

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA REALIZĂRII SONDELOR ORIZONTALE DE MICĂ ADÂNCIME DE PE STRUCTURA SUPLACU DE BARCĂU

Doctorand,

Ing. Constantin CONSTANTINESCU

Conducător științific,

Prof. dr. ing. Mihai GHEORGHIȚOIU

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof. dr. ing. Iulian NISTOR	U.P.G. din Ploiești
Conducător științific	Prof. dr. ing. Mihai GHEORGHIȚOIU	U.P.G. din Ploiești
Referent oficial	Conf. dr. ing. Șerban NICOLESCU	U.P.G. din Ploiești
Referent oficial	Dr. ing. Dumitru GHERGHICEANU	OMV PETROM
Referent oficial	Dr. ing. Grigore TATU	I.P.F.E. Câmpina

Ploiești 2019

CUPRINS

INTRODUCERE	4
1. ETAPELE REALIZĂRII UNEI SONDE	7
1.1. GENERALITĂȚI	7
1.2. ETAPELE DE CONSTRUCȚIE ALE UNEI SONDE	8
1.2.1. Etapa de elaborare a proiectului	8
1.2.1.1. Scopul proiectului	9
1.2.1.2. Colectarea datelor	9
1.2.1.3. Interpretarea datelor	9
1.2.1.4. Stabilirea coordonatelor țintei . ..	9
1.2.1.5. Identificarea condițiilor geologo-geofizice	9
1.2.1.6. Stabilirea traiectului sondei	10
1.2.1.7. Stabilirea schemei de tubaj	13
1.2.1.8. Stabilirea tipodimensiunilor sanelor	19
1.2.1.9. Alegerea instalației de foraj	20
1.2.1.10. Stabilirea regimului de foraj	23
1.2.1.11. Stabilirea fluidului de foraj de foraj	32
1.2.1.12. Stabilirea componentei ansamblului de fund	33
1.2.1.13. Localizarea și precizarea restricțiilor în foraj	37
1.2.1.14. Efectuarea operațiilor geofizice	40
1.2.1.15. Echiparea de fund a sondei.	40
1.2.1.16. Verificarea și finalizarea proiectului	40
1.2.2 Etapa de executie a unei sonde.	40
1.3. POSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A CONSTRUCȚIEI UNEI SONDE.	40
1.3.1. Teoria grafurilor aplicație	44
2. PARTICULARITĂȚI ALE CONSTRUCȚIEI SONDELOR ORIZONTALE DE PE STRUCTURA SUPLACU DE BARCĂU	48
2.1. STRATIGRAFIA ZĂCĂMÂNTULUI SUPLACU DE BARCAU	48
2.2. PROFILUL SONDELOR	59
3. CONTRIBUȚII LA STUDIUL EVACUĂRII DETRITUSULUI DIN SONDELE ORIZONTALE DE PE STRUCTURA SUPLACU DE BARCĂU	64
3.1. CURGEREA ȘI TRANSPORTUL DETRITUSULUI ÎN PORȚIUNEA VERTICALĂ	65
3.2. CURGEREA ȘI TRANSPORTUL DETRITUSULUI ÎN PORȚIUNEA CURBILINIE	65
3.3. CURGEREA ȘI TRANSPORTUL DETRITUSULUI ÎN PORȚIUNEA ORIZONTALĂ	78
4. CONTRIBUȚII LA STUDIUL SOLICITĂRIILOR SPECIFICE MATERIALULUI TUBULAR LA SONDELE ORIZONTALE DE MICĂ ADÂNCIