și speciale la sonde	7
2.1 Tehnica operațiilor de cimentare	7
2.2 Tehnica operațiilor de fisurare -acidizare	8
2.3 Parametrii operațiilor speciale la sonde	9
Capitolul 3. Analiza produselor existente pe piața națională și mondial în corelație cu cerințele operatorilor din zona petrol privitoare la operațiuni speciale la sonde	19
3.1 Principii constructive și de funcționare ale agregatelor de cimentare – fisurare	19
3.2 Nivelul tehnic al echipamentelor utilizate / fabricate pe plan național	23
3.3 Nivelul tehnic al echipamentelor utilizate / fabricate pe plan mondial	33
3.4. Pompe cu plungere utilizate în cadrul echipamentelor/agregatelor de cimentare, fisurare	50
Capitolul 4 Diagnosticarea nivelului tehnic de funcționare în scopul identificării punctelor slabe și tendințe actuale privind creșterea durabilității echipamentelor	79
4.1 Diagnosticarea nivelului tehnic al capacității de funcționare în scopul identificării riscurilor	79
4.2. Tendințe privind materialele utilizate în construcția echipamentelor destinate operațiilor speciale la sonde	81
4.3. Tendințe privind tehnologiile de tratamente specifice aplicabile materialelor din care sunt executate plungerile, vasul de amestec, manifoldurile și șnecurile, în scopul creșterii durabilității	86
Capitolul 5. Analiza critică privind identificarea unor metode inovative de optimizare a echipamentului destinat operațiilor speciale și de cimentare la sondele în exploatare	91
5.1 Analiza critică privind identificarea metodelor inovative de optimizare a pompei cu plungere	91
5.2. Analiza critică a soluțiilor tehnice pentru supapă	112
5.3 Analiza critică a soluțiilor tehnice pentru plungere	124
Capitolul 6. Analiza posibilității de antrenare mecanică cu motor de curent alternativ și instalație de acționare electrică	140
6.1. Soluția constructivă inovativă	140
6.2. Studiul soluției de acționare de tip electric	141
6.3. Caracteristicile motorului asincron dedicat acționării	150
6.4. Analiza soluției de acționare cu convertizor static de frecvență	155
6.5. Specificații inițiale pentru sistemul de acționare motor de curent alternativ cu turație variabilă pentru instalația de cimentare	158
Bibliografie	160

A. OBIECTIVELE PROIECTULUI

Obiectivul general al proiectului constă în realizarea unui produs inovativ complex, destinat exploatarea eficientă a resurselor energetice convenționale, având caracteristici funcționale semnificativ îmbunătățite prin schimbări esențiale ale specificațiilor tehnice și ale componentelor și materialelor și printr-un proces inovativ de realizare.

Integrată domeniului de specializare inteligentă *ENERGIE, MEDIU ȘI SCHIMBĂRI CLIMATICE, subdomeniul 3.1. Energie, respectiv 3.1.2. Resurse energetice convenționale, neconvenționale și regenerabile*, instalația destinată operației de cimentare și altor operațiuni speciale la sondele de petrol și gaze naturale, cu performanțe unice pentru producția unui asemenea echipament în România, ce asigură exploatarea superioară a acestor resurse convenționale de energie, cu păstrarea mediului ambiant și care va contribui la creșterea calității și la diversificarea ofertei de produse moderne a liderului de proiect pe piața echipamentelor complexe destinate extracției de resurse de petrol și gaze.

Obiectivele specifice ale proiectului sunt:

1. Obținerea prin cercetare industrială de metode inovative pentru echipamentul de cimentare și operații speciale la sonde și stabilirea specificațiilor pentru subsansambluri și echipamente;
2. Realizarea și testarea subsansamblurilor inovative privind acționarea electrică în curent alternativ, antrenarea mecanică și componente de uzură ale pompelor;
3. Realizarea, pe baza documentației tehnice întocmite, a echipamentului pilot utilizabil comercial și testarea în medii reprezentative;
4. Investiții în vederea introducerii în producție a rezultatelor CD, prin achiziții de active corporale și necorporale;
5. Pregătirea fluxului de fabricație și a documentației de punere în fabricație;
6. Crearea a 4 noi locuri de muncă pe durata implementării proiectului, dintre care 2 femei.

B. OBIECTIVELE ACTIVITĂȚII RAPORTATE

Subactivitatea A1.1 „Studiu pentru obținerea unor metode inovative de optimizare a echipamentului destinat operațiilor speciale și de cimentare la sondele în exploatare și stabilirea specificațiilor tehnice pentru subsansambluri și echipament” are ca obiective:

- analiza produselor existente pe piața mondială, cu evidențierea nivelului tehnic al acestora, în legătură directă cu cerințele operatorilor din domeniul petrolier privitoare la operațiuni speciale la sonde;
- dezvoltarea unor soluții inovative pentru unele subsansambluri ale instalației de cimentare și operații speciale la sonde (antrenarea mecanică, acționarea electrică și elemente de uzură ale pompelor) și pentru ansamblul general;

- stabilirea specificațiilor tehnice pentru elementele prevăzute cu elemente inovatoare din componența subansamblurilor mecanice și electrice, cât și pentru ansamblul general.

C. REZUMATUL ETAPEI DE EXECUȚIE

Subactivitatea A.1.1 este destinată studiului pentru obținerea unor metode inovative de optimizare a echipamentului destinat operațiunilor speciale și de cimentare la sondele în exploatare și stabilirea specificațiilor tehnice pentru subansambluri și echipamente. Perioada de derulare este 17.07.2020 – 16.10.2020., perioadă de timp în care se prezintă rezultate privitoare la:

- analiza produselor existente pe piața mondială, cu evidențierea nivelului tehnic al acestora, în legătură directă cu cerințele operatorilor din domeniul petrolier privitoare la operațiuni speciale la sonde;
- dezvoltarea unor soluții inovative pentru unele subansambluri ale instalației de cimentare și operații speciale la sonde (antrenarea mecanică, acționarea electrică și elemente de uzură ale pompelor) și pentru ansamblul general;
- stabilirea specificațiilor tehnice pentru elementele prevăzute cu elemente inovatoare din componența subansamblurilor mecanice, electrice și de automatizare cât și pentru ansamblul general.

Raportul de față intermediar, pentru perioada 17.07.2020-16.09.2020 cuprinde rezultatele activităților desfășurate de colectivul de implementare al liderului și de cel al partenerului.

S-a realizat o analiză în detaliu a produselor de tip instalație de cimentare la sondele în exploatare, pornind de la produsele proiectate de IPCUP Ploiești de-a lungul anilor și de la cele aflate în portofoliul de fabricație la PETAL SA Huși. S-au pus în evidență soluțiile constructive și parametrii tehnologici specifici.

O analiză descrisă pe larg este cea a soluțiilor întâlnite în instalațiile de cimentare realizate de firme de prestigiu pe plan mondial, ale căror soluții constructive sunt indicate în ANEXA II. S-au evidențiat nivelurile tehnice atinse de fiecare fabricant, permițând astfel a se face o comparație a soluțiilor pentru găsirea unor idei inovatoare care să fie cuprinse în noua instalație. Se constată apariția unor instalații ce încep să încorporeze motoare electrice pentru unele din funcțiile necesare procesului tehnologic., indicându-ne faptul că suntem pe o soluție de vârf în domeniu, chiar având un progres față de alți competitori.

Pentru dezvoltarea inovativă a instalației se are în vedere atât acționarea cu motor electric asincron trifazat cuprins într-o schemă de acționare electrică cu convertizor de frecvență și automatizare pe baza sistemelor de achiziții date și senzori inteligenți cât și metode inovative de realizare a unor subansambluri mecanice destinate sporirii capacității de lucru și micșorării uzurii la pompe, plunger, manifolduri, supape, garnituri, precum și la ansamblul instalației.

S-au analizat inițial cerințele referitoare la operațiunile de cimentare și special la sonde, pe baza studierii tehnicilor de cimentare, fisurare și acidizare. S-au pus în valoare cunoștințele privitoare la parametrii operațiilor speciale în care sunt implicate instalațiile: presiune, debit, tipuri

de fluide folosite în România și pe plan mondial pentru cimentare-fisurare-acidizare. Se concluzionează că pentru un anumit debit și presiune, dimensiunile pompei sunt determinate de lungimea cursei și de turația arborelui cotit, este necesară selecția și utilizarea celor mai adecvate componentele lor și o rezistență sporită la coroziune și abraziune, ținând cont de faptul că fluidele implicate în aceste operații au un puternic efect coroziv și abraziv.

Pe baza schemei cinematice a unei instalații de cimentare și a dinamicii procesului de amestec sau analizat componentele principale: pompe de presiune, pompa de apă, rezervor de măsurare, amestecător de ciment, manifolduri. Se observă importanța pompei cu plungere destinată pompării amestecului și se realizeze o analiză a acestui subansamblu existent pe baza soluțiilor constructive ale partenerilor din proiect și ale unor firme recunoscute pe plan mondial.

Un element fundamental al noilor soluții inovative îl reprezintă materialele utilizate și tehnologiile de tratamente specifice aplicabile suprafețelor plungerelor, vasului de amestec, manifoldurilor și șnecurilor. În acest sens s-au studiat tendințele privind materialele necesare a fi folosite și tehnologii noi, precum nitrurarea, cu posibilități de determinare a calității acoperirii în laboratorul PETAL.

Identificarea unor metode inovative de optimizare a pompei cu plungere s-a dezvoltat inițial în analiza sistemului de etanșare. Pe baza rezultatelor din literatura de specialitate obținute prin modelări și simulări s-au obținut concluzii importante referitoare la forma constructivă și materialul garniturilor și se propune o formă nouă, îmbunătățită pentru pachetul de etanșare precum și pentru materialele din care se execută.

O nouă soluție constructivă este analizată și propusă pentru supapele plungerului pe baza a șase concluzii obținute din studiul teoretic de modelare.

Pentru plungere analiza indică necesitatea folosirii unor materiale depuse pentru substrat și strat și se indică tehnologiile de pulverizare termică și metalizare a suprafețelor supuse uzurii.

Urmează a se definitiva toate specificațiile necesare pentru a se trece la proiectarea pieselor și subansamblurilor ce vor conține elemente inovative

Studiul dedicat soluțiilor în domeniul introducerii acționării cu motor asincron conține elemente referitoare la componentele acționării electrice:

- studiul soluției de acționare de tip electric;
- caracteristicile motorului asincron dedicat acționării și stabilirea specificațiilor tehnice necesare proiectării soluției de acționare;
- analiza convertizoarelor statice de frecvență ce pot fi utilizate în comanda motorului respectând caracteristicile pompelor acționate;
- Soluții de scheme electrice de acționare utilizabile pentru acționarea instalației de cimentare.

Specificațiile finale vor fi indicate în partea finală a studiului ce se depune la sfârșitul subactivității A.1.1.

D. DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ

Capitolul 1. Elemente generale privind activitatea de cimentare și operațiuni speciale la sonde

Producția de țiței implică două sisteme distincte, conectate între ele: rezervorul, care este un mediu poros cu caracteristici unice de stocare și curgere și structurile artificiale care includ gaura sondei, fundul sondei și întregul ansamblu de echipamente care permit curgerea țițeiului către suprafață. Se pot remarca două domenii de activitate:

-Ingineria de zăcământ - se ocupă cu estimarea performanțelor zăcămintelor de țiței prin analiza mecanismelor de recuperare și a calculului de performanță.

-Ingineria producției - are ca obiectiv exploatarea țițeiului din zăcăminte în condițiile atingerii potențialului maxim.

Referindu-ne la producția de țiței, exploatarea primară este asigurată atâta timp cât forțele active, date de energia proprie a zăcământului, sunt superioare celor de reținere iar fluidele din strat sunt în mișcare și sunt expulzate în exterior. În momentul în care forțele active sunt mai mici decât cele de reținere, țițeiul nu mai poate fi expulzat și este reținut în strat. În acest caz se intervine prin metode care fac obiectul exploatarea secundară a țițeiului.

Exploatarea secundară sau recuperarea secundară a țițeiului se aplică zăcămintelor epuizate și are rolul de refacere a energiei pierdute. Când zăcământul este caracterizat de o permeabilitate redusă se intervine pentru creșterea afluxului de țiței prin metodele de fisurare și acidizare.

În cadrul procesului de exploatare a țițeiului, cimentarea primară și operațiile speciale (cimentări speciale, fisurarea, acidizarea) sunt operațiuni de mare răspundere, de reușita lor depinzând exploatarea corectă a orizonturilor productive, creșterea afluxului de țiței în sonda precum și rezolvarea unor complicații care apar în timpul forajului.

Aceste operațiuni se execută cu agregate de pompare speciale, care au astăzi, în lume, o mare versatilitate, materialele utilizate trebuie să îndeplinească anumite condiții iar personalul de execuție trebuie să cunoască precis modul de efectuare a fiecărui tip de operație .

În România există o îndelungă tradiție în ceea ce privește construcția unor astfel de echipamente care prezintă anumite particularități tehnologice, constructive și funcționale care au făcut de-a lungul timpului, obiectul de studiu și cercetare a numeroase instituții.

IPCUP Ploiești, și PETAL SA Huși sunt câteva dintre instituțiile care au participat la elaborarea de soluții constructive moderne și la execuția acestor produse.

Un loc aparte l-a ocupat în activitatea de cercetare, identificarea de soluții constructive originale care să îmbunătățească caracteristicile agregatelor de cimentare – fisurare - acidizare tradiționale în vederea utilizării acestora la operațiile speciale la sonde. *Reprezentative sunt studiile de creștere a gamei de presiuni, identificarea de soluții constructive inovative și de*

materiale noi pentru cuplurile cămașă piston, plungere, manifolduri, pentru pompele care pompează fluidul de fisurare-acidizare în sondă, adaptarea corpurilor hidraulice în vederea accesului rapid la intervenții, identificarea de soluții pentru scheme cinematice compacte care să permită o bună manevrabilitate și eficiență economică a echipamentelor în locație.

Studiul teoretic și experimental al echipamentelor impune, pe lângă analiza parametrilor care trebuie atinși pentru ca tehnologia să fie aplicabilă astfel încât operația să se desfășoare în condiții eficiente și studii privind durabilitatea echipamentelor.

In prezentul Studiu se prezintă procedeele aplicate în operațiile de cimentare - fisurare – acidizare, cerințele operatorilor din zona exploatării țiteiului privitoare la operațiunile speciale la sonde, stadiul actual al echipamentelor utilizate pentru operațiile speciale, problemele cu care acestea se confruntă în timpul operațiilor, factorii care contribuie la scăderea durabilității, se identifica soluțiile inovative de optimizare a echipamentului destinat operațiunilor speciale si de cimentare care sa conducă la creșterea durabilității componentelor echipamentelor si se stabilesc specificațiile tehnice pentru subsansamblurile care includ idei inovative si echipament

Capitolul 2. Cerințe referitoare la operațiunile de cimentare si operațiuni speciale la sonde

Operațiunile de cimentare si operațiunile speciale la sonde se realizează în condiții speciale, iar tehnicile utilizate, presiunile necesare procesului si chimia fluidelor utilizate stau la baza dimensionării echipamentelor implicate în proces si alegerii tipurilor de materiale din care aceste echipamente sunt executate.

De exemplu, la presiune moderată se folosesc pompe cu pistoane monobloc cu dublu efect, de regulă duplex. La presiuni mari se recomandă pompe cu plungere cu simplu efect și de obicei triplex, cele mai folosite în prezent.

La majoritatea soluțiilor tehnice existente pe piață în prezent, al echipamentele de presiune redusă, pompele de presiune, cele cu roți dințate pot fi acționate de la motorul autoșasiului prin intermediul unei cutii de viteze. La echipamentele de presiune mare sau în funcție de alte cerințe, pompele de presiune sunt acționate de motoare Diesel independente montate pe autoșasiuri.

2.1 Tehnica operațiilor de cimentare

Operația de *cimentare primara* [1] se efectuează imediat după tubarea unei anumite coloane (ancoraj, exploatare etc.) si presupune plasarea unei paste liante preparate uzual din ciment si apa în scopuri multiple:

- se împiedica circulația nedorita a fluidelor prin spatele coloanelor, dintr-un strat în altul , spre suprafață sau în interiorul lor prin perforaturi;
- se solidarizează burlanele de pereții găurilor de sonda. Astfel, burlanele sunt capabile sa preia sarcinile axiale date de greutatea coloanei;
- se etanșează spațiul inelar, burlanele fiind protejate în exterior de acțiunea apelor subterane mineralizate.

Cimentările care se fac pentru remediere (pentru retragerea de la un strat epuizat sau inundat, de izolare a unui strat cu gaze) sunt considerate *cimentări secundare*.

Cimentările care se executa in gaura deschisă (netubată), fie in cazul obturării anumitor formațiuni de mare permeabilitate in care se pierde fluid de foraj , fie in cazul obținerii unui dop rezistent când se pune problema forării unei alte găuri de sonda se numesc **cimentări speciale**.

La reușita sau nereușita unei operații de cimentare contribuie foarte mulți factori care pot fi grupați in trei categorii : geologici, tehnici , tehnologici .

- Factori geologici – prezența, natura si presiunea fluidelor cantonate in formațiunile traversate , litologia si permeabilitatea rocilor, existenta fisurilor si cavernelor naturale, presiunea de fisurare, temperatura geostatica.

- Factori tehnici : geometria spațiului cimentat si echiparea coloanei de burlane .

- Factori tehnologici: natura si proprietățile fluidului de foraj dezlocuit si ale pastei de ciment , prezenta , volumul , tipul si caracteristicile fluidului de spălare si separare, regimul de curgere, interacțiunea fluidelor in contact , metoda si tehnologia de cimentare aplicata.

Operația de cimentare este operația executată cu agregate/echipamente care asigură prepararea si pomparea pastei de ciment, la pomparea fluidelor de separare si a noroiului de refulare. Uneori pasta de ciment se prepara cu pompe centrifuge din dotarea instalației de foraj , alteori noroiul de refulare se pompează cu pompele de noroi.

2.2 Tehnica operațiilor de fisurare, acidizare

Exploatarea primară a zăcămintelor este asigurată de energia proprie a zăcământului de țiței, energie creată de forțe motoare și forțe de reținere care se opun mișcării. Atâta vreme cât forțele active sunt superioare celor de reținere, fluidele din strat sunt în mișcare și sunt expulzate. In momentul în care forțele active sunt mai mici decât cele de reținere, țițeiul nu mai poate fi expulzat și este reținut în strat.

Exploatarea primară consumă forțele motoare naturale, ceea ce conduce la un factor de recuperare a țițeiului conținut în strat de doar 8 ÷15% în medie.

Măsurile de completare pe cale artificială a consumului de energie naturală în cazul menținerii de presiune sau de refacere a energiei zăcământului sunt propuse și asigurate de exploatarea secundară a țițeiului.

Se menționează faptul că forțele motoare mai importante sunt presiunea gazelor, presiunea apelor din sinclinal, forța gravitației și variațiile de temperatură. Aceste forțe se găsesc în zăcământ în echilibru static și sunt generate de presiunea hidrostatică a locului, de rezistența și greutatea rocilor, de temperatura de strat și de starea de echilibru a straturilor.

Forțele care se opun curgerii fluidului sunt forțele de reținere, forțele de frecare, forțele capilare, forțele de adeziune, etc.

Recuperarea secundară se aplică zăcămintelor epuizate și are rolul de refacere a energiei pierdute sau expulzarea artificială a țițeiului.

La sondele la care productivitatea este scăzută se aplică metode de intensificare a afluxului de țiței, adică metode care să combată rezistențele din strat.

Metodele de intensificare a afluxului de țiței se grupează în două categorii:

- metode care acționează asupra sistemului de fluide
- metode care acționează asupra rocii (fisurare).

Acolo unde sonda se confruntă cu o permeabilitate naturală redusă în jurul găurii de sondă se aplică operația de **fisurare hidraulică - acidizare**. Scopul acestei operații este de a crește debitul de curgere prin mărirea permeabilității sau a creșterii presiunii diferențiale.

Metodele de intensificare a afluxului de țiței presupun materiale și un echipament special, care nu este utilizat în mod uzual la intervențiile propriu-zise la sonde.

Operația de fisurare [2] a unui strat este operația executată cu agregate în scopul deschiderii sau extinderii unor fisuri naturale, existente în strat, prin pomparea unui lichid la presiune ridicată, într-o zonă situată în jurul sondei. Fisurile deschise se mențin în această stare cu ajutorul unui material de susținere, de obicei nisip cuarțos. Sau se utilizează fluide fisurare acide.

Operația de fisurare hidraulică se aplică și la punerea în producție a sondelor care au o zonă contaminată cu depuneri din fluidul de foraj.

*In ambele cazuri, cimentare primara si operațiuni speciale la sondă, debitul de pompare, vâscozitatea și filtrația fluidului utilizat și presiunea necesară sunt parametri importanți care se stabilesc prin programe speciale și care sunt asigurați de **echipamente speciale destinate acestor operații**.*

Echipamentele utilizate, pe lângă faptul ca trebuie să asigure parametrii optimi de funcționare în vederea derulării cu succes a operațiunii, trebuie să asigure prin componentele lor și o rezistență sporită la coroziune, abraziune, ținând cont de faptul că fluidele implicate în aceste operații au un puternic efect coroziv și abraziv.

In aceste condiții, derularea unor cercetări privind alegerea materialelor din care vor fi executate componentele de bază ale echipamentelor, privind tratamentele care pot fi aplicate acestor materiale în scopul creșterii rezistenței acestora la solicitările din timpul funcționării, are ca obiectiv obținerea de rezultate care să asigure funcționarea optimă a echipamentelor și implicit succesul operației de fisurare.

2.3 Parametrii operațiilor speciale la sonde

2.3.1 Presiunea necesară

Operații de cimentare

În timpul operației de cimentare trebuie ca presiunea efectivă (cea hidrostatică plus cea dată de frecări) să nu depășească pe toată durata operației, în nici-un punct din spațiul inelar, presiunea de fisurare a straturilor, pentru a evita fisurarea sau deschiderea fisurilor straturilor izolate.

Tipul echipamentului/agregatului de cimentare se alege în funcție de presiunea maximă ce se dezvoltă la sfârșitul operației și se calculează cu relația:

$$P_{max} = p_1 + p_2 \quad (1)$$

unde :

- p_1 – presiunea de circulație;
- p_2 – presiunea suplimentară datorită greutăților specifice diferite ale laptelui de ciment și ale noroiului;

Presiunea p_1 se calculează în funcție de L – lungimea coloanei tubate în metri:

$$P_1 = 0,01 \times L + 8 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \text{ (pentru sonde cu adâncimea până la 1000 m);}$$

$$P_2 = 0,01 \times L + 16 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \text{ (pentru sonde mai adânci de 1000 m);}$$

Operații de fisurare

Presiunea de fisurare variază în funcție de adâncimea sondei, de diametrul țevilor prin care se pompează în strat, de structura stratului, de vâscozitatea și debitul fluidului de fisurare.[3,4,5] [7,8,9]. De asemenea presiunea de fisurare variază și cu porozitatea, permeabilitatea și gradul de cimentare al rocii.

Vâscozitatea fluidului de fisurare și starea de curățenie a suprafeței stratului de fisurat influențează, de asemenea, valoarea presiunii de fisurare.

Presiunile la gura sondei, recomandate în practică [6] [10], pentru fisurarea stratelor din România, sunt prezentate în Tabelul II.1:

Tabelul II.1. Presiunile la gura sondei recomandate pentru operația de fisurare

Adâncimea m	Presiunea [bar]
500	25 – 50
1000	50 – 100
1500	75 – 150
2000	100 – 200
2500	125 – 250

Prin pomparea fluidului de fisurare în strat cu o anumită presiune se inițiază și se propagă fisuri. Geometria fisurii create poate fi aproximată prin modele care iau în considerare proprietățile mecanice ale rocii rezorvor, proprietățile fluidului de fisurare, condițiile în care fluidul este injectat (debit, presiune) și distribuția tensiunilor în mediul poros.

2.3.2 Fluidele utilizate

Operații de cimentare

Cimentul de sondă este un amestec omogen de argilă și calcar care se încălzește treptat până la o temperatură de cca 1350 °C și apoi se răcește după un anumit program tehnologic. Produsul rezultat se macină foarte fin în prezența unui adaos de gips 3 – 5 % (gipsul având rolul de a lungi timpul de priză) și se amestecă cu apa rezultând **laptelul de ciment**.

Prizarea și întărirea laptelui de ciment constituie un proces fizico – chimic foarte complex care începe odată cu prepararea acestuia și se termină prin întărirea completă.

În funcție de greutatea specifică se poate utiliza la cimentarea pe înălțimi mari în spațiul inelar, sau pentru a nu strica echilibrul hidrostatic între gaura de sonde și strat când se folosesc noroaie cu greutate specifică mare.

Fluidul utilizat la cimentare este laptele de ciment care are, în medie, o greutate specifică de $1,80 - 1,84 \times 10^4 \text{ N/m}^3$. În funcție de operațiile efectuate și pentru a nu strica echilibrul hidrostatic dintre gaura de sonde și strat se practică reducerea sau mărirea greutății specifice a laptelui de ciment prin:

- mărirea factorului apă – ciment;
 - adaosuri de minerale cu greutate specifică foarte mică;
 - adaosuri de minerale capabile să fixeze cantități foarte mari de apă ;
- sau
- adaosuri de minerale cu greutate specifică foarte mare ;
 - reducerea factorului apă – ciment;

Operații de fisurare [6,7, 8, 9] [3, 10, 14,15]

Fluidele destinate operațiilor de cimentare și fisurare trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să aibă o vâscozitate cuprinsă între $0,1$ și $1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ la presiunea atmosferică;
 - să aibă un filtrat redus;
 - să fie stabile la variațiile de presiune și temperatură care se produc în timpul operației;
 - să nu reacționeze cu rocile din zăcământ dând săruri insolubile;
 - să nu congeleze până la temperatura de -20°C .

Din punct de vedere al modului în care acționează asupra stratului, fluidele de fisurare se împart în două grupe:

- fluide care pătrund în formațiune, cum ar fi țiteiri brute vâscoase, emulsii de produse negre cu apă, geluri cu hidrocarburi, geluri cu apă, apă sărată acidulată;
- fluide care nu pătrund în formațiune datorită colmatării pe care o produc la suprafața stratului, din care se amintesc noroaiele negre, borhotul provenit de la fabricile de hârtie, etc.

În general se folosesc amestecuri cu geluri de stimulare și geluri de vâscozitate mare pentru fracturarea straturilor și nisip (material de susținere) pentru susținerea fisurilor.

În funcție de operația de fisurare la presiune sau prin acidizare, fluidele utilizate sunt neutre când compușii emulsionanți sau gelifianti sunt apă și țiteiul sau acide când se gelifică sau se emulsionează acizii organici sau anorganici.

Fluide neutre

Fluidele de fisurare neutre, utilizate pentru transmiterea **presiunii de fisurare la rocă**, pot fi de tip newtonian (fluide la care vâscozitatea absolută rămâne constantă dacă tensiunea de forfecare se schimbă), cum ar fi apa sau hidrocarburi și fluide de tip ne newtonian (fluide la care

vâscozitatea aparentă se modifică dacă tensiunea de forfecare variază) cum ar fi emulsiile și gelurile pe bază de hidrocarburi, apă, alcool și apă sau produse petroliere îngroșate etc. obținute prin aditivarea cu substanțe chimice a fluidelor newtoniene menționate.

Aproape toate proprietățile fluidelor de fisurare sunt raportate la vâscozitatea fluidului, care este influențată și de încărcarea cu polimeri.

Polimerul Guar sau hydroxypropylguar – HPG este cunoscut și utilizat în soluții saturate în vederea creșterii substanțiale a vâscozității. Concentrația în polimeri este dată adesea în kg/ 4500 l de fluid, iar valorile tipice sunt 9, 18 și 27 kg/ 4500 l.

Vâscozitatea variază cu temperatura, scăzând cu creșterea temperaturii. Temperatura obișnuită în zăcământ este în jur de 175 – 200° C.

Practica a arătat că vâscozitatea unui fluid de fisurare trebuie să fie în jur de 0,1 kg m⁻¹ s⁻¹ la viteza de 170 sec⁻¹ pentru a putea transporta materialul de susținere.

Pentru a crește vâscozitatea sunt utilizați agenți de legătură, elemente metalice sau compuse. Acestea pot fi borat, titanat, zirconat. Acești agenți pot forma legături cu Guar-ul și HPG, crescând prin masa moleculară vâscozitatea fluidului.

Un fluid ideal de fisurare trebuie să aibă vâscozitate redusă în timpul pompării în sondă, conducând astfel la o reducere a presiunii prin forțe mici de frecare, să aibă maximul cerut de vâscozitate în fisură pentru a transporta materialul de susținere și să revină la vâscozitate redusă la terminarea operației.

Alegerea tipului de fluid de fisurare este condiționată de existența litologică a formațiunii tratate și de calitatea hidrocarburilor ce formează zăcământul.

Primele fluide de fisurare au fost gelurile pe bază de hidrocarburi, preparate prin dizolvarea unui săpun naftenic în petrol lampant.

Prin adăugarea unui agent de spargere a gelului la preparare, sau pomparea lui ulterioară, se obține transformarea gelului într-un fluid de vâscozitate redusă, ușor de îndepărtat din strat și din gaura de sondă la punerea ei în producție.

Fluidele de fisurare pe baza de petrol lampant s-au folosit cu succes la fisurarea gresiilor cu grade de consolidare diferită, cât și la fisurarea calcarelor, dolomitelor și conglomeratelor, deoarece componenții hidrocarbonați ai acestui gel sunt compatibili cu orice tip de formațiune și cu orice tip de hidrocarbură din zăcământ.

Deși are vâscozitate controlabilă, capacitate bună de transport și filtrație mică, reprezentând totodată un fluid de neînlocuit la fisurarea zăcămintelor depletate, s-a renunțat la utilizarea lui datorită prețului de cost ridicat.

Din considerente economice s-a trecut la utilizarea țițeiului ca atare sau amestecat cu apă sărată sub formă de emulsie, ca fluid de fisurare .

Emulsia – reprezintă un amestec omogen a două fluide imiscibile dintre care unul constituie faza continuă (externă) și altul care se prezintă sub formă de picături fine, faza dispersă sau internă. Stabilitatea sistemului este menținută prin adăugarea unui emulgator.

Vâscozitatea țițeiului natural (in general mică) și reducerea marcantă a acesteia sub influența temperaturii din zăcământ impune pomparea continuă și rapidă pentru a asigura transportul nisipului în fisuri.

La debite mari de injecție și diametre mici ale materialului tubular, pierderile de presiune prin frecare ating valori mari care fac prohibitivă uneori utilizarea acestui procedeu simplu și eficient din punct de vedere economic.

Calitatea țiteiului ca fluid de fisurare, poate fi îmbunătățită prin emulsionare.

Ulterior s-au dezvoltat fluide de fisurare pe bază de apă. Aceste fluide se obțin prin gelificarea apei dulci, a apei de zăcământ sau a apei mineralizate (NaCl, KCl, CaCl₂ etc)

Gelul astfel obținut are filtrație mică, poate transporta cantități mari de nisip, în suspensie, iar pierderile de presiune prin frecare sunt cu 40% - 80% mai mici decât cele ale fluidelor de fisurare pe bază de hidrocarburi. Ca agenți de gelificare se folosesc polimeri naturali de tipul Guma-guarului și polizaharide sau polimeri sintetici de tipul poli(acrilamidei), hidroxietilcelulozei sau derivați hidropropilici ai Guma-guarului. Agenții de gelificare menționați îndeplinesc concomitent și rolul de agenți de reducere a frecării.

Soluțiile de polimeri în apă constituie o noutate care justifică o prezentare mai detaliată având în vedere posibilitatea utilizării lor pentru obținerea fluidelor de fisurare pe bază de apă.

Introducerea unui agent de spargere a gelului reduce vâscozitatea acestuia până la valori apropiate de cele ale apei, astfel că sonda tratată se curată ușor și repede.

Fiind stabile la temperaturi ridicate, gelurile pe bază de apă au permis fracturarea unor sonde cu temperaturi de circa 150°C și utilizarea unor cantități mari de agent de susținere pe operație.

Tendința actuală pe plan mondial este de a înlocui fluidele de fisurare pe bază de hidrocarburi, cu fluide de fisurare pe bază de apă.

Cercetările ultimilor ani au condus la realizarea de produse noi care au fost experimentate cu rezultate pozitive în șantier, cum ar fi fluidele de fisurare Emulsigel și Polialcogel. Acestea sunt fluide ne-newtoniene pe bază de polimeri reticulați, fără solide, cu pierderi mici de presiune prin frecare, ușor de distrus prin mijloace chimice.

Operațiile s-au executat în condiții deosebite la presiuni de pompare cuprinse între 48- 740 bar, cu volume mari (150-160 m³) și cantități relativ ridicate de material de susținere.

Fluide acide

În operația de stimulare poate fi folosit în fisurarea stratului un fluid de fisurare acid. Acesta poate fi o emulsie acidă preparată din soluție acidă, un produs petrolier și un emulgator. Proportia de soluție acidă poate varia în funcție de tipul emulsiei și de condițiile programului de tratament. Emulsia poate fi directă (țitei în acid) sau inversă (acid în țitei).

Au fost realizate și experimentate produse noi cu rezultate pozitive în șantier, cum ar fi soluțiile de acidizare tip Tensal și tip Gelcor.

Factorii care acționează asupra comportării fluidelor acide în cadrul operațiilor de fisurare sunt :

- Compoziția

Rețetele au fost elaborate pentru diverse tipuri de roci colectoare.

Pentru gresiile cu ciment calcitic (conținut în carbonați mai mare de 20%) ca și pentru calcare se recomandă soluții acide complexe pe bază de acid clorhidric 15%.

Pentru gresiile cu ciment silicios se recomandă soluții acide complexe pe bază de amestec de acid clorhidric (8-12%) și acid fluorhidric (4-8%).

Pentru gresiile cu ciment argilos, compoziția soluției acide este asemănătoare cu cea recomandată și pentru gresiile silicioase, cu deosebirea că acidul fluorhidric este adăugat numai în proporție de 2-4%.

La calcarele dolomitice și la dolomite, se recomandă o rețetă pe bază de acid clorhidric și acid acetic.

Când se constată prezența cationilor precipitabili (fier bivalent) se mărește procentul de acid acetic acesta jucând rolul de agent de menținere în soluție a sărurilor precipitabile (agent de chelatizare).

- Temperatura și presiunea

Rețetele elaborate în mai multe variante, au fost testate în laborator pe eșantioane de material tubular identic cu cel din sondă și pe carote din formațiunea de tratat, la temperatura stabilită pentru adâncimea respectivă. Pe baza rezultatelor acestor testări, s-a ales rețeta cu eficiența maximă în ceea ce privește inhibarea coroziunii și moderarea vitezei de reacție a acidului cu roca. Acestea îi revine un rol important în scăderea presiunii de reacție și de coroziune astfel, viteza de reacție a acidului neaditivat scade cu 5% la 10 bar și cu 40% la 20 bar, în comparație cu viteza de reacție la presiunea atmosferică. La soluțiile acide complexe scăderea vitezei de reacție este și mai importantă atingând 60% la 10 bar și 80% la 20 bar.

- Tipul de acid utilizat

În practică se utilizează în rețete complexe acidul clorhidric, datorită eficienței mai ridicate și a prețului de cost mai scăzut.

În cazul gresiilor silicioase sau argiloase care sunt compuse dintr-un amestec de alfa-cuarț (SiO_2), calcita și silicați proveniți din minerale argiloase, inclusiv feldspații, se recomandă folosirea acidului fluorhidric în concentrație de 2-10% în combinație cu acid clorhidric.

Deși cu un preț de cost ridicat (95 000 lei/t față de 600 lei/t în cazul HCl), HF nu poate fi înlocuit în astfel de cazuri de niciun alt tip de acid.

Acidul acetic a fost inclus în rețeta având rolul menținerii pH-ului soluției acide consumate între 3-4,5, prevenind precipitarea sărurilor de fier și a hidroxizilor.

Pentru a preveni dificultățile legate de creșterea pH-ului se recomandă punerea sondei în producție imediat după terminarea acidizării, fără pauză de reacție.

- Concentrația de acid

La alegerea concentrației în acid, trebuie să se țină seama de considerente de ordin chimic și de ordin tehnologic. Astfel, întrucât inhibitorii de coroziune și întârzierii de reacție existenți nu asigură o inhibare suficientă la temperaturi de 100° -150° pentru acidul clorhidric concentrat 28%, s-a renunțat la folosirea acestuia la tratamentul sondelor de mare adâncime. De asemenea, nu se folosesc niciodată la concentrație comercială acizii organici (formic, acetic) din cauza solubității reduse a sărurilor lor (formiat și acetat de Ca) și se lucrează cu o concentrație de 10- 11% . Știindu-se că sărurile de magneziu ale acizilor organici sunt mai solubile decât sărurile de calciu la acidizarea dolomitelor se recomandă rețete pe bază de amestec al acizilor organici cu acid

clorhidric, deoarece în acest caz acizii organici au capacitate mai mare de dizolvare a carbonatului de magneziu decât acidul clorhidric.

Concentrația mai redusă în acid clorhidric (8-12%) se recomandă și în cazurile temperaturilor ridicate (150° -170°) existente în formațiunile cu receptivitate redusă în care nu se poate efectua răcirea prealabilă a formației prin injecție de apă tratată, soluția diluată fiind mai ușor de inhibat la aceste temperaturi.

În cazul soluțiilor complexe obținute prin amestecul acidului clorhidric cu acid fluorhidric, concentrația în acid clorhidric s-a stabilit în funcție de compoziția mineralogică a colectorului și istoricul sondei. Astfel, la gresiile silicioase sau la colectoarele în care s-au pierdut cantități mari de noroi în timpul forajului sau s-a refăcut proba din motive tehnice care au necesitat omorârea sondei, s-a recomandat o concentrație maximă în acid fluorhidric de 8-12%.

La gresiile argiloase concentrația în acid fluorhidric a fost scăzută la 2-4%, deoarece în cazul acestor colectoare există riscul ca acidul hexafluosilicic (H_2SiF_6) ușor ionizabil la temperaturi ridicate, să formeze cu silicații din argilă hexafluosilicati de sodiu cu tendințe de a forma la creșterea pH-ului un precipitat gelatinos.

La acidizarea gresiilor silicioase, știindu-se că pe lângă cuarț și silicați în compoziția acestora intră în procente variabile și calcita, se recomandă ca înaintea soluției de stimulare cu acid fluorhidric să se injecteze un pachet de soluție de acid clorhidric diluat, cu rolul de a acționa cu calcit și alți compuși calcaroși din rocă în scopul evitării consumării în aceste reacții a acidului fluorhidric, acesta având rolul de a ataca cuarțul și silicații din argilă. În afara concentrației acidului, în funcție de temperatură se modifică și concentrația în inhibitori de coroziune sau moderatori de reacție.

Valoarea optimă a cantității de acid necesară s-a determinat prin analiza rezultatelor unui număr mare de operații experimentale care au condus la concluzia că pentru obținerea unei eficiențe maxime sunt necesare volume de soluție acidă cuprinse între 0,5-1 m³/metru perforat la acidizările de matrice și între 2-5 m³ soluție acidă/metru perforat la fisurările acide.

Operația de fisurare, în practică, se face cu debite variind între 1000 – 1700 l/min, care sunt asigurate de pompe speciale prin intermediul cărora se pompează fluidul în sondă.

Programele de fisurare utilizate în România și fluidele de fisurare aferente, sunt prezentate în **Anexa I**.

În tabelul următor se prezintă tipul aditivilor și al chimicalelor recomandate de către Departamentul de Stat pentru Conservarea Mediului din New York, SUA, pentru fluidele de fisurare/fracturare hidraulică utilizate în statul New York, respectiv în alte state din SUA. Fluidul utilizat pentru fisurarea/fracturarea hidraulică cu volum mare este de obicei format din mai mult de 98% apă dulce și nisip, cu aditivi chimici care conțin 0,5-2 % din volumul final al fluidului.

Tipul aditivului	Rol / Utilizare	Chimicale recomandate
Material de susținere	Materialul de susținere deschide fracturile și permite gazului / fluidelor să curgă mai liber către gaura sondei.	Nisip [Bauxita sinterizată; oxid de zirconiu, bile ceramice]
Acid	Curăță intervalele de perforație a cimentului și a	Acid clorhidric (HCl,

	noroiului de foraj înainte de injectarea lichidului de fisurare/fracturare și oferă o cale accesibilă la formare.	3-28%) sau acid muriatic
Agent de rupere / reducere a vâscozității	Reduce vâscozitatea fluidului pentru a elibera agentul de răcire în fracturi și pentru a îmbunătăți recuperarea fluidului de fisurare/ fracturare.	Peroxidisulfati
Bactericid / Biocid	Inhibă creșterea organismelor care ar putea produce gaze (în special hidrogen sulfurat) care ar putea contamina gazul metan. De asemenea, previne dezvoltarea bacteriilor care pot reduce capacitatea fluidului de a transporta substanțele propice în fracturi.	Gluteraldehidă; 2-Bromo-2-nitro-1,2-propandiol
Agent de reglare a pH-ului	Reglează și controlează pH-ul fluidului pentru a maximiza eficacitatea altor aditivi, cum ar fi agenții de reticulare	Carbonat de sodiu sau potasiu; acid acetic
Agent de stabilizare / control al argilei	Previne umflarea și migrarea argilelor de formare care ar putea bloca spațiile porilor, reducând astfel permeabilitatea.	Săruri (de exemplu clorură de tetrametil amoniu) [Clorură de potasiu]
Inhibitor de coroziune	Reduce formarea de rugină pe tuburile de oțel, carcasa puțurilor, sculele și rezervoarele (utilizate numai în fluidele de fisurare/fracturare care conțin acizi).	Metanol; bisulfat de amoniu pentru eliminarea oxigenului
Agent de reticulare	Vâscozitatea fluidului este crescută utilizând esteri fosfatici combinați cu metale (agenți de reticulare). Vâscozitatea crescută a fluidului de fisurare/ fracturare permite fluidului să transporte mai mult agent de susținere în fracturi.	Hidroxid de potasiu; săruri de borat
Agent de reducere a frecării	Permite injectarea fluidelor de fisurare/fractură la viteze și presiuni optime prin minimizarea frecării.	Copolimer acrilat-acrilamidă de sodiu; poliacrilamidă (PAM); distilate de petrol
Agent de gelifiere	Crește vâscozitatea lichidului de fisurare/ fracturare, permițând fluidului să transporte mai mult agent de susținere în fracturi.	Gumă de guar; distilat de petrol
Agent de control al fierului	Previne precipitarea carbonaților și a sulfatilor (carbonat de calciu, sulfat de calciu, sulfat de bariu) care ar putea împiedica formarea.	Clorură de amoniu; etilen glicol; poliacrilat
Solvent	Aditiv care este solubil în petrol, apă și fluide de tratament pe bază de acid, care este utilizat pentru a controla umectabilitatea suprafețelor de contact sau pentru a preveni sau sparge emulsiile.	Diverse hidrocarburi aromatice
Surfactant	Reduce tensiunea superficială a fluidului de fisurare/fracturare, ajutând astfel recuperarea fluidului.	Metanol; izopropanol; alcool etoxilat

In baza celor prezentate în cadrul capitolului concluzionăm ca alegerea și exploatarea echipamentelor destinate executării operațiilor speciale se face în funcție de anumite condiții specifice pe care acestea trebuie să le îndeplinească.

- **Presiunea de fisurare**

În practică s-a observat că presiunea de fisurare, măsurată la nivelul fisurii, variază în limite mari pentru sondă. Pentru deschiderea fisurii trebuie asigurate două valori ale presiunii, și anume:

- presiunea de rupere a rocii care anulează efectul de compresiune
- presiunea de injecție care reprezintă presiunea de extindere a fisurii în rocă.

Presiunea de fisurare și debitul sunt parametri importanți pentru alegerea agregatului. În funcție de presiunea și de debitele necesare la pomparea fluidelor la adâncimea la care trebuie efectuată operația de cimentare / fisurare se calculează puterea necesară grupului de acționare, se întocmește schema cinematică a agregatului și se stabilesc caracteristicile pompei.

- **Fluidele de cimentare – fisurare - acidizare**

Fluidele de cimentare / fisurare trebuie să îndeplinească condiții de vâscozitate, filtrație, stabilitate la temperatură și pierderi mici de presiune prin frecare la pomparea lor. După cum s-a prezentat, în general se folosesc amestecuri de apă și ciment pentru cimentare și amestecuri cu geluri de stimulare și geluri de vâscozitate mare pentru fracturarea stratelor și nisip (material de susținere) pentru susținerea fisurilor.

Fluidele de cimentare / fisurare sunt neutre când compușii emulsionanți sau gelifianți sunt apa și țiteiul sau acide când se gelifică sau se emulsionează acizii organici sau anorganici.

Amestecul de fisurare joacă un rol important, mai ales, în zăcămintele de mare permeabilitate, unde trebuie menținut un echilibru hidrostatic pentru a ține formațiunea sub control și a controla pierderile de fluid. După cum s-a discutat în detaliu, în capitolul anterior, trebuie menținută a anumită vâscozitate a fluidului de fisurare care variază cu tipul formațiunii, temperatura și comportarea formațiunii la apă. [18-20].

Pe de altă parte, odată cu creșterea temperaturii vâscozitatea scade și susținerea presiunii devine o problemă. În acest caz se impune înglobarea în amestec a materialului de susținere. Utilizarea în amestec atât a gelurilor cât și a particulelor solide poate conduce la astuparea fisurilor. În această situație se folosesc acizii ca elemente de rupere.

În concluzie, un amestec de cimentare / fisurare eficient, presupune îndeplinirea anumitor condiții, precum utilizarea de componente adecvate procesului, nisipului ca material de susținere și a soluțiilor acide ca elemente de rupere sau spălare, elemente care au o influență majoră asupra comportării la uzare a componentelor echipamentelor destinate operațiilor de fisurare.

- **Dinamica procesului de amestec**

Procesul de pregătire a amestecului de fisurare comportă două subprocese de lucru principale:

- procesul de amestec

- procesul de transport.

Cele două subprocese sunt interdependente, atât prin prisma asigurării succesului operațiilor de cimentare - fisurare – acidizare cât și prin prisma efectelor înregistrate componentele echipamentului în timpul procesului.

In cazul în care echipamentul este destinat în mod special preparării amestecurilor de cimentare care constau în apa și ciment, acestea vor avea o influență majoră asupra comportării vasului de amestec, elementelor de pompare și a manifoldurilor de transport.

In cazul în care echipamentul, este destinat în mod special preparării amestecurilor fisurare care constau în sisteme de nisip cuarțos, ceramică, acestea vor avea o influență majoră asupra comportării materialelor din care sunt construite șnecurile de transport, șnecurile dozatoarelor de aditivi și vasul de amestec, care, datorită contactului cu nisipul cuarțos, sunt supuse unui permanent efect de uzură de abraziune.

Factorii care intervin într-un asemenea proces dinamic de transport sunt factori interni sau externi cum ar fi: debitul amestecului de nisip și aditivi, presiunea, compoziția amestecului, erorile umane, vremea și condițiile de mediu, de instalare, dezordini în sistem (erori de întreținere, reparații), inspecție la nivel minim etc. Uzura de abraziune capătă o formă specifică în cadrul acestui proces, denumită *uzură de eroziune*.

Practica a evidențiat faptul că, amestecul, pomparea și transportul prin manifolduri conduc la uzuri de abraziune și coroziune.

In cazul în care procesul de fisurare implică acidizarea, problema majoră cu care se confruntă subsambele care utilizează metale, este coroziunea. Coroziunea conduce la avarierea echipamentului, proasta funcționare și distrugere, mai ales a vasului de amestec, elementelor de pompare și a manifoldurilor de transport .

In acest caz, este ideal să fie practicat un management al coroziunii, care include particularitățile de proiectare, alegerea materialului, fabricarea, transportul, instalarea și întreținerea.

Managementul coroziunii este un nou concept de planificare a sistemului de operare începând cu proiectarea până în faza de întreținere.

In abordarea conceptului de management, prevenirea coroziunii și controlul începe din faza de **proiectare** și au în vedere **predicția** și măsurarea potențialului de risc. Rezultatele acestor evaluări reprezintă bazele soluțiilor de alegere a materialului și a soluțiilor de protejare.[24-27]

Capitolul 3: Analiza produselor existente pe piața națională și mondială în corelație cu cerințele operatorilor din zona petrol privitoare la operațiuni speciale la sonde

3.1 Principii constructive și de funcționare ale agregatelor de cimentare – fisurare

Agregatele de cimentare sunt utilizate la prepararea și pomparea pastei/suspensiilor de ciment (operațiuni de cimentare), la pomparea fluidelor de separare și a noroiului de refulare și la alte operațiuni speciale (fisurare, echilibrare).

În construcție normală, agregatele sunt montate pe autoșasiu, pe semiremorcă, sau mai rar, în cazul forajului marin, locațiilor izolate sau îndepărtate, pe săniile prevăzute cu posibilități de tractare și ridicare.

Agregatele autotransportabile sunt alcătuite din următoarele echipamente de bază:

- una sau două pompe de presiune cu plunjeri sau pistoane, care asigură parametrii tehnici normali la aspirație naturală.

- o pompa cu roți dintate pentru alimentarea cu apă a amestecatorului / palniei de amestec ;

- o haba/rezervor de măsurare împartită în două compartimente egale cu gradatii de 100 l, protejate împotriva coroziunii; prin intermediul acestora, umplând și golind alternativ cele două compartimente, se măsoară volumul de noroi pompat în sondă pentru a plasa pasta în spațiul dorit;

- amestecator de ciment cu duze (pentru operația de cimentare), alimentat cu apă de către pompa de apă,

- manifoldurile agregatului.

Schema de principiu a unui agregat de cimentare este :

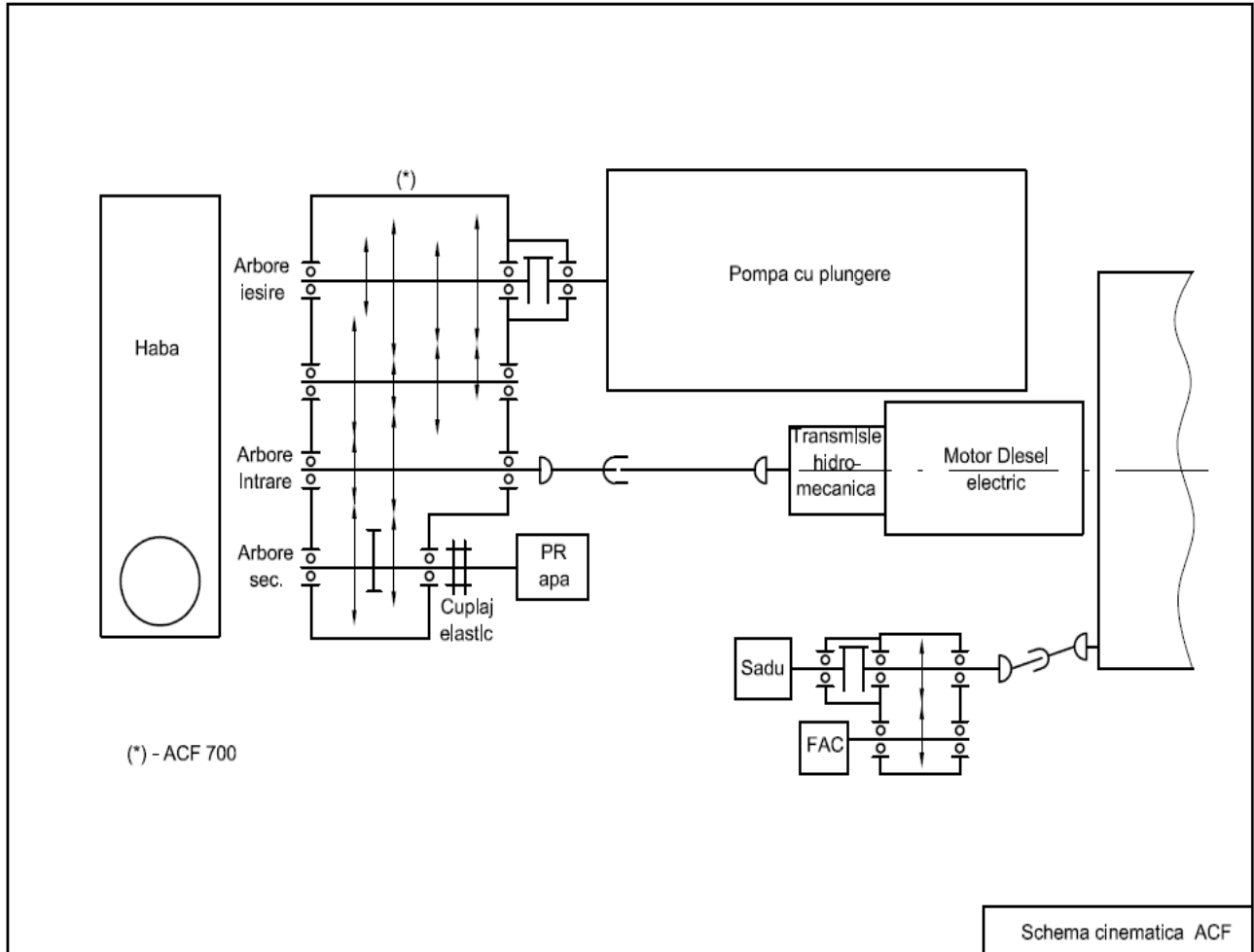


Fig.3.1.Schema cinematică a unui agregat de cimentare

Principiul de funcționare

Puterea necesară antrenării pompei triplex este furnizată de un grup motor compus din motor Diesel sau electric (mai ales în cazul montarii pe sanie) si transmisie hidromecanică sau hidraulică. Pornirea motorului se face electric sau pneumatic. Pentru pornire ușoară în condiții de temperatură scăzută, motorul este echipat cu instalație de preîncălzire a apei și uleiului.

La echipamentele de prima generație comanda ambreiajului și accelerației se realizează de la pupitru agregatului, unde sunt montate toate aparatele motorului. Ambreiajul se comandă printr-un sistem de pârghii cu acționare la picior, iar accelerația se comandă mecanic cu cablu, la mână. Comanda ambreiajului este prevăzută cu un sistem de frânare care intră în funcțiune la finele cursei de debrriere, asigurând oprirea rapidă a pompei cu plungere. La echipamentele de ultimă generație comenzile sunt automatizate.

Fluxul de putere este transmis de la grupul motor prin intermediul unui ax cardanic la o cutie de viteze/reductor care asigură în funcție de necesități un număr diferit de viteze.

De la cutia de viteze, fluxul de putere este transmis prin intermediul unui cuplaj dințat la pompa cu plungere și prin cuplaj elastic la pompa de apă.

Mișcarea primită de la transmisie este transformată din mișcare de rotație, în mișcare de translație a plungerelor, prin intermediul unui **mecanism de transmisie** echipat cu angrenaj în „V”.

Mecanismul de transmisie este compus din:

- *Angrenajul în „V”*, care are coroanele fixate pe arborele cotit prin șuruburi de păsuire. Forța axială dezvoltată în fiecare coroană împinge coroana spre umărul arborelui cotit și nu creează solicitări suplimentare în șuruburile de fixare. Nu se va schimba sensul de antrenare al pompei, pentru a nu modifica sensul forțelor axiale.
- *Axul pinion* sprijinit pe 2 rulmenți radiali cu role care îi permit deplasarea axială necesară autocentrării după coroane. Capul de antrenare al axului pinion este etanșat față de baia de ulei cu un inel de etanșare care lucrează pe o bucșă de uzură.
- *Bielele* au lagăr de alunecare, la maneton (cuzinet bimetalic din două bucăți) iar la capul de cruce articulație sferică.
- *Capul de cruce* de formă cilindrică culisează într-o cămașă fixată în corpul fremei. Atât capul de cruce cât și cămașa sunt executate prin turnare, din fontă.

Pentru funcționare normală între capul de cruce și cămașă este asigurat un joc de 0,180 – 0,230 mm.

Circulația fluidelor este asigurată prin intermediul **manifoldurilor**, care permit:

- *aspiratia* pompei cu plungere din fiecare compartiment al rezervorului de măsurare, din cada *aspirația* pentru lapte de ciment sau de la o sursă exterioară, pe ambele laturi ale agregatului;

- *refularea* pompei cu plungere spre gura sondei, pe sterp în rezervorul de măsurare sau în exterior. Refularea pe sterp se realizează printr-o duza reglabilă, comandată manual, care permite o scurgere lentă și controlată a presiunii;

- *alimentarea* fiecărui compartiment al rezervorului de măsurare de la sursa exterioară precum și golirea independentă a fiecărui compartiment;

- *aspirația pompei* de apă din fiecare compartiment al rezervorului de măsurare și refulare spre amestecător printr-un sistem de distribuție a apei spre duzele amestecătorului și de recirculare a plusului de debit în aspirație.

Comenzile agregatului sunt centralizate și se pot efectua de pe podestul amplasat în jurul pupitrului de comandă. La pupitrul de comandă sunt montate atât aparatele de urmărire a funcționării pompei cu plungere și a pompei de apă, cât și cele necesare urmăririi funcționării motorului de acționare. Pentru urmărirea presiunii de refulare, agregatele sunt prevăzute cu manometre cu izolator de mediu și amortizor, montate pe colectorul de refulare al pompei.

Componența instalației de cimentare

Cel mai important element al echipamentului este pompa cu plungere destinată pompării amestecului de cimentare-fisurare-acidizare. *Pompa cu plungere* este o pompă duplex / triplex cu simplu efect, cu angrenaj cilindric cu dantură în „V” construită special pentru regimul de funcționare al agregatului de cimentare.

Pompele sunt concepute să funcționeze într-un regim de turații reduse (35-200 curse duble/minut) asigurând o bună umplere a cilindrilor pompei și un randament volumetric peste 0,9 la o aspirație naturală fără supraalimentare. Aceasta este o caracteristică utilă deoarece simplifică exploatarea și mărește domeniul de utilizare a agregatului de cimentare.

Fără a diminua randamentul volumetric, partea hidraulică a pompei poate fi echipată, după necesitate, cu plungere de $\varnothing 90$, $\varnothing 100$ și $\varnothing 115$ mm, $\varnothing 125$ mm.

Pompa de apă este unul dintre cele mai compacte ansambluri și este destinată să asigure alimentarea cu apă a amestecătorului. Este o pompă cu roți dințate, a carei funcționare și randament volumetric sunt condiționate de jocurile radial și axial, pe care le au roțile dințate față de corpul pompei și respectiv de capacele laterale. Mărirea acestor jocuri conduce la scăderea debitului pompei. Pompa de apă este antrenată de la axul secundar al cutiei de viteze prin intermediul cuplajului elastic.

Amestecătorul de ciment cu jet funcționează pe principiul antrenării cimentului praf din pâlnie cu ajutorul jetului de apă refulat prin duze. Amestecul de apă și ciment se omogenizează pe conducta prin care este transportat spre cada agregatului de cimentare .

Amestecătorul este prevăzut cu 3 duze, două laterale, înclinate, care funcționează numai împreună fiind conectate la același racord de apă și una centrală cu racord de apă separat, care poate funcționa fie separat, fie împreună cu celelalte două duze. Această construcție permite funcționarea amestecătorului cu una, două sau trei duze în funcție de cerințele regimului de funcționare impus.

Densitatea pastei de ciment se reglează cu amestecătorul în funcțiune prin variația debitului de apă cât și prin modificarea numărului de duze în funcțiune.

Modificarea parametrilor de funcționare ai amestecătorului este posibilă și prin modificarea secțiunii de trecere a duzelor.

Suplimentar, alimentarea amestecătorului este prevăzută cu posibilitatea de reglare a debitului de apă, prin recircularea plusului de debit în aspirația pompei, cu ajutorul unei duze reglabile acționată manual.

Rezervor de măsurare de capacitate variabilă împărțit în 2 compartimente egale, fiecare prevăzut cu conductă de preaplin și supape independente pentru pompe cu plungere și cea de apă. În mod uzual rezervorul este protejat împotriva coroziunii prin *metalizare cu Al*.

Pompe centrifuge destinate alimentării cu apa necesară preparării amestecurilor, funcționează independent și sunt prevăzute fiecare cu o instalație hidrostatică de acționare.

3.2 Nivelul tehnic al echipamentelor utilizate / fabricate pe plan național

3.2.1 Agregate de cimentare și fisurare

Echipamente proiectate de colectivul IPCUP Ploiesti.

AC – 400 C – AC-500A (Anexa II)

- Autoșasiu TATRA 815 PR3 (cu 3 axe, toate motoare, acționat de un motor Diesel TATRA răcit cu aer sau autosasiu), ROMAN sau KRAZ.
- Grup acționare cu motor Diesel Wola 12 ANDVa, CATERPILLAR – C15 - Tier 3;
- Cutie de viteze., CV5 – 302 care asigură (3 viteze pentru pompa cu plungere; 1 ax de ieșire suplimentar cu 2 viteze pentru pompa de apă) sau transmisie CATERPILLAR TH 35E81A;
- Pompe triplex cu plungere model AC-400C și AC 500A ce pot dezvolta o putere de 320CP la presiunea de 400 bar respectiv 500 bar în regim de funcționare intermitent.
- Pompă cu roți dințate PR – 51

agregat	pompa	
AC 400C	AC 400C	motor WOLA 12 AND Va – 350CP – 1250 rpm
AC 500A	AC 500A	motor WOLA 12 AND Va – 350CP – 1250 rpm

ACF 700 (Anexa II)

- Grup acționare cu motor de tip WOLA 12 AND Va – Ip, cu caracteristicile $N = (350 \text{ CP}) 260 \text{ kW}$ și $n = 1250 \text{ rot/min}$. Motorul este prevăzut cu ambreiaj cu discuri normal cuplat (flanșat normal).
- Cutia de viteze de tipul CV – 81 – 350 care asigură 8 viteze la arborele de ieșire, pentru pompa cu plungere și 1 treaptă, la pompa de apă Sadu 100 – 80 – 210 x 4.
- Pompa triplex ACF – 700, $N = (400 \text{ CP}) 298 \text{ kW}$. Pompa dezvoltă 700 bar în regim intermitent.
- Rezervorul de măsurare – rezervorul servește ca mijloc de măsurare a cantității de fluid ce urmează a fi pompat. Este împărțit în două compartimente egale. La interior este protejat contra coroziunii prin metalizare cu aluminiu.

- Mixerul de ciment cu duză rotativă. Mixerul funcționează pe principiul antrenării cimentului praf din pâlnie cu ajutorul jetului de apă. Amestecul apă-ciment se omogenizează pe conducta prin care este transportat spre cada agregatului de cimentare.

AC – 800 $P = (800 \text{ CP})$ 597 kW (**Anexa II**)

- Autoșasiu 32320 DFA.
- Grup acționare cu motor Diesel Caterpillar 3406B DITA.JW – 2 buc; $P_{\text{reg. extern}} = (500 \text{ CP})$, 373 kW; $n = 2\ 100 \text{ rpm}$; $\lambda_{\text{max}} = 134 \text{ daNm}$; $n = 1\ 200 \text{ rpm}$;
- Transmisie hidromecanică ALLISON CLT 754 ; $\lambda_{\text{max}} = 176,2 \text{ daNm}$; $n_{\text{max intrare}} = 2\ 500 \text{ rpm}$;
 $P_{\text{max.intrare}} = (425 \text{ CP})$ 317 kW ;Cinci trepte de viteză
- Pompe triplex (2 buc) cu plungere 3PP -400 ;
- Pompa de apă PR 50 cu caracteristicile, $Q = 1050 \text{ l/min}$, $p = 15 \text{ bar}$

➤ **Dupa anul 2000 a existat o preocupare permanenta de modernizare a acestor echipamente, prioritate avand modernizarea liniei de acționare, liniei de pompare si optimizarea elementelor componente ale pompelor cu plungere.**

Astfel, s-a trecut la grupuri de acționare cu motoare Caterpillar, cu transmisie hidromecanică (de ex: THM 600, Allison) și cutie de viteză cu transmisie hidromecanică pe fiecare treaptă.

În baza modernizărilor s-au putut genera puteri hidraulice mari de până la $1300 \div 1400 \text{ CP}$ / 969 – 1043 kW.

Pe linia de pompare s-a trecut pe linie dublă (2 pompe).

Alte elemente de noutate aduse au fost:

- *utilizarea angrenajelor exterioare care permit:*
- *modulizare;*
- *reducerea gabaritului pompei (reducerea angrenajului arborelui cotit);*
- *montarea în orice poziție a axului cardanic de antrenare față de motoare, cutie de viteze;*
- *utilizarea plungerelor tubulare acoperite cu AlO_2 în jet de plasmă care asigură rezistență la coroziune (acizi), implicit creșterea durabilității;*
- *utilizarea corpurilor hidraulice forjate în locul celor turnate, ceea ce asigură posibilități de montare- demontare rapidă și acces pentru intervenție usoară la schimbarea garniturilor.*

A fost concepută o noua familie de de agregate de cimentare / fisurare.

ACFA 1000 DH (**Anexa II**)

- Grup de acționare cu motor ATC – 600. Este prevăzut cu pornire electrică, sistem de preîncălzire, sistem electric de accelerare, filtru parascântei. Grupul motor are caracteristicile $P = (600\text{CP})$ 447 kW și $n = 2\ 100 \text{ rot/min}$.

- Transmisie hidromecanică THM – 600 flanșată pe motor. Este prevăzută cu sistem automat de schimbare a vitezelor în intervalele 2-3 și 3-4 și cu sistem manual de schimbare a vitezelor în intervalul 1,2 .

- Pompa triplex plungere SP – 710 ;
- Rezervor de măsurare împărțit în două compartimente egale și prevazute cu deversor mecanic. Rezervorul este prevăzut cu supapele și manifoldurile necesare pentru a asigura

încărcarea cu fluid a fiecărui compartiment, aspirația pompei triplex din fiecare compartiment, aspirația pompei de apă dintr-un compartiment și scurgerea într-o zonă comună ambelor compartimente.

- Pompă de recirculare și supraalimentare FAC 100 – 125 – 400 și o pompă de apă SADU 100 x 80 x 210, ambele acționate hidrostatic de la priza de putere a autoșasiului;

Echipamente executate de PETAL Husi

Firma PETAL S.A. are în programul de producție agregate de cimentare a căror lanț cinematic este format din componente între care transmiterea mișcării este mecanică. Nivelul tehnologic rămas la nivelul anilor 1980 face ca cererea să fie din ce în ce mai redusă pentru acest agregat de cimentare, în special din cauza costului ridicat și a performanțelor scăzute. Inițierea acestui proiect conduce la apariția unui produs la nivel mondial, care va asigura o producție modernă la SC. PETAL SA.

Exemplificăm cu Agregatele de cimentare și fisurare ACF 700 și ACF 1050, principalele instalații luate în considerare pentru introducerea ideilor inovatoare în cadrul proiectului de față.

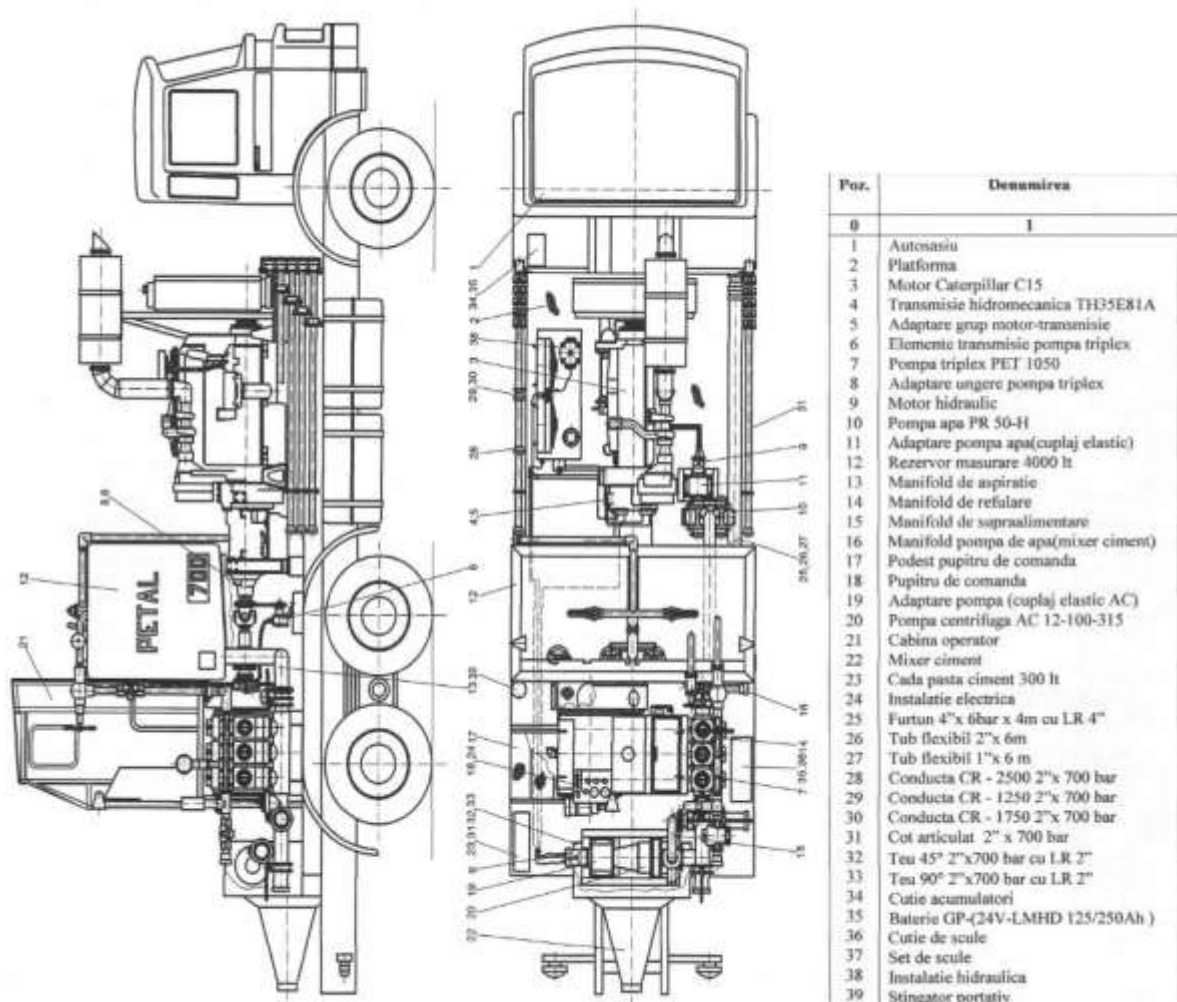
Instalație ACF1050

Viteza la cutia de viteze	Nr.curse duble la pompa triplex	Presiunea nom. de lucru, (bar)				Debitul teoretic max. (l/min.)			
		Diametrul plungerelor, (mm)				Diametrul plungerelor, (mm)			
		85	100	115	125	85	100	115	125
Agregatul de cimentare și fisurare ACF-1050									
I	31,40	1000	700	530	450	131	181	239	283
II	42,76	710	510	390	330	178	247	326	385
III	58,01	525	380	280	240	242	335	443	523
IV	76,52	400	280	210	180	319	442	584	690
V	102,43	300	210	160	130	427	591	782	924
VI	139,48	210	150	120	100	582	805	1065	1258
VII	189,24	160	110	80	70	789	1092	1445	1707
VIII	249,60	120	80	60	50	1041	1441	1905	2251

Subansamblurile actuale ale echipamentului de cimentare au următoarele caracteristici tehnice:

- Pompa triplex cu plungere:
 - o Presiunea maximă: 1050 bar;
 - o Debitul teoretic maxim: 1170 l/min;
 - o Puterea maximă la 1050 bar: 315 kW;
 - o Turația maximă la intrare: 2100 rot/min;
 - o Masa netă: 2498 kg.
- Pompa de apă tip SADU-M-100-210:
 - o Presiunea maximă: 16bar;
 - o Debit maxim: 1166 l/min;

- o Puterea maximă de antrenare: 75 kW;
- o Turația maximă la intrare: 2900 rot/min.
- Amestecător de ciment cu jet:
 - o Capacitate max. prel. ciment uscat: 100 t/h;
 - o Număr duze: 3;
 - o Presiune max. de alimentare cu apa: 20 bar;
 - o Înălțimea de refulare: 1400 mm.
- Motor Caterpillar tip 3406 DI-TI:
 - o Putere maximă: 358 kW;
 - o Turație: 2100 rot/min.
- Transmisia Allison tip MT 750 DR:
 - o număr trepte viteza: 5;
 - o gama turații: 1900 – 2500 rot/min.;
 - o Putere maximă la intrare: 332 kW.
- Parametrii procesului de pompare mășurați sunt: presiune refulare, pompa triplex, debitul, volumul pompat, densitate lapte de ciment.
- Parametrii de lucru care sunt afișați la pupitrul de comanda sunt:
 - o Pentru motorul Caterpillar: indicator turație motor,
 - o Pentru transmisie: indicator de turație
 - o Pentru pompa triplex: indicator presiune refulare pompa triplex,
 - o Pentru pompa de apa: indicator debit.



Agregat cimentare și fisurare ACF-700 Motor Caterpillar C15

Echipamentele executate de SC PETAL S. Husi sunt prezentate pe site-ul firmei :
<https://www.petal.ro/product-category/agregate/>

Echipamente utilizate de prestatorii de servicii de cimentare

→ **Echipamente utilizate de sucursala SIRCOSS Mediaș** (Sucursala de Intervenții, Reparații Capitale și Operații Speciale la Sonde a ROMGAZ)

Echipamentele din dotarea SIRCOSS sunt montate pe șasiuri Tatra cu motorizare Caterpillar și transmisie Allison. Se pot atinge presiuni de până la 1050 bar în funcție de tipul agregatului și debite de pompare de 1500 litri/minut.



Echipment de cimentare din dotarea SIRCOSS Medias

Numărul de echipamente disponibile la SIRCOSS si localizarea lor pe zone de lucru sunt prezentate în Tabelul următor.

Numărul de echipamente disponibile la SIRCOSS Medias

Localizare SIRCOSS	Tip echipament
Secția Medias 6 echipamente	Tatra 815 AC-500
Secția Mureș 1 echipament	ROMAN ACF 1050
Secția Mureș 5 echipamente	TATRA ACF 500
Secția Ploiesti 1 echipament	Tatra 815 ACF 700
Secția Ploiesti 4 echipamente	Tatra 815 ACF 50

→ **Echipmente utilizate de firma ROMPETROL WELL SERVICES**

RWS cimentează în medie 250 de coloane și linere pe an, cu adâncimi cuprinse între 50m și 5500m. Echipamentul utilizat pentru operațiile de cimentări are următoarele caracteristici si componență:

- Agregat de cimentare cu două linii, montate pe șasiu sau trailer:
 - Putere hidraulică maximă: 2 x 600 BHP;
 - Presiunea maximă de lucru: 10,000 psi;
 - Debit maxim: 2,000 l/min per pompă
- Mixere de ciment cu recirculare
- Siloz ciment: capacitate 40 ÷ 80 MT
- Unitate de mixare, montata pe trailer, capacitate 150 bbl
- Autocontainere transport ciment: capacitate 10 ÷ 25 MT
- Habe cu agitator: capacitate 20 ÷ 30 mc



Echipament de cimentare din dotarea ROMPETROL WELL SERVICES

3.2.2 Amestecătoare de nisip

Amestecătorul de nisip transportabil (Anexa II) este destinat în exclusivitate operației de fisurare/acidizare și a fost asimilat de către colectivul de lucru IPCUP la solicitarea pieței, la nivelul anilor 2004.

Echipamentul este acționat de un motor CAT 3406 – DITA cu $N = (460 \text{ CP}) 343 \text{ kW}$ la $n = 2100 \text{ rpm}$, în regim de funcționare intermitent, soluție ce conferă autonomie agregatului și este complet automatizat.

Motorul acționează prin intermediul unui cuplaj și al unui reductor, pompele hidrostactice destinate antrenării subansamblelor agregatului prin transmisii hidrostactice variabile.

Utilizarea transmisiilor hidrostactice conferă sistemului o mai mare capacitate de reglare a parametrilor de funcționare.

Agregatul se montează pe o semiremorcă tip cu lăsare la sol (2), prevăzută cu șa de cuplare pentru remorcher, ceea ce permite pe de o parte pozarea pe locație fără amenajări suplimentare iar pe de altă parte posibilitate de manevră și deplasare.

Manifoldul utilizat pentru aspirație și refulare (3) se cuplează la conductele exterioare prin intermediul unor legături rapide.

Agregatul este prevăzut cu debitmetre tip Halliburton pe conductele principale de aspirație și refulare și cu densimetru pe conducta de refulare.

Amestecătorul principal (4) este prevăzut cu un agitator acționat de un motor hidrostatic cu turație variabilă de tip Danfoss prin intermediul unui reductor. Soluția constructivă a amestecătorului aduce ca element de noutate dispunerea nervurilor interioare pe mai multe etaje

și în diferite planuri în scopul asigurării omogenității permanente a amestecului, eliminării depunerilor pe pereții vasului cât și în scopul unei direcționări precise spre gura de evacuare.

Transportul nisipului din cuva principală (5) la vasul de amestec se face cu două șnecuri protejate de două cămăși cilindrice (6), cu senzori de rotație contrare. Utilizarea șnecurilor permite mecanizarea procesului, asigură un ritm constant de aprovizionare a amestecătorului cu nisip și posibilitatea de dozare a debitului de nisip.

Șnecurile și cămășile lor sunt amplasate pe o sanie(7) care, în tandem cu cuva principală se deplasează linear, prin intermediul unui ghidaj, în scopul ridicării, coborârii în vederea transportului rutier.

Antrenarea șnecurilor se face de la un motor hidrostatic cu turație variabilă tip Volvo prin intermediul unui reductor

Deasupra amestecătorului principal sunt montate două dozatoare pentru aditivi uscați (8) prevăzute cu șnec de umectare. Utilizarea aditivilor uscați și lichizi este necesară, după cum s-a prezentat și anterior, în scopul realizării unui amestec optim din punct de vedere al compoziției ceea ce asigură succesul operației de fisurare.

Agregatul este prevăzut cu sistem de recirculație, și cu prize de aspirație și de refulare, combinate pe părțile laterale: 3 prize de aspirație pe partea opusă prizelor principale de aspirație, și minim 2 prize de refulare pe partea opusă prizelor principale de refulare.

Comenzile principale de lucru sunt date dintr-o cabină specială montată pe o platformă pe agregat.

Cabina de comandă (9) este prevăzută și cu un panou special pentru automatizarea principalelor operații de lucru. Prin automatizarea principalelor operații de lucru se realizează o mai bună corelare a parametrilor debit nisip, debit fluid, debit aditivi, precum și urmărirea atentă a valorilor acestora în timpul funcționării agregatului.

Agregatul cuplat cu remorcherul se va înscrie în condițiile normale de transport pe drumurile rutiere din România.

Caracteristici tehnice principale

- tipul motorului de antrenare CAT 3406 – DITA;
- regim de funcționareintermitent;
- puterea motorului.....(460 CP) 343 kW;
- turația la ieșirea din motor.....2100 rpm;
- debitul maxim amestec 10000 l/min;
- a) Alimentator cu nisip
- debitul maxim de nisip8200 kg/min;
- alimentarea vasului de amestec.....cu două șnecuri;
- acționare șnechidrostatică cu reductor de turație,
.....cu turație variabilă;
- b) Vas amestec cu agitator
- capacitate maximă.....1,800 m3;
- acționare paleți agitatorhidrostatică cu reductor de turație,

-cu turație variabilă;
- c) Pompe centrifuge
- tip pompă aspirație și refulareMission Magnum;
- acționare pompe centrifugehidrostatică cu turație variabilă;
- d) Alimentator cu aditivi uscați
- acționare șnechidrostatică cu reductor de turație,
.....cu turație variabilă;
- e) Alimentator cu aditivi lichizi
- acționarehidrostatică cu turație variabilă;

Condiții tehnice generale

Agregatul se montează pe o semiremorcă tip cu lăsare la sol, prevăzută cu șa de cuplare pentru remorcher.

Manifoldul utilizat pentru aspirație și refulare se cuplează la conductele exterioare prin intermediul unor legături rapide de 4 in.

Agregatul este prevăzut cu debitmetre tip Halliburton pe conductele principale de aspirație și refulare și cu densimetru tip procesor nuclear pe conducta de refulare.

Amestecătorul principal este prevăzut cu un agitator acționat de un motor hidrostatic cu turație variabilă tip Danfoss prin intermediul unui reductor

Transportul nisipului din cuva principală la vasul de amestec se face cu două șnecuri protejate de doi cilindri, cu senzori de rotație contrare. Antrenarea șnecurilor se face de la un motor hidrostatic cu turație variabilă tip Volvo prin intermediul unui reductor

Deasupra amestecătorului principal sunt montate două dozatoare pentru aditivi uscați prevăzute cu șnec de umectare.

Agregatul este prevăzut cu sistem de recirculație, și cu prize de aspirație și de refulare.

De asemenea este prevăzut cu o cabină specială, montată pe o platformă a agregatului. Cabina de comandă este prevăzută și cu un panou special pentru automatizarea principalelor operații de lucru, de la care se efectuează comenzile principale de lucru.

- *Sinteza echipamentelor enumerate este prezentată în tabelul următor.*

Echipamente de cimentare /fisurare utilizate/fabricate pe plan national

Nr crt	Firma / Tip echipament/agregat	Autosasiu / Remorca/ Sanie	Motor	Transmisie	Pompa cu plungere	Pompa apa centrifuga
	PETAL Husi					
1	Agregat de cimentare AC 400 / (<i>Presiune max de lucru</i>)	TATRA ROMAN KRAZ	CAT C 15 Tier 3 emission 475 CP (350kW) @ 1450 rpm	CATTERPILLAR TH35E81A	AC 400 /IPCUP triplex	PR 50 - H
2	Agregat de cimentare AC 500	TATRA ROMAN KRAZ	CAT C 15 Tier 3 475 CP (350kW) @ 1450 rpm	CATTERPILLAR TH35E81A	AC 500 /IPCUP triplex	-
3	Agregat de cimentare ACF 700	TATRA ROMAN KRAZ	CAT C 15 Tier 3 475 CP (350kW) @ 1450 rpm	CATTERPILLAR TH35E81A	AC 700 /IPCUP triplex	
4	Agregat de cimentare ACF 700 DS Pentru temp scazute	URAL 4320	Grup de forta Detroit Diesel DDC serie 60	Cuite de viteze model CV 12 - 352	Pompa triplex pres max 700 bar	
5	Agregat de cimentare ACF 1050a	TATRA	CAT C 15 Tier 3 475 CP (350kW) @ 1450 rpm	CATTERPILLAR TH35E81A	AC 1050 / IPCUP triplex	
6	Agregat de fisurare /Amestecator de nisip transportabil	Remorca	CAT 3406 – DITA 460 CP (343 kW) @ 2100 rpm		-	Mission Magnum

3.3 Nivelul tehnic al echipamentelor utilizate / fabricate pe plan mondial

Echipamentele utilizate și fabricate pe plan mondial sunt prezentate în Fișele structurate în **Anexa FIȘE** și sintetizat în tabelul.3.3.

JEREH OILFIELD EQUIPMENT (Fișa 1)

Este producător de echipamente destinate operațiilor de cimentare- fisurare în variantele: cu o singură pompă, cu două pompe și de putere mare. (Tabelul 3.3)

Agregatele de cimentare se utilizează în diferite condiții de exploatare, cum ar fi onshore, offshore, în deșert și în condiții arctice sau extrem de calde. Sistemul de amestecare automată (AMS) controlează cu precizie densitatea, conform tehnologiei de amestecare a suspensiei. Sistemul de achiziție profesională de date înregistrează, analizează și stochează datele operației în timp real.

Agregatele sunt acționate de motoare Detroit Diesel Seria 60 sau motoare Caterpillar C15 și au transmisii ALLISON 4700 OFS. Sunt dotate cu pompe triplex producție proprie, tip JR600N, JR600S, JR500W, JR2250. În funcție de diametrul plungerelor pompei, debitul maxim de lucru variază între 1,2- 2,1 m³/min la o presiune maximă de lucru de 434-988 bar.

SCHLUMBERGER (Fișa 2)

Este cel mai important furnizor de servicii petroliere din lume. Principalele caracteristici ale echipamentelor destinate operațiilor de cimentare- fisurare sunt prezentate în Tabel.

Tehnologia de cimentare este concepută pentru cele mai provocatoare medii.

Echipamentele pentru operațiile de cimentare utilizate de Schlumberger sunt utilizabile în orice medii de lucru, fiind operaționale pe tot parcursul anului și necesită cerințe minime de autorizare rutieră. Echipaje mici operează cu ușurință echipamentele deoarece au cerințe de întreținere reduse, economisind timp în timpul instalării, funcționării, descărcării și curățării.

Agregatele de cimentare au diferite tipuri de motorizări și au transmisii ALLISON 4700 OFS sau Allison SS 6600. Utilizează diferite tipuri de pompe triplex (SERVA, GARDNER DENVER, Dixie Iron Works). Agregatelor de cimentare mobile sunt dotate cu pompe triplex care au plingere cu diametrul de 3,5 in iar debitul maxim de lucru este de 1,2 m³/min, la o presiune maximă de lucru de 690-1020 bar.

HALLIBURTON (Fișa 3)

Este unul dintre cei mai mari furnizori de produse și servicii din lume pentru industria petrolieră. Halliburton este singurul furnizor de servicii care proiectează și produce propriile echipamente destinate operațiilor de pompare și amestec, atât pentru aplicații onshore cât și offshore. Halliburton a fost pionier în operațiile de cimentare și timp de peste nouăzeci de ani a continuat să dezvolte noi metode de cimentare și să introducă echipamente noi. Fabrică echipamente destinate operațiilor de cimentare-fisurare montate pe autosasiu și sanie sau skiduri, având caracteristicile prezentate în Tabelul 3.3. Agregatele de cimentare sunt dotate în special cu

motoare CATERPILLAR, transmisii Allison 4700 OFS și pompe triplex Halliburton HT-400, cu presiunea maximă de lucru 772 bar.

NATIONAL OILFIELD VARCO (Fișa 4)

Agregatul de cimentare Wilco™ cu două pompe se bazează pe o istorie de 40 de ani de experiență dobândită în teren. Designul standard folosește două motoare diesel de 665 CP cu controale de emisie de nivel 4, care nu necesită regenerare, ceea ce elimină perioadele de oprire și conduce la o funcționare mai simplă. Capul de amestec recirculant patentat, în combinație cu sistemele automate de amestec, furnizează amestecul de suspensie de ciment la densități precise, de până la 2640 kg/m³. Sistemele hidraulice de precizie acționează pompele centrifuge, agitatoarele de amestec, schimbătoarele de căldură/răcire și sistemele de ungere a pompelor.

Dotarea standard a agregatului de cimentare Wilco™ este prezentată în Tabelul 3.3

FREEMYER INDUSTRIAL PRESSURE (Fisa 5)

Este unul dintre cei mai importanți producători de echipamente pentru servicii în industria de petrol și gaze.

Fabrică echipamente destinate operațiilor de cimentare și fisurare dotate, în funcție de aplicații:

- motoare CAT, DETROIT, CUMMINS;
- transmisii hidraulice : CLT 6061, CAT TH – 55 E90, CAT TH 48, ALLISON seria 9800;
- pompe triplex cu plungere TWS600, TWS 2250.

Pompa TWS 600 este destinată condițiilor grele de lucru.

Performanțele tehnice: presiune max 1034 bar utilizând plunger de 3 in, 1378 bar utilizând plunger de 2 ½ in. Putere la intrare pompa 600 CP.

Firma Baker HUGERS (Fișa 6)

Realizează servicii de cimentare la sonde utilizând agregate de cimentare de tipul Seahawk™ și Falcon™, având caracteristicile prezentate în Tabelul 3.3

Ca element de noutate, echipamentele promovate de firma **Baker HUGERS** utilizează turbine cu gaz pentru generarea energiei electrice necesare antrenării pompei cu plungere în timpul operațiilor speciale.

Turbinele cu gaz aeroderivativ sunt născute dintr-o tehnologie lider pe piață, dezvoltată inițial pentru aeronave. Pentru aplicațiile BHGE, motorul aeronautic este modificat pentru a satisface nevoile utilizării în domeniul petrol și gaz. Aceste tipuri de turbine sunt soluțiile ideale în aplicațiile în care sunt necesare: spații restrânse și echipamente ușoare. Turbinele cu gaz aeroderivativ sunt alegeri extrem de eficiente pentru acționarea mecanică și generarea de energie mare.

Turbinele mobile și modulare produse de firma BHGE permit operatorilor să treacă de la motoare Diesel la turbine cu gaz, care produc energie electrică pentru antrenarea pompelor de înaltă presiune pentru operații speciale. Utilizarea soluțiilor BHGE de fracturare electrică de înaltă eficiență conduc la:

- micșorarea costurilor cu combustibilul;
- îndeplinirea angajamentelor de reducere a emisiilor de carbon în locuri precum Bazinul Permian și zonele îndepărtate din întreaga lume.

Familia de turbine modulare cu gaz produse de BHGE sunt compacte, cu eficiență ridicată, ușor de instalat, permit o întreținere ușoară și o disponibilitate ridicată și reduc emisiile de zgomot și de gaze.

Familia de turbine modulare are o varietate de opțiuni disponibile în intervale de putere cuprinse între 5,6MW și 34,5MW.

HUAYU TECHNOLOGY (ENERGY) (Fișa 7)

Este un important producător de echipamente utilizate în industria extractivă de petrol și gaze. În ultimii ani, a livrat produse către țări precum Rusia, Oman, Kuwait, Emiratele Arabe Unite, Australia, SUA, Bolivia și Venezuela. Toate produsele sunt în conformitate cu API, ASME, NACE/ISO și alte coduri internaționale. (a se vedea Tabelul 3.3)

Agregatele de cimentare montate pe camion sunt utilizate pe scară largă pentru operațiunile de cimentare în serie. Presiunea max. de lucru este de la 3500 psi până la 14.500 psi iar debitul este de la 1600 la 3500 l / min.

Caracteristicile agregatelor de cimentare

- ✓ Șasiu echipat cu șasiu de camioane VOLVO, BENZ, MAN, KENWORTH și NOTHERN BENZ.
- ✓ Pompe cu plunger de 300CP, 400CP și 600CP echipate cu plunger de diferite dimensiuni pentru a satisface cerințele de presiune și debit: 3ZB-300, 3ZB-600, TPH400 și TPB600.
- ✓ Motoare: Detroit, Cat sau Cummins.
- ✓ Transmisie: Allison HD 4700OFS.
- ✓ Sistem de amestecare automată a suspensiei.

CHINA OILFIELD SERVICES LIMITED (COSL) (Fișa 8)

Este furnizor integrat de servicii pentru industria petrolieră pe piața offshore asiatică. Cele patru divizii principale de servicii ale COSL - servicii geofizice, servicii de foraj, servicii de sonde și servicii maritime și de transport - acoperă fazele de explorare, dezvoltare și producție a industriei de petrol și gaze. (a se vedea Tabelul 3.3)

Bazat pe experiența sa bogată în activitatea de cimentare offshore și onshore, oferă clienților servicii de cimentare sigură, de înaltă calitate și eficientă

Serviciile complete de cimentare la sondă asigură soluții bazate pe tehnologii eficiente de dispunere a cimentului, sisteme optimizate de obținere a pastei de ciment, simulare software, echipamente de pompare eficiente.

Este, de asemenea, principalul contractor de cimentare pentru aplicații neconvenționale de cimentare, incluzând HTHP în ape adânci, sonde deadâncime mare și alte condiții complexe la ondă și etc, pentru tehnologiile sale de ultimă generație, cum ar fi sistemele de suspensie de ciment, aditivi și diverse soluții la întregul lanț de servicii de cimentare.

CROSCO - MEMBER OF INA GROUP (Fișa 9)

Grupul CROSCO format din CROSCO Integrated Drilling & Well Services Co. și Rotary Drilling Co. realizează activități de foraj onshore și offshore precum și activități de intervenții la sonde. În prezent activează în nordul Africii, Orientul Mijlociu și Europa Mediteraneană. (a se vedea Tabelul 3.3)

Grupul CROSCO deține 8 platforme de foraj și 11 instalații de intervenție. Pe lângă cimentări la sondă, grupul furnizează următoarele servicii: teste hidrodinamice în sonde, introducerea tubing flexibil, injecție de azot, injecție de H₂S, instrumentație și foraj dirijat, servicii hidrogeologice și geomecanice.

Furnizează servicii de cimentare și stimulare, inclusiv acidizare, fisurare și controlul nisipului, onshore și offshore, folosind 15 unități de pompare echipate cu pompe HT-400 simple sau duble concepute pentru pompare cu presiuni de până la 784 bar (11.200 psi) și debite de până la 1.750 l / min per pompă. Sunt disponibile și echipamente auxiliare precum rezervoare de stocare și amestec al fluidelor, habe de stocare a materialelor uscate, compresoare și sisteme de achiziție de date.

Laboratoarele sunt complet echipate cu echipamente certificate API destinate testării pastelor de ciment, acizilor și altor fluide de stimulare.

STEWART & STEVENSON (Fișa 10)

Stewart & Stevenson este furnizor pentru firmele din industria de petrol și gaze, realizând echipamente capabile să funcționeze pe tot globul, inclusiv pe fundul oceanului, în zone cu formațiuni de șisturi dure și în cele mai reci și mai calde regiuni. Firma realizează soluții care îndeplinesc orice cerințe ale industriei de petrol și gaze, onshore și offshore. (a se vedea Tabelul 3.3)

Este un important producător de agregate de cimentare. Proiectează unități personalizate pentru a se potrivi aplicațiilor specifice pentru clienții de petrol și gaze din întreaga lume. Echipamentele pot fi montate pe camion, remorcă sau skid și includ:

- control automat sau manual al densității pastei de ciment
- sisteme de recirculare sau amestecare cu jet
- configurații cu pompă simplă sau dublă
- configurații pentru temperatură ridicată și vreme rece
- configurații pentru aplicații offshore.

TAYLOR INDUSTRIES (Fișa 11)

Este o firmă specializată în proiectarea și fabricarea de echipamente inovatoare și de înaltă calitate și anume pachete de service și echipamente de lucru, pachete de pompe de noroi, acumulatori, unități de cimentare cu pompă dublă, manipuloare de țevi, unități de foraj de puțuri de apă și palanuri de pompare. (a se vedea Tabelul 3.3)

Noua gamă de echipamente de cimentare de înaltă performanță oferă operatorilor soluții inovatoare pentru nevoile acestora de echipamente de cimentare.

Modelul pilot DPC-1080 este dotat cu sisteme de automatizare de ultimă generație, tehnologie de amestec avansată și o mare varietate de opțiuni care pot fi selectate de clienți. Aceste caracteristici asigură echipamentelor de cimentare o flexibilitate maximă de proiectare, performanțe remarcabile în teren și asistență superioară după punerea în funcțiune.

NOV FIDMASH Ucraina (Fișa 12)

Este un subsidiar al NATIONAL OILFIELD VARCO, care realizează echipamente pentru industria de petrol și gaze în special pentru țări ca Rusia, Ucraina, Uzbekisten, Azerbaijan Kazakhstan sau Turkmenistan. (a se vedea Tabelul 3.3)

Activitatea principală a companiei este dezvoltarea și producția de produse inovatoare pentru industria de petrol și gaze, inclusiv echipamente de tubing flexibil, echipamente și componente separate pentru fisurare hidraulică, cimentare, echipamente auxiliare pentru stimularea sondelor și foraj dirijat. Echipamentele produse de companie se bazează în esență pe șasiu off-road cu tracțiune integrală.

Agregatele de cimentare sunt proiectate pentru prepararea pastei de ciment și pomparea acesteia sub presiune în timpul lucrărilor de foraj și intervenție și în timpul altor operațiuni la sondă.

SERVA GROUP USA (Fișa 13)

SERVA proiectează, fabrică și comercializează o gamă diversificată de produse specializate pentru operații de cimentare, stimulare, tubing flexibil, precum și pompe auxiliare, scule de foraj, software și comenzi pentru cele mai exigente medii onshore și offshore. (a se vedea Tabelul 3.3)

Agregatele de cimentare cu o pompă sau două pompe sunt disponibile în configurații pentru camion, skid și remorcă; fiecare unitate de pompare este proiectată pentru a asigura o funcționare consecventă, fiabilă și durabilă, fiind în același timp simplu de operat și ușor de întreținut. În plus, SERVA include în proiectele sale de echipamente factori regionali și cerințe specifice clienților.

KERUI PETROLEUM (Fișa 14)

KERUI Petroleum este un grup industrial internațional cu sediul central în Dongying China, ce are ca scop fabricarea echipamentelor destinate industriei de petrol și gaze, asigurând eficientizarea operațiilor de extracție a titeiului și gazelor naturale. KERUI oferă soluții personalizate pentru clienți, realizând:

- agregate de cimentare;
- agregate de fisurare;
- echipamente pentru operații de stimulare;
- echipamente pentru activități la gura sondei;
- stații de compresoare.

Agregatele de cimentare sunt echipate cu un sistem de amestec complet automat, care poate realiza nu numai controlul densității și al nivelului lichidului în același timp, dar poate realiza și comutarea controlului manual / automat. (a se vedea Tabelul 3.3)

HUBEI PETROKH MACHINE MANUFACTURING (Fișa 15)

Hubei Petrokh Machine Manufacturing Co., Ltd. este o companie dedicată cercetării și producției de mașini și echipamente pentru exploatarea zăcămintelor de țiței și gaze, cum ar fi agregate de cimentare-fisurare, echipamente pentru forajul sondelor, echipamente pentru

intervenție la sonde etc. Echipamentele produse respecta standardele HSE, API și ISO 9001: 2008 și sunt comercializate pe scară largă pe piața din China. În plus, acestea sunt exportate în alte țări cum ar fi Yemen, Kazahstan, Rusia. (a se vedea Tabelul 3.3)

Hubei Petrokh Machine Manufacturing Co., Ltd produce:

- agregate de cimentare;
- agregate de fisurare;
- agregate de acidizare;
- pompe triplex cu plungere;
- pompe quintuplex cu plungere;
- echipmanent de interventie la sonde;
- cutii de viteza etc.

SJS LIMITED (Fișa 16)

SJS Ltd. este o societate mixtă chinezo-americană, dintre Sinopec Oilfield Equipment Corporation (SOFE) și grupul SERVA, care face parte din EnTrans International. Compania are sediul în Jingzhou, China. (a se vedea Tabelul 3.3)

SJS este o companie recunoscută pentru tehnologia și produsele sale de inalta calitate pentru industria de petrol și gaze. Compania s-a concentrat pe dezvoltarea de produse pentru industria petrolului și a gazelor, prin proiectarea și fabricarea pompelor cu plungere triplex și quintuplex (certIFICATE API Q1), echipamente de cimentare și fisurare, echipamente pentru intervenții la sonde, ambreiaje și frâne.

Agregatele de cimentare sunt disponibile în configurații montate pe camion, skid și remorcă, oferind servicii fiabile și durabile, fiind simplu de operat și ușor de întreținut.

SUNNDA CORPORATION (Fișa 17)

Cu sediul la Houston, SUA, Sunnda Corporation proiectează, realizează și comercializează o gamă largă de echipamente petroliere, care îndeplinesc standardele API și ISO:

- agregate de cimentare -fisurare;
- pompe triplex;
- echipamente de foraj și intervenție la sonde;
- robineți/supape.

Agregatele de cimentare sunt montate pe camion, trailer și skid și sunt prevăzute cu una sau două pompe. Sunt echipate cu motoare Caterpillar, Detroit sau Cummins. (a se vedea Tabelul 3.3)

exploatare a echipamentelor și constituie o expertiză tehnică de specialitate care trebuie facuta periodic.

Din practică, in baza analizei condițiilor de exploatare a echipamentelor de fisurare se evidențiază următoarele mecanisme de degradare:

- în cazul în care procesul de cimentare implică amestecuri de ciment, aditivi, având în vedere caracterul abraziv/coroziv al acestora, piesele si subansamblurile care compun sistemul de pompare de inalta presiune (plungere, tijele plungerelor, supapele, etansarile), vasul de amestec si elementele de transport vor fi expuse la acțiune abraziva si corozivă ;

- în cazul în care procesul de fisurare implică amestecuri pe bază de nisip, având în vedere caracterul abraziv al acestuia, elementele de transport ale nisipului și aditivilor vor fi expuse acțiunii de uzare de abraziune;

- în cazul în care procesul de fisurare implică acidizarea , piesele si subansamblurile care compun sistemul de pompare de inalta presiune (plungere, tijele plungerelor, supapele, etansarile), vasul de amestec și manifoldurile sunt expuse la o puternică acțiune corozivă. Practica a evidenciat ca în cazul în care se efectueaza operații de acidizare se înregistrează o rată a corozivității mai mare de 10 mm pe an.

Elementele componente utilizate în construcția echipamentelor de cimentare – fisurare – acidizare și a sistemului de transport, solicitările la care sunt supuse și materialele din care sunt executate sunt următoarele:

- ansamblul plunger – camasa
- vasul de amestec în care se realizează omogenizarea amestecului/fluidului de fisurare , este supus atât uzării de abraziune cât și corozivității și este executat din oțeluri carbon de uz general și din oțeluri slab aliate;
- manifoldurile amestecătorului de nisip, care asigura transportul fluidului de fisurare sunt supuse, în cazul operațiilor de acidizare, unui important proces de corozivitate și sunt executate din oțeluri inoxidabile;
- șneururile elicoidale, care asigură transportul nisipului și al aditivilor uscați către vasul de amestec, sunt supuse uzării de abraziune. Acestea sunt executate din oțeluri carbon de uz general și din oțeluri slab aliate;

Literatura de specialitate [28,29,30,31] evidenciază diferite posibilități de intervenție in scopul creșterii durabilității echipamentelor destinate acestor operatii , în funcție de situație. De asemenea, coroborat cu literatura de specialitate, informatiile inregistrate in timp din practica operațiilor de cimentare / fisurare au condus, prin testare, la diferite solutii constructive si tehnologice utilizate la ora actuala, cum ar fi: utilizarea unor tehnologii speciale de acoperire a plungerelor, unor oțeluri inoxidabile pe bază de Cr, Ni în special la manifoldurile sistemului de transport, utilizarea inhibitorilor de corozivitate, tratamente chimice alternative, placarea vaselor cu polietilenă de înaltă densitate.

4.2 Tendințe privind materialele utilizate în construcția echipamentelor destinate operațiilor speciale la sonde

Materialele utilizate la construcția componentelor echipamentelor analizate, au o anumită comportare sub atacul amestecurilor corozive și abrazive utilizate în operațiile speciale.

• Oțeluri carbon și slab aliate

Comportarea la coroziune a oțelurilor carbon și slab aliate este similară, de aceea vor fi analizate împreună, [28].

Un factor deosebit de important în procesul de coroziune este compoziția chimică a oțelului. Creșterea conținutului în carbon face să crească viteza de coroziune. Cea mai mare parte din carbonul existent în oțel se află sub forma legată, de cementita (Fe_3C). Cementita se poate prezenta în formă lamelară, globulară sau de rețea. Cementita în raport cu ferita are un caracter anodic și se corodează mai puternic. Structura în benzi alternante de ferită și perlită, caracteristică laminatelor și pieselor obținute prin deformare plastică la cald, se comportă slab la coroziune. Benzile de perlită se distrug primele, coroziunea căpătând o extindere în suprafață. Eliminarea acestor benzi printr-un tratament mecanic de fragmentare, urmat de un tratament termic de normalizare asigură creșterea rezistenței oțelului la coroziune.

Elementele chimice aflate alături de carbon în oțeluri, fie că sunt sau nu considerate elemente de aliere, au o influență diferită asupra rezistenței la coroziune. În medii acide neoxidante, sulfurile de mangan, cu un pronunțat caracter catodic, determină coroziunea metalului din jurul lor. Aceeași acțiune o au fosfurile, viteza de coroziune crescând liniar în limitele admise de compoziția oțelului.

Siliciul până la 0,3 % formează cu fierul soluții solide și nu influențează rezistența la coroziune. Cuprul la o concentrație scăzută reduce viteza de coroziune.

Piese laminare, forjate, sau matrițate prezintă un strat gros de calamină format din straturi succesive de FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3 . Acești oxizi primari venind în contact cu atmosfera sunt hidrolizați rezultând rugina $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$ de culoare roșie, [24].

• Oțeluri inoxidabile

Oțelurilor inoxidabile [28,32] folosite în construcția de utilaj petrolier și petrochimic li se cer în același timp rezistență mecanică, rezistență la diferite forme de coroziune și o bună comportare la sudare. Se folosesc de regulă patru grupe de oțeluri inoxidabile: feritice, austenitice, austenito feritice și martensitice.

Avantaje și inconveniente ale acestora sunt:

- oțelurile feritice, care au ca principal element de aliere cromul, sunt ușor de laminat, rezistă la coroziune sub tensiune în soluții clorurate, dar prezintă fragilitate în zona influențată termic a îmbinării sudate;
- oțelurile austenitice, derivă din prima grupă prin adăugarea de nichel și se caracterizează prin ductilitate bună, dar sunt susceptibile la coroziunea intercrystalină și la coroziunea sub tensiune;

- oțelurile austenito-feritice au o structura mixtă de austenită și ferită, rezistența lor la coroziune sub tensiune este superioară primelor două grupe, dar prelucrarea la cald se face cu multă dificultate;

- oțelurile martensitice au ca element principal de aliere cromul, iar conținutul în carbon este ridicat. În starea călită și revenită se comportă bine la uzură în medii corozive și abrazive.

În cazul cel mai general, oțelurile inoxidabile sunt considerate aliajele Fe- C- Cr, care conțin cel puțin 12 % Cr și mai puțin de 0.1 % C. Conținutul ridicat în crom asigură formarea la suprafața oțelului a unui strat pasivant aderent, compact, puțin solubil. Acest strat conferă oțelului rezistență la acțiunile agresive.

Pentru a crește rezistența la coroziune, pe lângă crom, în oțelurile inoxidabile pot fi prezente nichelul, cuprul, molibdenul, manganul, siliciu, titan, niobiu și aluminiu.

Nichelul mărește rezistența la coroziune în medii acide slab oxidante sau neoxidante și îmbunătățește tenacitatea oțelului.

Molibdenul mărește rezistența la coroziune în mediile umede care conțin ioni de clor, întârzie dezvoltarea coroziunii locale. El conferă oțelului tenacitate, duritate, rezistență la cald, rezistență la coroziune și evită fragilizarea la încălzire și răcire. Este un element refractar și transmite această calitate și aliajelor din care face parte. Oțelurile inoxidabile ce conțin până la 4 % molibden rezistă la acțiunea corozivă a unor soluții cu peste 5 % acid sulfuric.[24]

Cuprul permite scăderea concentrației în nichel fără a reduce caracteristicile anticorozive ale oțelului în medii umede.

Manganul contribuie la creșterea caracteristicilor mecanice ale oțelului, neafectând caracteristicile anticorozive oferite de crom prin lărgirea domeniului austenitic. Titanul și niobiul sunt considerate ca elemente stabilizatoare, care evită sau elimină apariția coroziunii intercristaline la încălzirea oțelurilor cu crom.

a. Oțeluri inoxidabile feritice

Sunt cele care conțin de la 17-18 % până la 30 % Cr și între 0,10-0,35 % C.

Calitățile inoxidabile sunt asigurate de ușurința cu care se formează stratul pasivant bogat în oxid de crom. Fiind oțeluri monofazice, nu prezintă transformări structurale la încălzire.

Prin alierea suplimentară cu elemente ca aluminiu, siliciu, cupru, structura devine ferito-martensitică. Oțelurile 17-18% crom rezistă bine în acid azotic concentrat și atmosfere oxidante calde și se corodează rapid în acid sulfuric și acid clorhidric.

Îmbunătățirea rezistenței la oxidare se obține prin călire după menținere timp de 2 ore la 800° C. În tabelul următor sunt prezentate tipuri de oțeluri inoxidabile feritice și domeniile de utilizare.

Marca oțelului cf. STAS 3583	Simbolizare numérica (W. Nr.) cf. SR EN 10088-1	Utilizări
8Cr170	1.4016	Elemente ce lucrează în medii cu agresivitate moderată
8TiCr170	1.4510	Utilaje petrochimice, tuburi de adsorbție, schimbătoare de căldură pentru gaze cu vapori de acid azotic, rezervoare pentru acid
2TiMoCr180	-	Oțel înlocuitor al oțelului Cr-Ni austenitic 18-8 sau 17-12-3

1MoCr260	-	Elemente care lucrează în medii reducătoare, acide, în prezența ionilor de clor
----------	---	---

Rezistența la coroziune a oțelurilor feritice este puternic influențată de starea suprafeței. Zgârieturile, adânciturile locale, contribuie la degradarea locală a materialului. Din acest motiv suprafețele trebuie să fie acoperite.

b. Oțeluri inoxidabile austenitice

Oțelurile inoxidabile austenitice au o structură stabilă la cald și la rece și se comportă bine în diverse medii corozive. Utilizarea largă este justificată prin:

- rezistență bună la coroziune, în special când conțin peste 18% Cr și 8% Ni;
- rezistență bună la rupere, tenacitate mare, deformabilitate bună;
- sudabilitate bună.

c. Oțeluri inoxidabile martensitice

Oțelurile inoxidabile martensitice conțin între 12-17% Cr și peste 0,1 % carbon. Oțelurile martensitice în stare călită și revenită prezintă o bună rezistență la coroziune în medii ce conțin acid azotic, carbonați, sulfați. *Aceste oțeluri sunt recomandate pentru fabricarea de elemente supuse uzurii în medii corozive.* Tratamentul aplicat nu trebuie să conducă la separarea carburilor de crom.

Reducerea conținutului în crom sub 12 % în anumite zone va determina coroziunea locală.

În tabelul următor sunt prezentate principalele domenii de utilizare :

Marca oțelului cf. STAS 3583	Simbolizare numérica (W. Nr.) cf. SR EN 10088-1	Utilizări
35MoCr165	1.4122	Elemente ce lucrează în apă, abur, soluții slabe de acizi organici sau anorganici, supuse la uzura prin adeziune sau eroziune, la temperaturi mici
90VMoCr180	1.4112	Elemente rezistente la uzură în medii corozive
8Cr170	1.4016	Elemente care lucrează în medii cu agresivitate medie

d. Oțelul 13 Cr

Oțelul (martensitic) 13 % Cr (până la 17 % Cr) cu concentrație mică de carbon, își găsește tot mai mult aplicație în industria petrolieră. Interesul pentru acest tip de material a crescut foarte mult și s-au depus eforturi în dezvoltarea oțelurilor martensitice cu concentrație mică de carbon și azot și cantitate controlată de Ni, Mo, Cu.

Noua familie de oțel este numită „oțel inoxidabil – anticoroziv martensitic”, „oțel martensitic sudabil”, sau „oțel 13 Cr”. Calitatea martensitică a acestor oțeluri combină durabilitatea și rezistența la temperaturi normale-joase cu rezistența la coroziune în multe aplicații.[32] Acestea au o structură tipică alcătuită dintr-o structură de călire martensitică și reziduuri de ferită și au o bună rezistență la coroziune în medii slab sau mediu acide.

Compozițiile tipice ale oțelurilor 13 Cr

oțel	Tip	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	N	Producător
Slab HP13Cr		≤0,015	≤ 2	0.15	11	2	≤ 0.5	0.4	≤0,012	Kawasaki
Mediu D13.5.2N		0.02	0.7	0.3	13.3	8	1.6	0.1	0.08	Dalmine
Inalt Super13Cr 12-5-2		0.02	0.5	0.2	12.2	5.5	2	0.2	0.02	British steel
Super13Cr 13-5-2		0.02	0.4	0.2	12.5	5	2		≤0,08	Sumitomo
Super13Cr 13-6-2.5		≤0,01	0.4	0.3	12	6.2	2.5		≤0,01	Sumitomo

Alegerea preferențială a oțelurilor 13Cr este dată de faptul că prin tratament termic se obține un control al caracteristicilor mecanice ca duritate, tenacitate, rezistența la tracțiune și limita de curgere.

În timpul tratamentului controlul temperaturii conduce la obținerea proprietăților mecanice solicitate de industria petrolieră. Controlul temperaturii influențează în egală măsură atât proprietățile mecanice cât și rezistența la coroziune,[32,33].

În tabelul următor sunt exemplificate câteva categorii de oțeluri (variantele oțelului 13Cr în diferite grade de aliere) :

Compoziția chimică a diferitelor tipuri de oțel 13 Cr

Material	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu
UNS 410	Max 0.15	11.5 13.5	-	-	Max 1.00	Max 1.00	Max 0.040	Max 0.030	-
UNS 420	Min 0.15	12.0 14.0	-	-	Max 1.00	Max 1.00	Max 0.040	Max 0.030	-
L80 13Cr	0.15 0.22	12.0 14.0	Max 0.5	-	0.25 1.00	Max 1.00	Max 0.020	Max 0.010	Max 0.25
R1 – 13Cr regular	Max 0.22	12 14	-	-	Max 1.00	Max 1.00			-
CE1 – 13Cr îmbunătățit	Max 0.03	11.0 14.0	4.0-6.0	0.2-1.2	Max 1.00	Max 0.50			-
CE2 – 13Cr îmbunătățit	Max 0.03	11.5 13.5	5.0-6.5	1.5-2.5	Max 1.00	Max 0.50			-
R2 – 13Cr regular	0.15 0.22	12.0 14.0	Max 0.5	-	0.25 1.00	1.00	Max 0.020	0.010	0.25
CE3 – 13Cr îmbunătățit	Max 0.04	12.0 14.0	3.5-4.5	0.8-1.5	Max 0.60	0.50	Max 0.020	0.010	-
CE4 – 13Cr îmbunătățit	Max 0.04	12.0 14.0	4.5-5.5	1.8-2.5	Max 0.60	0.50	Max 0.020	0.005	-

Nota. R1 – 13C (regular), CE1 – 13Cr (îmbunătățit), CE2 – 13Cr (îmbunătățit), sunt fabricate de un producător, R2 – 13Cr (regular), CE3 – 13Cr (îmbunătățit), CE4 – 13Cr (îmbunătățit), sunt fabricate de un alt producător.

În timpul operațiilor de fisurare la sonde, stimulările cu acid sunt aplicate frecvent. În funcție de tipul tratamentului și specificul formațiunii pot fi utilizați HCl, HF, acizi organici- acid acetic, sau combinațiile lor. Pentru a proteja materialele se adaugă inhibitori de coroziune.

Numeroase cercetări s-au efectuat pentru determinarea comportării oțelurilor 13 Cr la coroziune în timpul operației de acidizare [32,33].

Pentru a evidenția comportarea acestora s-au luat spre experimentare diferite tipuri de oțel 13 Cr în forma inițială și modificată, care au fost supuse la acțiunea a diferite amestecuri de acid. Probe de amestecuri identice, ce urmau a fi supuse experimentării au fost luate de la doi producători diferiți.

S-au experimentat următoarele amestecuri de acizi:

- 5% HCl + 10% acid acetic;
- 10% HCl ;
- 15% HCl;
- 9% HCl +1% HF.

Aceste combinații sunt cele care se aplică în mod curent în operațiile de acidizare, sub forma unor pachete comerciale care, pe lângă acizi conțin și inhibitori de coroziune. Inhibitorii utilizați au fost solvenți, non-emulsificatori, surfactanți, agenți de control ai Fe și stabilizatori.

În tabelul următor sunt prezentate pachetele A,B,C și D și ponderea lor în soluțiile de acid.

. Compoziția pachetelor de inhibitori

Pachete de inhibitori	Cantitățile de inhibitori de coroziune
A	37,85m ³ (10 gpt) inhibitor de coroziune I si 13,6 kg (30 ppt) inhibitor de întărire E
B	75,7 kg (20 gpt) inhibitor de coroziune II , 9 kg (20 ppt) inhibitor de întărire E si 227 kg (60 gpt) inhibitor de întărire F
C	37,85-75,7 kg (10-20 gpt) inhibitor de coroziune I si 37-75 kg (10-20 gpt) inhibitor de întărire G
D	45-55 kg (12-15 gpt) inhibitor de coroziune III si 12-15 gpt inhibitor de întărire H

Nota: gpt = 3,785 m³ inhibitor de coroziune la 3785 m³ acid

ppt = 0.4536 kg inhibitor de coroziune la 3785 m³ de acid

OBS:Fiecare probă de oțel a fost în prealabil curățată prin sablare cu bile de sticlă în scopul îndepărtării impurităților. Probele au fost cântărite înainte și după testare pentru determinarea pierderilor de greutate prin coroziune. Probele au fost testate timp de 6 ore.

Dupa testare probele au fost curățate cu acetona și ușor sablate pentru a îndepărta reziduurile inhibitorilor de coroziune sau filmul format în timpul testării . Probele au fost examinate pentru evaluarea pittingului la microscop. Evaluarea pierderii de material prin coroziune se bazează pe compararea cu nivelul acceptat în industrie de până la 0,2 kg de material corodat la o suprafață de un metru pătrat, [16].

In plus evaluarea pittingului se face în funcție de scala prezentată mai jos. Pe scala de pitting o valoare mai mare sau egală cu 2 este considerată inacceptabilă în cazul tratamentelor de acidizare, chiar dacă pierderea de material prin corodare este în limite acceptabile.

Evaluare scala Pitting

Scala pitting	Interpretare / observatii
0	nicio gaura pe suprafață
0-1	câteva umbre mici pe suprafața metalului
1	mici umbre pe suprafață
2	mici puncte pe suprafață
3	mici găuri cu dimensiuni (1/32 in) $0,79 \times 10^{-3}$ m până la (1/16 in) $1,5 \times 10^{-3}$ m
4	găuri medii mai mici de (1/16 in) $1,5 \times 10^{-3}$ m
5	găuri mari, adânci, pe toată suprafața

Rezultate obținute în urma utilizării diferitelor combinații de acizi

Prin experimentele făcute s-a dovedit că atunci când expunem oțelurile 13Cr acțiunii fluidelor de acidizare, în funcție de pachetele de inhibitori utilizate, comportarea lor la coroziune este complet diferită.

Rezultatele înregistrate au evidențiat următoarele concluzii:

- 5% HCl + 10% acid acetic - pachetele de inhibitori A și B nu au reușit să protejeze oțelul la coroziune. Chiar în condițiile în care concentrația inhibitorului I a fost de 100% nu s-au observat modificări la oțelurile CE2-13Cr. La oțelul CE1-13Cr o cantitate dublă de inhibitor I a crescut performanțele cu 38 % dar pierderea de material prin coroziune a rămas cu mult peste valorile acceptate.

- 10% HCl Pachetele de inhibitori au asigurat protecție la oțelul R1-13Cr și la oțelul CE2-13Cr .

- 15% HCl. Prin utilizarea pachetului de inhibitor C s-a reușit atât protecția oțelului 13Cr cât și a celui înalt aliat.

Utilizarea pachetului D a asigurat protecție atât pentru cazul discutat cât și pentru combinația, 5% HCl + 10% acid acetic

În prezența inhibitorilor se poate spune că influența proprietăților mecanice asupra comportării la coroziune, poate fi ignorată iar pierderea de material prin coroziune se înscrie în valorile standard.

- 9% HCl +1% HF. Pachetul de inhibitori C protejează în mod efectiv oțelurile CE1-13Cr și CE2-13Cr. În celelalte cazuri protecția a eșuat.

4.3. Tendințe privind tehnologiile de tratamente specifice aplicabile materialelor din care sunt executate plungerile, vasul de amestec , manifoldurile și șnecurile, în scopul creșterii durabilității

Protecția contra factorilor care conduc la uzura abrazivă și la coroziune, reprezintă totalitatea măsurilor care se iau pentru a diminua sau stopa acțiunea distructivă a mediului asupra

materialelor în condiții concrete de lucru, la un cost cât mai scăzut și în deplină siguranță în funcționare [24].

Principalele mijloace de protecție sau de reducere a intensității de uzare de abraziune, și coroziune sunt următoarele:

- tratarea mediului în direcția reducerii agresivității lui;
- acoperirea suprafețelor expuse coroziunii;
- aplicarea de tratamente de suprafață;
- aplicarea de tratamente termochimice;
- deplasarea potențialului electrochimic al metalului în domeniul de imunitate sau de pasivare.

În practica protecției sunt folosite împreună unele metode din aceeași categorie sau din categorii diferite, iar la adoptarea lor un rol cu totul deosebit îl au specialiștii din proiectare, execuție și exploatare.

În practica acțiunii de combatere a coroziunii, sistemul general de protecție este cel pasiv, de vopsire sau de acoperire a suprafeței metalice cu strat protector.

Prin durata de viață a acoperirii protectoare se înțelege perioada de timp după care aceasta trebuie refăcută complet, pe întreaga suprafață a elementului protejat.

La alegerea sistemului de protecție se va avea în vedere complexitatea atacului agresiv.

La echipamentele de fisurare se manifestă următoarele tipuri de atacuri agresive:

- agresivitatea atmosferică generată de umiditate, precipitații, radiații solare;
- agresivitatea chimică din partea compușilor chimici enumerați anterior;
- agresivitatea mecanică de abraziune și eroziune.

Atât pentru vasul de amestec, cât și pentru elementele implicate în procesul de transport se pot utiliza următoarele tipuri de protecție:

- protecția prin vopsire;
- protecția prin acoperire.

- Protecția prin vopsire

Acoperirea prin vopsire constituie unul dintre mijloacele curențe de protecție. Oțelul ca element principal de protejat prin vopsire este hidrofob. În prezența unui strat subțire de oxid, oțelul devine hidrofil. Dacă în acest strat se află cloruri, sulfuri, caracterul hidrofil se intensifică rapid. Din acest motiv trebuie avut în vedere ca protecția peliculară să fie aplicată imediat după încheierea operațiilor de pregătire.

Grundul constituie primul strat ce acoperă suprafața metalică și peste care se aplică chitul, vopseaua sau emailul. Chitul permite corectarea unor defecte de suprafață cum ar fi adânciturile, rizurile profunde etc.

Vopseaua este o suspensie de pigmenți, agenți de umplere în produse peliculogene, care după uscare formează o peliculă continuă cu diferite nuanțe de culoare, [24].

Emailul este un produs pigmentat, cu o mare putere de acoperire, care formează o peliculă dură, lucioasă și netedă.

Indiferent de sistemul de protecție adoptat, stratul de acoperire trebuie să fie compact, aderent și stabil. Condiția ca stratul să fie compact se impune pentru a nu putea permite pătrunderea apei la suprafața metalului. Pătrunderea apei sub stratul de vopsea are la bază fenomenul de osmoză și este favorizată de procesele care au loc la nivelul contactului pigment – liant, în prezența apei, [28].

- Protecția prin acoperire cu rășini

Este aplicabilă pentru vasul de amestec. Protecția interioară se asigură prin sistemul multistrat de rășini sau prin căptușirea cu benzi sau folii din materiale sintetice. Cel mai indicat sistem de protecție interioară este cel format dintr-un prim strat de rășină epoxidică și un al doilea strat din rășină poliuretanică, cu grosimea totală de 0,15 – 0,30 mm. Durata de protecție crește de la 3 -5 ani la 6-9 ani dacă aceste două rășini sunt aplicate pe un strat metalizat de zinc sau aluminiu. La grosimi mai mari de 0,3 mm, stratul multiplu este armat cu fibre de sticlă, deoarece altfel se poate desprinde datorită diferenței mari dintre coeficienții de dilatare termică.

Rășinile epoxidice sunt deosebit de rezistente la soluții alcaline, acide, ape.

- Protecția șnecurilor prin acoperire cu PTFE

Atât șnecurile de transport al nisipului cât și șnecurile de transport ai aditivilor pot fi acoperite cu teflon și derivați ai PTFE.

PTFE sau Polytetrafluoroethylena este un compus sintetic un fluoropolymer, derivat al tetrafluoroethylenei și este cunoscut în mod uzual sub numele de teflon. Este un compus molecular de fluorine și carbon și are cel mai mic coeficient de frecare în raport cu alte corpuri solide.

Se aplica 2 sau 3 straturi cu proprietăți excelente anti aderență, cu rezistență la soluții chimice, ușor de curățat și cu o foarte bună rezistență la uzură. Grosimea totală a stratului de acoperire este de 30-60 micronmetri.

Pentru domenii de utilizare speciale, sub stratul de acoperire cu PTFE se poate aplica un strat intermediar din materiale diferite (bronz, metale dure, ceramică sau molibden). Grosimea stratului este, în acest caz, în funcție de utilizare între 10 μm și 100 μm.

În practică se mai utilizează metoda depunerii unui material compozit stratificat cu rezistență mare la uzura [34]. Soluția se referă la un material stratificat format dintr-un suport metalic, un strat intermediar poros și o acoperire de alunecare.

- Protecția plungerelor

În ceea ce privește plungerile, în momentul de față se folosesc în mod curent materialele: OLC 45, 18MnCr11 (18MnCr10) -este un oțel aliat pentru prelucrări la cald.

In practica curenta plungerile sunt supuse tratamentului de cementare și nitrurare ionica.

Carburarea (cementarea) este un tratament termochimic aplicat oțelurilor carbon sau slab aliate cu un conținut scăzut în carbon (< 0,25 % C). Cementarea constă în încălzirea oțelurilor la o temperatură de austenizare într-un mediu bogat în atomi de C. Concentrația în carbon a stratului superficial poate fi maxim 0,8 - 1,2 % C, pe o adâncime de până la 1,5 mm. În funcție de natura

mediului, cementarea poate fi făcută în mediu solid, lichid sau gazos. *Carburarea în mediu solid* se face prin asezarea pieselor în cutii de cementare într-un mediu format din mangal (cărbunele de lemn) și activatori (Na_2CO_3 , Ba_2CO_3). Piesele sunt încălzite într-un cuptor de tratament termic la temperatură de 900 - 950°C, timp de 6 - 12 h. Carbonul din mediul de carburare reacționează cu oxigenul din cutiile de cementare și formează monoxidul de carbon (CO), care la temperatura de austenizare devine instabil, se descompune și eliberează atomii de C care difuzează în suprafața pieselor. Un dezavantaj îl prezintă faptul că nu există un control riguros asupra grosimii stratului carburat, iar duratele de carburare sunt mari. *Carburarea în mediu lichid* se face în băi de săruri topite constituite din SiC (< 10 %) ca sare activă și activatori ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl}$), la temperatura de 850 - 900°C, timp de 3 - 8 h. Metoda se aplică de regulă la piese de dimensiuni mici. *Carburarea în mediu gazos* este cea mai răspândită metodă, care permite un control riguros asupra grosimii stratului carburat ($\leq 1,5$ mm). Piesele se încălzesc la temperatura de 850 - 900°C într-un mediu rezultat prin arderea unor gaze (gaz natural, gaz metan, gaz de sondă), timp de 3 - 8 h. Piesele de oțel cementate se pot trata ulterior prin calirea directă, calirea simplă sau calirea dublă, [35, 36, 37

Nitrurarea este tratament termochimic ce constă din îmbogățirea cu azot a straturilor superficiale. Azotul, formează nitruri, fin dispersate, cu fierul și elemente de aliere în special aluminiu, crom, vanadiu.

Nitrurarea ionică este tratamentul termochimic cel mai utilizat pentru îmbunătățirea proprietăților tehnologice ale materialelor. În prezența azotului aliajele de fier formează nitruri și carbonitruri de fier, la temperaturi scăzute, care prezintă o duritate și rezistență la uzare foarte mare. Azotul, formează nitruri, fin dispersate, cu fierul (Fe) și elementele de aliere ale Fe, în special aluminiu (Al), crom (Cr), vanadiu (V). Astfel, se pot forma următoarele nitruri [37]:

$\xi = \text{Fe}_2\text{N} \approx 11,3$ % N (fază excesiv de dură și fragilă);

$\varepsilon = \text{Fe}_3\text{N} \approx 8-11,2$ % N (soluție solidă pe baza de nitrură de fier (Fe_3N) cu duritate și fragilitate ridicată, dar nu la nivelul ξ ;

$\gamma' = \text{Fe}_4\text{N} \approx 5,5-6,2$ % N (soluție solidă pe baza de nitrură de fier (Fe_4N) mai dură decât faza ε , dar mai fragilă);

$\alpha = \text{Fe}_\alpha(\text{N})$ 0,015 % N (fază α este o soluție moale de inserție a azotului în Fe_α (fază moale)).

γ este un eutectoid care apare la 590°C și care, prin răcire, se separă în α și γ'

Nitrurarea se efectuează la temperaturi joase 500 ... 580°C. Se evită astfel difuzia azotului în miez și coalescența nitrurilor. Rezultă, o adâncime de nitrurare scăzută (0,2 - 0,6 mm). Acest tratament termochimic se poate efectua în medii gazoase, în medii lichide sau în plasmă.

Nitrurarea în gaz (clasică) se efectuează în cuptoare tip tunel, încălzite la 400-500°C prin care circulă un curent de amoniac (NH_3). Acesta se disociază în atomi de H și N și ulterior în ioni.

Nitrurarea în mediu lichid (cianuri: NaCN, KCN, cianati: NaCNO, KCNO, cu un adaos de până la 15 % carbonați, în special Na_2CO_3) are utilizare restrânsă, pentru nitrurări de piese foarte mici, în general în domeniul mecanicii fixe și de precizie, fiind un tratament cu toxicitate ridicată datorită cianurilor și cianatilor folosiți în mediul lichid.

La nitrurarea în plasmă (ionică), stratul marginal al componentelor este îmbogățit cu azot. Tratamentul se face în vid (sub presiune) în cadrul unei atmosfere de gaz ionizat. Azotul realizează împreună cu componentele din aliaj ale materialului un strat foarte tare, care poate fi, în funcție de material, de până la 0,5 mm adâncime. Structura de bază rămâne neafectată. Elasticitatea materialului este menținută prin simpla tratare a suprafeței.

Daca procesul de nitrurare are loc la temperaturi $< 500^{\circ}\text{C}$, intr-o prima etapa se vor forma fazele α , γ si in final faza ε . Rezulta ca in stratul de suprafata se vor afla fazele ε si γ' care asigura la suprafata piesei o duritate foarte ridicata. Stratul astfel obtinut se mai numeste si zona de combinatii sau stratul alb. De asemenea, stratul de suprafata nitrurat la temperaturi $< 500^{\circ}\text{C}$ nu este atacat de acizi, nu se oxideaza, nu se decarbureaza si nu necesita alt tratament termic ulterior de durificare (calire) [38].

Nitrurarea ionica are la baza principiul descarcarii luminescente intr-o atmosfera rarefiata. Piese sunt dispuse la catodul unei retorte, anodul reprezentand peretii retortei. Intre catod si anod are loc o descarcare luminescenta, iar in jurul piesei se realizeaza o cadere de tensiune care conduce la formarea plamei. Ionii de H si N bombardeaza piesa producand cresterea temperaturii pana la $400 - 500^{\circ}\text{C}$ si smulgerea atomilor de Fe. Acestia formeaza cu ionii de N nitrurile de fier care se depun pe piesa. Durata de procesare este redusa (8-12 h), iar calitatea stratului nitrurat este superioara, deoarece se formeaza, cu precadere, faza γ' .

Prezenta carbonului asigura caracteristici superioare stratului nitrurat prin formarea nitrurilor $\text{Fe}_3(\text{C-N})$, de aceea se recomanda supunerea la nitrurare a otelurilor de imbunatatire (in stare de calire si revenire inalta) cu un continut de 0,4 - 0,7 % C.

Nitrurarea ionica este un procedeu larg utilizat în industrie datorită numeroaselor avantaje pe care le prezintă comparativ cu nitrurarea clasica în gaz, cum ar fi:

- consumul de energie mai redus de 2 până la 4 ori;
- consumul de gaze pentru formarea mediului de lucru este mai redus de 5 până la 20 de ori;
- stabilitate dimensională, deformațiile având valori minime, ca urmare nu sunt necesare prelucrări mecanice;
- posibilitatea opririi și reluării ciclului de nitrurare pe parcursul tratamentului;
- intervalul de temperatura în care se poate efectua tratamentul este larg.
- schimbări dimensionale mici, care nu necesita prelucrări mecanice ulterioare ale componentelor nitrurate;
- construire controlabilă a stratului de nitrura cu adâncime de până la 0,5 - 0,8 mm;
- rezistență ridicată la uzură și coroziune;
- durificarea prin nitrurare poate fi posibilă pe anumite zone;
- abilități foarte bune de slefuire și sudare;
- temperaturi de procesare scăzute;
- fără reziduuri la tratament;

Dezavantajele nitrurării ionice sunt:

- instalațiile de nitrurare ionică sunt scumpe;
- dificultăți mai mari la măsurarea temperaturii elementelor active după durificare;
- personal de înalta calificare pentru exploatarea și întreținerea instalațiilor.

Comparativ cu cementarea, aderența stratului este mai scăzută. Din acest motiv piesa nu este implicată la solicitări de contact mari, iar pretul de cost este ridicat.

Capitolul 5. Analiza critică privind identificarea unor metode inovative de optimizare a echipamentului destinat operațiilor speciale și de cimentare la sondele în exploatare

5.1 Analiza critică privind identificarea metodelor inovative de optimizare a pompei cu plunger

Elementele cheie în operațiile de cimentare-fisurare-acidizare sunt *plungerul, sistemul de etansare / garniturile și supapele de aspirație și refulare* care reprezintă componentele de mare uzură ale pompei cu plunger. Performanța și durata de viață ale acestora vor afecta în mod direct punerea în aplicare a tehnologiei de proces.

În timpul funcționării pompelor de înaltă presiune, sub efectul presiunii și a fluidelor pompate care pot conține un număr mare de graunți de nisip cu o duritate ridicată, pot avea o aciditate ridicată, vâscozitate scăzută și o auto-lubrifiere slabă și ca urmare a frecării care se produce pe suprafața de lucru a plungerului, se produce atât uzura plungerului cât și a sistemului de etansare. O etanșare proastă va crește costurile de întreținere și va atrage costuri suplimentare.

Se face precizarea ca în cazul pompei cu plunger , pachetul de etansare are o poziție fixă/statică în timp ce plungerul este cel care se deplasează liniar sub acțiunea arborelui cotit.

O serie de studii au evidențiat că în timpul operațiilor de acidizare, durata de viață a plungerului poate fi în medie 100 de ore iar durata de viață a garniturii de etanșare poate fi în medie de 30-40 de ore, dar uneori 10-20 de ore.

Din datele furnizate de practica curentă, durata de viață a componentelor menționate este foarte scăzută, iar consumul anual sub formă de piese de schimb este foarte ridicat.

Cum operațiile de fisurare și acidizare devin din ce în ce mai frecvente, pompele tind să se dezvolte spre direcția de înaltă presiune astfel ca există o continuă provocare privind modernizarea componentelor și creșterea performanțelor materialelor utilizate și de acoperire.

5.1.1 Sistem de etansare

În principiu sistemul de etansare este un subansamblu care se montează într-o cameră proprie fiecărei dimensiuni de plunger. Camera etansează fața de corpul hidraulic printr-o garnitură "U" și un inel "O".

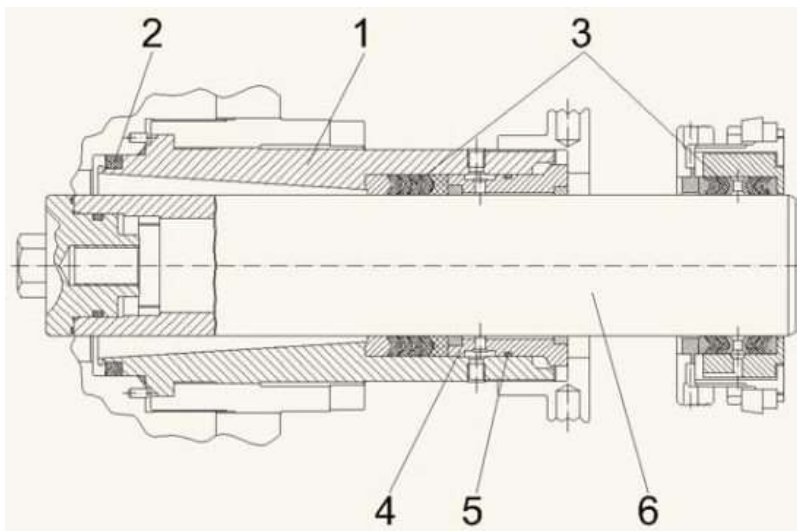
Fixarea camerei se realizează cu un manson filetat care este comun pentru toată gama de camere.

Reglarea pachetului de etansare a presetepei se face cu capacul presetepei prin intermediul buchei de presare. Capacul presetepei este comun pentru toată gama de plunger.

Plungerile sunt de formă tubulară și la variantele existente sunt cromate dur la exterior. Fixarea lor se face prin intermediul unei tijă și al unei piulite.

Dupa cum se observa in figura de mai jos, sistemul practicat in prezent are urmatoarea componenta:

- poz 1. - Camasa IC 45 / SR EN 10083 forjat;
- poz. 2. – Garnitura camasa cauciuc;
- poz. 3. – pachet de etansare – subansamblu;
- poz. 4. – Bucsa presgarnitura – subansamblu;
- poz.5 – inel „O” – cauciuc;
- poz 6. – plunger IC45 /SR EN 10 083



Subansamblu plunger

In practica s-au evidentiat de-a lungul timpului, o serie de solutii tehnice privind forma constructiva a camasii, a garniturii cat si materialul utilizat pentru executia acesteia.

Factorii care influenteaza durata de viata a unui pachet de etansare sunt:

- solutia constructiva a garniturii de etansare;
- numarul si tipul de garnituri utilizate intr-un pachet de etansare;
- tipul de material utilizat pentru garnituri

1. Pentru forma constructiva a garniturii, in anii 2000 Tremulet si Gilstad [1,2] au propus o varianta de garnitura pentru presiune inalta iar Byrne si Yang [3] au propus varianta in „V” cu margine de curatire (inel raclor). Referitor la materialul utilizat pentru executia garniturilor, un element de noutate l-a constituit, la nivelul acelor ani, utilizarea elastomerilor speciali de tip PTFE (polytetrafluoroethylene) si a tratamentelor antifricțiune prin utilizarea molibden disulfite (MoS₂) ceea ce, la acel moment a reprezentat un salt in optimizarea caracteristicilor garniturii si o reducere a coeficientului fricțiune .

Cercetarile efectuate in ultimii au evidentiat limite in ceea s-a propus anterior dar si solutii noi pentru sfera de interes.

In 2001 Chen [4] a evidentiat prin experimentarile facute ca grafitul nu este potrivit la presiuni inalte, iar PTFE , desi adecvat pentru presiuni inalte si medii, nu asigura o buna elasticitate pentru asigurarea etanseitatii si nici o buna comportare la temperaturi scazute.

Tot in 2001 Yang [5] a evidentiat faptul ca tratarea in infrarosu si cu raze laser a materialului garniturii au imbunatatit semnificativ rezistenta poliuretanului din care poate fi executata garnitura.

De asemenea a fost propusa inglobarea de rasini si fibre in compozitia materialului utilizat.

In 2003 Chi [6] a propus un tip de garnitura al carei material include atat grafit cat si PTFE , cunoscut sub numele de teflon grafitat.

In baza cercetarilor acelor ani au aparut elastomerii speciali si solutii constructive noi, care vor fi pe larg prezentate in lucrare.

In general, toate cercetarile, dincolo de solutii punctuale sau analize ale acestora, au evidentiat faptul ca mediul de lucru ramane o provocare permanenta, astfel că atât *garnitura de etansare in sine, materialul acesteia cât si suprafata de etansare, raman elemente care pot fi imbunatatite continuu.*

Odata cu utilizarea soft-urilor specializate care permit analiza parametrizata s-a putut realiza simularea comportarii contactului dintre plunger si garnituri (pachetul de etansare). A fost realizat modelul matematic al garniturii, a fost construit modelul cu element finit, s-au aplicat incarcari care simuleaza contactul si s-a analizat comportarea elementelor.

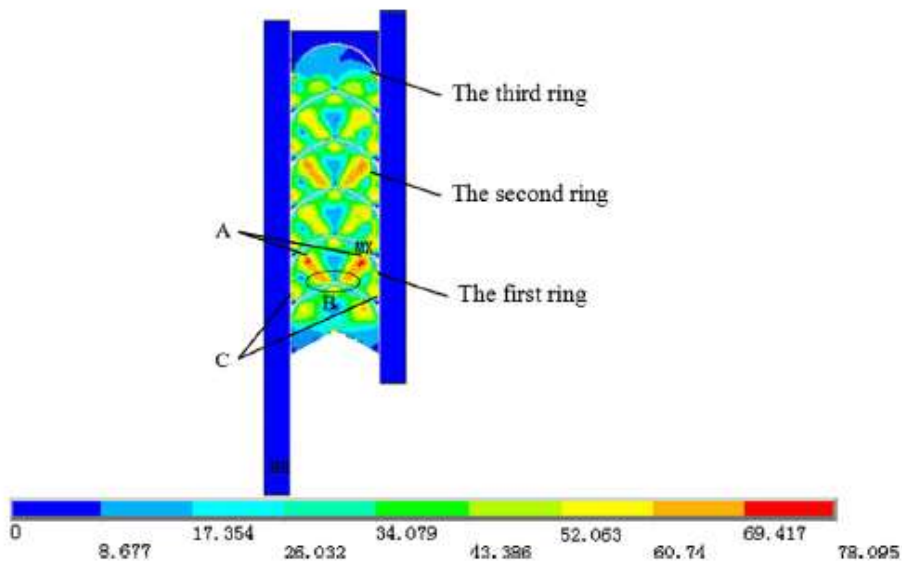
In 2014 Zhou [7] a efectuat o cercetare experimentală in cadrul careia a realizat o astfel de simulare utilizand pentru garnitura din pachetul de etansare forma in „V” si ca material cauciucul. Cauciucul este considerat un material foarte elastic si cu o comportare izotropica elastica neliniara, a carei forma constructiva posibila si parametrizare a fost studiata de Kim [8].

In cadrul acestui experiment Zhou a incercat sa foloseasca in analiza (sa simuleze) un pseudo element, pentru a elimina neliniaritatea suprafetei de contact. *S-a supus un pachet de etansare al unui subansamblu plunger, unei presiuni de 50 MPa luand in considerare un coeficient de frecare de 0.2 si s-a analizat comportarea garniturilor sub efectul acestei presiuni.*

In cadrul analizei au fost evidentiate distributia eforturilor unitare din setul de garnituri utilizat, distributia deformatiilor acestora si distributia presiunii de contact dintre marginile garniturilor si suprafata interioara a cilindrului si suprafata exterioara a plungerului.

Eforturile unitare

In figura următoare este prezentata distributia eforturilor unitare Von misses rezultate in garnituri in urma aplicarii presiunii de 50 MPa.



Distributia Eforturilor unitare Von misses

Dupa cum se observa, a fost inregistrat un efort maxim de 78,095MP considerat ca poate conduce cu usurinta la degradarea garniturii.

Durata de viata a garniturii influenteaza durata de viata a plungerului si este evident ca pentru a o imbunatati pe cea a plungerului trebuie avuta in vedere garnitura.

Zonele colorate evidentiaza zonele cu cele mai mari eforturi unitare.

Astfel, analizand rezultatele inregistrate, a reiesit ca in zona „A” din spatele garniturii s-a inregistrat cea mai mare valoare de 78,095MPa, in zona „B” din curbura in „V” a garniturii s-a inregistrat o vlore de 69,417 MPa iar in zona „C” de etansare , eforturile unitare au avut valori de 60,74 MPa . **Toate aceste valori sunt cu mult mai mari decat valoarea admisibila acceptata de 15 – 25 MPa. In aceste conditii vorbim de o deformare a garniturii in zona plastica .** De asemenea s-a constatat ca efortul unitar mare genereaza o relaxare a cauciucului rezultand o grabire a degradarii.

In momentul in care marginea suprafetei din spate ajunge in contact cu plungerul sau mantaua , este supusa unei presiuni de contact enorme.

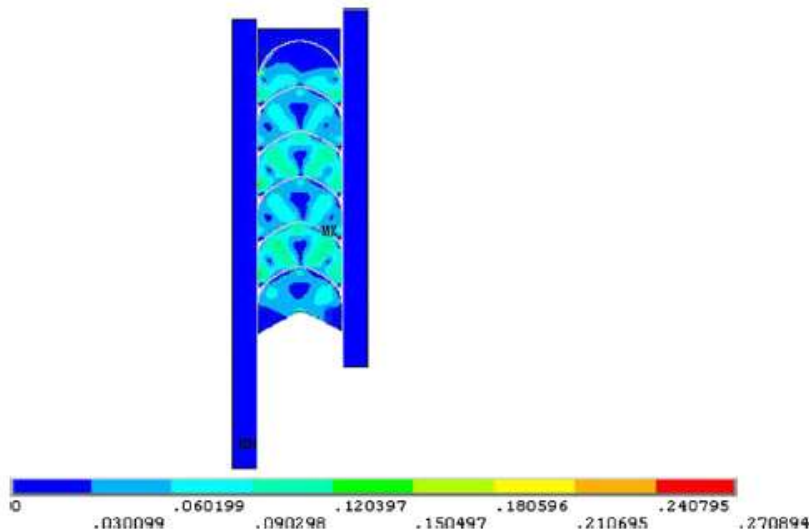
- ✓ **Concluzie 1:** insasi forma in „V” a garniturii poate fi cauza degradarii acesteia. Aceasta ar putea fi imbunatatita pentru a reduce concentratia si intensitatea eforturilor.

Se mai observa ca cel mai mare efort se inregistreaza prima garnitura, in celelalte garnituri inregistrandu-se valori de 69,4MPa , 52,063 MPa adica valori descrescatoare. Prima garnitura este cea care preia maxim presiune de lucru si in consecinta este si cel mai mult degradata.

- ✓ **Concluzie 2:** trebuie imbunatatite in special forma constructiva, caracteristicile primei garnituri.

Distributia Deformarilor

In figura urmatoare este prezentata distributia deformatiilor Von mises.



Distributia deformatiilor Von mises

Dupa cum se observa, ca si in primul caz, cele mai mari deformatii se produc in zonele A, B si C. Este si logic din moment ce acolo unde sunt cele mai mari eforturi unitare se produc si cele mai mari deformatii.

- ✓ **Concluzie 3:** la deformatii mari, in cazul cauciucului, se trece in zona plastica si astfel garnitura si etansarea sunt compromise.

Presiunea de contact

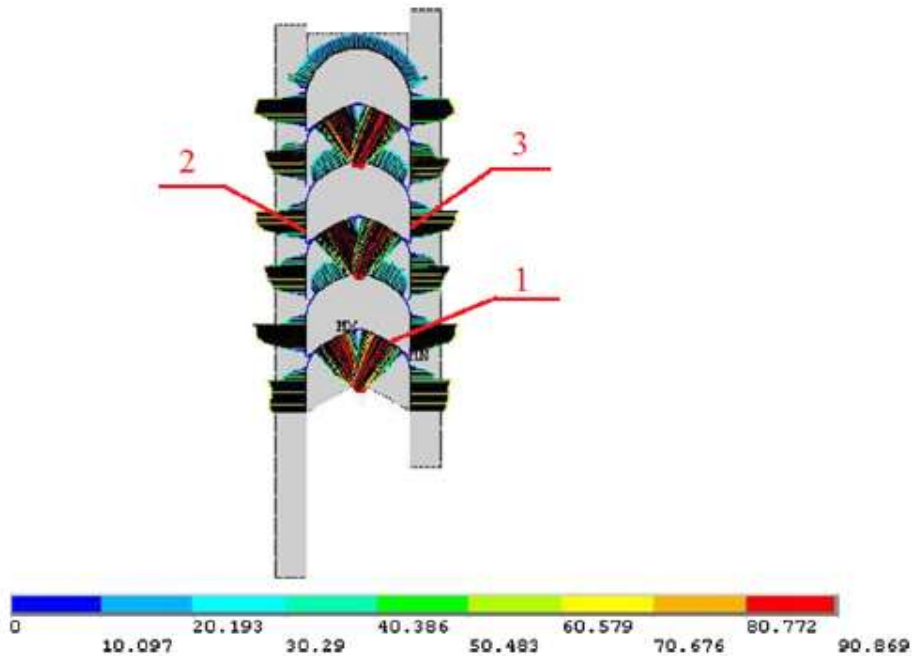
In figura urmatoare este prezentata distributia presiunii de contact dintre garnituri si suprafetele plungerului si manta/camasa.

Dupa cum se observa distributia presiunii de contact dintre suprafata etansarii si manta/plunger este inegala, iar valoarea maxima a presiunii de contact este de **90,869 MPa**, cu mult mai mare decat presiunea de lucru de **50 MPa**.

Presiunea de contact mare va conduce la o deformare a garniturii. La aceasta valoare este posibil ca garnitura sa se deformeze plastic, pierzandu-si elasticitatea. In aceste conditii etansarea nu mai este asigurata .

- ✓ **Concluzie 4:** trebuie acordata o atentie deosebita suprafetei de contact.

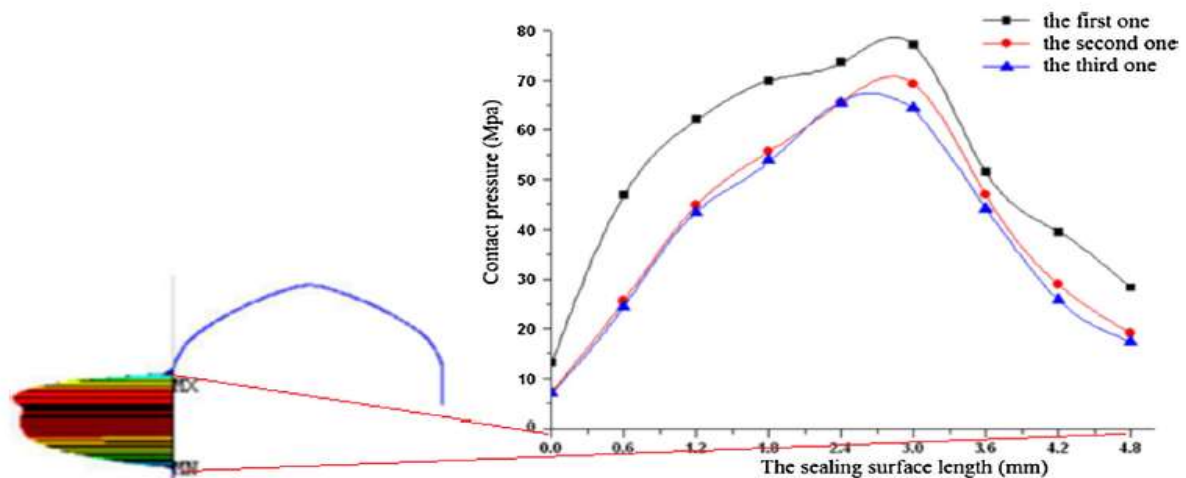
In practica se inregistreaza in mod curent imprimari in suprafata de etansare si dizlocurii de material.



Distributia presiunii de contact

Din figura următoare se poate observa, urmarind distributia presiunii de contact de-a lungul lungimii pachetului de etansare, ca valorile presiunii de contact sunt influentate si de lungimea suprafetei de contact. Cu cat lungimea de etansare este mai mare cu atat valorile presiunii de contact sunt mult mai scazute.

Desigur, se cauta un optim al lungimii astfel incat solutia constructiva sa nu conduca la constructii mari si cu greutati dezavantajoase.



Distributia presiunii de contact dintre suprafata de etansare si plunger in functie de lungimea etansarii

✓ **Concluzie 5:** trebuie acordată o atenție deosebită lungimii pachetului de etansare.

În 2016 Zhu, Yan și Wang [9] au efectuat o cercetare experimentală în cadrul căreia au evidențiat faptul că presiunea de lucru și prezența graunților de nisip cuarțos existenți în fluidul de fisurare reprezintă factori majori care conduc la deteriorarea garniturilor în timpul procesului de pompare a fluidelor agresive destinate operațiilor de fisurare.

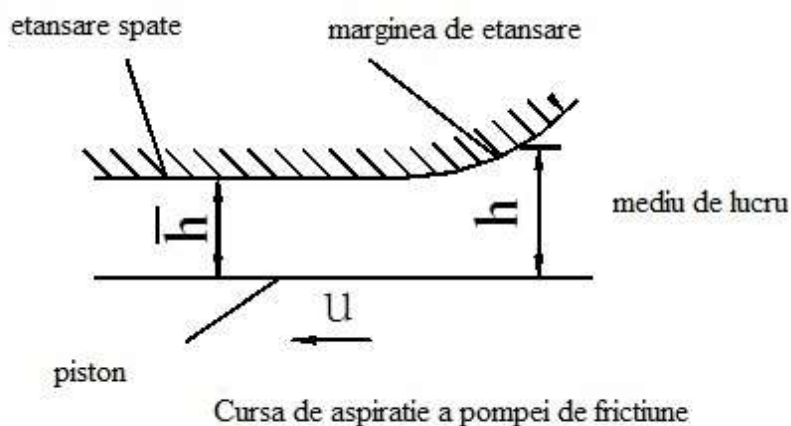
În mișcarea de translație a plungerului, sub acțiunea nisipului se înregistrează un puternic proces de uzură abrazivă.

Uzura de abraziune este un proces de natură mecanică care se manifestă prin uzura suprafețelor mai moi de către particulele mai dure. Procesul are forme specifice, dependente calitativ și cantitativ de forma și calitatea suprafețelor în contact, de proprietățile mecanice ale straturilor superficiale. Pe durata frecării, proprietățile mecanice ale straturilor superficiale și microtopografia lor se pot schimba, determinând modificări ale procesului abraziv.

Cele două straturi superficiale ale corpurilor în contact pot fi ierarhizate în unul moale și unul comparativ mai dur. Aceasta formă de uzură constă în zgârierea și detașarea de particule din stratul mai moale, de către proeminențele stratului mai dur.

În cadrul experimentului s-a evidențiat că, atât în timpul procesului de aspirație cât și de refulare, neexistând lubrefiere, sub acțiunea factorilor menționați, se produce o ridicare a marginii garniturii (în formă "V"), ceea ce conduce în timp la deteriorarea acesteia.

Analiza cu element finit a arătat că în timpul cursei de aspirație a plungerului, sub acțiunea presiunii de lucru și a graunților de nisip, inelul de etansare din cauciuc în formă de V are un efect de deformare conform figurii de mai jos.

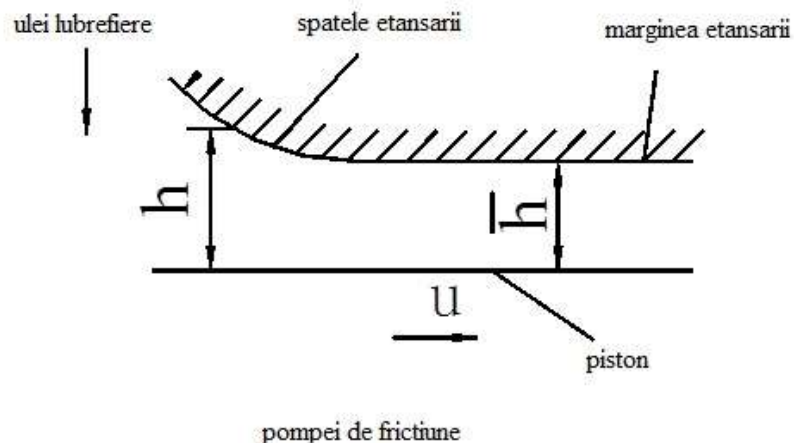


Comportarea garniturii în timpul cursei de aspirație

Acest fapt, din cauza întinderii garniturii, marginea inelului de etansare în formă de V se va abate de la suprafața plungerului, astfel încât se va forma o pană convergentă. Pe de altă parte, în

aceste conditii, mediul de lucru este adus pe suprafața de etanșare astfel incat se indeplinesc conditii minime de lubrifiere hidrodinamică, denumita lubrifiere medie.

In cazul cursei de refulare, în figura de mai jos se evidentiaza ca in partea din spate a etansarii, datorita directiei de deplasare a pistonului, nu se poate forma o pana convergenta.

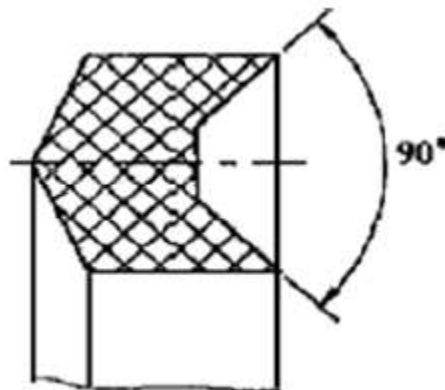


Comportarea garniturii in timpul cursei de refulare

✓ **Concluzie 6:** Trebuie acordata o atentie deosebita partii din spate a garniturii. In functie de solutia constructiva adoptata se poate obtine fenomenul de „pană convergentă” si la refulare astfel incat sa se respecte condițiile de lubrifiere hidrodinamică pe toata suprafata de etansare cunoscute ca lubrifiere forțată.

Cele evidentiate pot imbunatati major durata de viata garniturii prin reducerea frecarii.

Raportat la forma in „V” a garniturii utilizate initial (figura demai jos) in pachetele de etansare, s-a constatat ca forma constructiva a spatelui garniturii dar si unghiul de deschidere al garniturii nu favorizeaza formarea unei pelicule hidrodinamice.

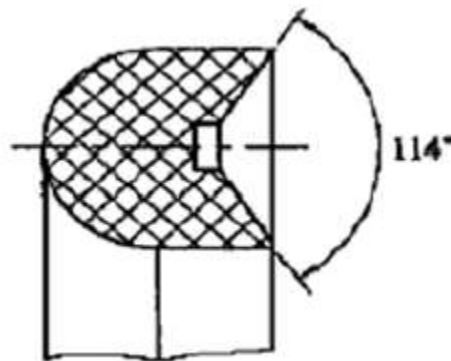


Garnitura forma initiala

Atunci cand mai multe garnituri de acest tip se monteaza, sub actiunea presiunii de lucru , spatiul dintre garnituri ramane foarte mic ceea ce defavorizeaza dispersarea caldurii , situatie in care deteriorarea garniturilor va fi in lant.

Analiza cu element finit a evidentiat ca media tenisunii /efortului de contact descreste cu cresterea unghiului de deschidere a garniturii. O valoare optima inregistrata este de 114 °.

De asemenea , analiza cu element finit a evidentiat ca imbunatatind solutia constructiva a garniturii prin rotunjirea partii din spate a garniturii, figura de mai jos, structura obtinuta va permite formarea unei pelicule hidrodinamice care va conduce la cresterea duratei de utilizare a garniturilor.



Garnitura forma imbunatatita

Investigatiile specifice indică faptul că, atunci când nu există ulei de lubrifiere, inelele de etanșare în formă de V vor ceda din cauza supraîncălzirii în câteva minute, dar atunci cand este prezenta o lubrifiere forțată, durata de viață a inelelor de etanșare poate ajunge la 40-50 de ore.


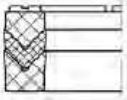
Evident, o lubrifiere forțată automat va îmbunătăți durata de viață a inelelor de etansare.

In baza analizei efectuate si a concluziilor desprinse se evidentiaza tendinta de a adecva solutia constructiva diferitelor aplicatii, de a combina diferite forme cosnstructive de garnituri in scopul de a elimina o serie de dezavantaje intalnite la formele utilizate de-a lungul timpului.

Pentru aplicatiile lineare specifice miscarii plungerelor se utilizeaza inelele „O” si pachetele de etansare alcatuite din elemente cu diferite forme constructive si materiale diferite care sa asigure etansarea plungerului in conditii speciale de temperatura si presiune.

Pentru pachetele de etansare, firmele FLUPEC, TRELLEBORG, GRAFEX Romania, AXON – Romania recomanda solutii moderne care integreaza materiale performante care vor fi prezentate pe larg in continuare.

- Pentru presiuni de max 400 bar firma FLUPEC [10, 11] recomanda urmatoarele pachete de etansare succesiune de elemente:

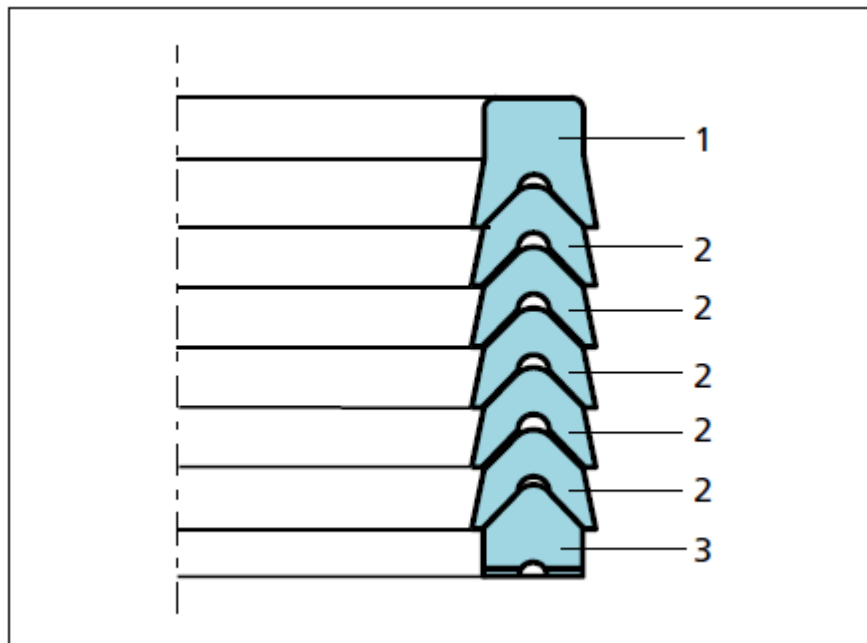
Overview	Description	Product group	Design	Profile no.	Speci- fication	Model	Mat.	Hard. Sh-A	Com- pound	max. speed m/s	max. pressure MPa(bar)	Temp.- range °C	Page
Rod seals													
	SDS 01 3/2	S	DS	01	E	3/2	NBR F NBR 90	90	3005 3006	0.5	40(400)	-30/+100	174
	SDS 01 1/0	S	DS	01	E	1/0	NBR F	90	3005	0.5	40(400)	-30/+100	178

Tipurile de elemente componente si dimensiunile sunt date in catalog [10]

- Pentru presiuni de de pana la 2000 bar, firma TRELLEBORG [12] propune pentru pachetul de etansare solutia "V-Stack".

Ansamblul de etanșare „V-Stack” conține un inel de presare (1), un pachet de inele cu profil V (2) și un inel de reazem (3).

În acest ansamblu, forța axială deformatoare este transferată între inelele individuale astfel încât fiecare inel este presat în contact cu suprafața de etanșat. Sunt disponibile diferite grade de materiale, pentru o mare varietate de condiții de funcționare.



Ansamblu de etanșare "V-Stack"

Poz 1. - **Inel de presare (adaptor superior)** este fabricat dintr-un material plastic cu modul de elasticitate mare, de obicei PEEK™, pentru a rezista la extrudare. Acest component sprijină inelele cu profil V oferind stabilitate și rezistență la extrudare. PEEK - Polyether Ether ketone - este

un polimer termoplastic organic incolor utilizat în diferite aplicații. PEEK este un material termoplastic semicristalin cu proprietăți excelente de rezistență mecanică și chimică, care se mențin și la temperaturi ridicate.

Poz 2. – Inel cu profil „V” , este fabricat în varianta standard în întregime din Turcon® sau combinații de Turcon® și elastomeri (Isolast®, XploR™) pentru o bună rezistență, eficiență a etanșării și rezistență la extrudare. Datorită designului lor specific, inelele cu profil V sunt sensibile la variațiile de presiune ale fluidului, putând să se modifice pe toată secțiunea radială, astfel crescând capacitatea de etanșare și eficacitatea acestuia proporțional cu presiunile aplicate.

Turcon® -este o gamă de materiale plastice. Materialele Turcon® sunt materiale termoplastice de înaltă performanță special concepute pentru aplicații de etanșare. Se bazează pe rășini fluoropolimerice de calitate premium, proprietățile fiind obținute prin adăugarea de materiale de umplură și tehnici speciale de prelucrare.

Isolast® este un membru al familiei de perfluoroelastomeri (ASTM D1418: FFKM). Perfluoroelastomerii sunt terpolimeri de monomeri în care au fost înlocuiți toți atomii de hidrogen cu fluor. Absența hidrogenului în lanțul molecular crește dramatic atât rezistența chimică cât și cea termică a perfluoroelastomerilor. Catenele moleculare reticulate permit perfluoroelastomerilor să combine rezistența și capacitatea de etanșare a unui elastomer cu inerția chimică și stabilitatea termică a PTFE.

XploR™ - este o gamă largă de elastomeri avansați special concepuți pentru aplicații de petrol și gaze.

Poz 3. - **Inelul de reazem (adaptor inferior)** este fabricat din PEEK™ sau PTFE. Funcția acestuia este de a asigura o distribuție uniformă a presiunii.

Soluția este recomandată pentru următoarele aplicații:

- Controlul debitului ;
- Supape de siguranță ;
- Piese culisante;
- Garniturile tijelor supapelor.

Condiții de funcționare:

- Presiune: până la 30000 psi (207 MPa) cu componente personalizate;
- Viteza: până la 1 m/s (3,3 ft/s);
- Temperatura: -45 °C până la +260 °C, în funcție de material;
- Mediul de lucru: noroi de foraj, fluide de sondă, apă de mare, fluide hidraulice inclusiv fluide pe bază de glicol;

Observație: Datele de mai sus sunt valori maxime și nu pot fi folosite în același timp, de ex. viteza maximă de operare depinde de tipul materialului, presiunea, temperatura și valoarea golului. Intervalul de temperatură depinde și de mediul înconjurător.

Tipurile de elemente componente și dimensiunile sunt date în catalog.[12]

- Firma AXON SRL Ploiesti [13] propune pentru pachetul de etansare soluția din figura de mai jos.

BIBLIOGRAFIE

- [1] MACOVEI N, Tubarea si cimentarea sondelor – Editura Universitatii din Ploiesti 1998;
- [2] Cristian M., S. Socol, Al. Constantinescu , Creșterea productivității și receptivității sondelor , Editura Tehnică, București, 1992;
- [3] Cinco, Ley , F. Samaniego, Transient Pressure Analysis for Fractured Weels , JPT, 1749-1766 – September 1981;
- [4] Economides M.J., Mc. Lennan, J.D. Brown, Roegiers , Performance and Stimulation of Horizontal Wells - Part 1, World Oil , June 1989 , Part 2 World Oil , july 1989;
- [5] Hubbert M.K, D.G. Willis , Mechanics of Hydraulic Fracturing, Trans. AIME 210 , 152 – 168 1957;
- [6] Economides M.J., Hydraulic Fracturing for Well Stimulation - 3rd ed. Wiley New York, 1991;
- [7] ICPT Campina, Perforarea în condiții de supraechilibru critic cu consolidarea chimică în situ – 1999;
- [8] Miron C., Metode, tehnologii si produse pentru refacerea si marirea permeabilitatii naturale a stratelor in scopul maririi afluxului de titei si gaze si receptivitatii sondelor de injectie Editura tehnica, București, 1999;
- [9] Atanasiu, V., A. Purcel - Practica extractiei titeiului – Ed tehnica 1971;
- [10] Coloja, M.P., C. Popescu, Extracția țiteiului și gazelor asociate - Ed. Tehnică, Bucuresti 1993;
- [11] C. Montgomery, Fracturing Fluid Components. In Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing 2013 May 17. IntechOpen, <https://www.intechopen.com/books/effective-and-sustainable-hydraulic-fracturing/fracturing-fluid-components>
- [12] M. Cristescu, Extracția petrolului. Operații de stimulare, intervenție și reparații, Editura Universității Petrol-Gaze din Ploiești, 2009, ISBN 978-973-719-298-1, https://www.academia.edu/13505942/Dictionar_de_petrol_interventii
- [13] Anton Paar GmbH, Viscosity of Crude Oil, 2020, <https://wiki.anton-paar.com/en/crude-oil/>
- [14] Earthworks, Hydraulic fracturing, Issue 101, Dec. 2017, https://www.earthworks.org/issues/hydraulic_fracturing_101/#FOOTNOTE1
- [15] New York State Department of Environmental Conservation, Revised Draft „Supplemental Generic Environmental Impact Statement on the Oil, Gas and Solution Mining”, Sept. 2011, <https://www.dec.ny.gov/data/dmn/rdsgeisfull0911.pdf>
- [16] J. Fink - Petroleum Engineer’s Guide to Oil Field Chemicalsand Fluids, Elsevier 2012;
- [17] Restarick, H.L., Mechanical Fluid-Loss Control Systems Used During Sand Control Operations, SPE 23741 paper presented at SPE International Symposium on Formation Damage Control, Lafayette, LA, 26-27 February 1992;
- [18] Dorman, J., F. Udvary, Comparative Evaluation of Temporary Blocking Fluid Systems for Controlling Fluid Loss Through Perforations, SPE Paper No. 31081, presented at the 1996 SPE International Symposium on Formation Damage Control, 14-15 February 1996, Lafayette, LA;
- [19] Tudor I., G.V Rapeanu, Ingineria coroziunii, vol 1-2, Editura Universitatii din Ploiesti 2002;
- [20] A. Lesto Prabhancana Kusumo, D. Supriyatman,- Corrosion Management in Production Pipeline Network Using Risk Management Analysis” prepared for presentation at the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition held in Jakarta, Indonesia, 15–17 April 2003;
- [21] Wang C. A. Neville , Understanding Inhibitor Action on Components of Erosion, Corrosion and their Interractions in CO2 –containing Slurries, presented at 1st International Symposium on Oilfield Corrosion held in Aberdeen 2004 ;

- [22] Carte tehnică AC 400, AC 500 - Arhiva IPCUP Ploiesti;
- [23] Carte tehnică ACF 700, ACF 800 - Arhiva IPCUP Ploiesti;
- [24] Carte tehnică ACF 1000 DH - Arhiva IPCUP Ploiesti 1985 ;
- [25] Marin, G.- Studii și cercetări privind realizarea unei instalații transportabile de introdus tubing flexibil în sondele aflate în extracție, inclusiv a sistemului de prevenire a erupțiilor, sesiunea jubiliară A UNIVERSITĂȚII "PETROL-GAZE" Ploiești, SECȚIUNEA UTILAJ PETROLIER PENTRU FORAJ EXTRACȚIE, Ploiești 1998
- [26] Marin, G.- Tehnologii și utilaje pentru forajul dirijat al găurilor de subtraversare, SIMPOZION EXPO PETRO GAS - EDIȚIA 3, București, sept. 2000
- [27] <https://www.petal.ro/product-category/agregate/>
- [28] Tudor I., G.V Rapeanu, Ingineria coroziunii, vol 1-2, Editura Universitatii din Ploiesti 2002;
- [29] A. Lesto Prabhancana Kusumo, D. Supriyatman,- Corrosion Management in Production Pipeline Network Using Risk Management Analysis” prepared for presentation at the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition held in Jakarta, Indonesia, 2003;
- [30] Wang C. A. Neville , Understanding Inhibitor Action on Components of Erosion, Corrosion and their Interactions in CO₂ –containing Slurries, presented at 1st International Symposium on Oilfield Corrosion held in Aberdeen 2004 ;
- [31] B.V. Johnson, M.J Ghafri., Al-harthy A.S.M. - The Use of Carbon Steel in Highly Sour Oil and Gas Production Systems - prepared for presentation of the SPE International Oilfield Scale Conference held in Aberdeen UK , 28 -29 May 2008;
- [32] Mingjie K, J. Bales , Corrosion Behaviour of Various 13 Chromium Tubulars in Acid Stimulation Fluids , presented at 1st International Symposium on Oilfield Corrosion held in Aberdeen 2004 ;
- [33] Dawson, J., Pipeline Corrosion Management , PII Limited, United Kindom ;
- [34] Adam A., Material compozit stratificat - Brevet de inventie „ Nr 119 604 B , 28 .02. 2000;
- [35] V Serban, A. Raduta, Universitatea "Politehnica" din Timisoara,, Stiinta si Ingineria Materialelor , Editia III, Editura Politehnica 2014;
- [36] V. Serban, Universitatea "Politehnica" din Timisoara, Stiinta Materialelor, Curs „Tratamente termice aplicate aliajelor Fe-C”,
<https://drive.google.com/file/d/0BxVb8sILHHT1YUixd1RWNDZtbmM/view>
- [37] V. Serban, Universitatea "Politehnica" din Timisoara, Curs 13, 2009,
<http://www.mpt.upt.ro/doc/Curs%20finale%20IE-%202012.ppt>
- [38] https://www.halex-group.de/V1/Downloads/HAERTHA/Verfahrensbeschreibungen/1010_haertha_plasma_nitriding.pdf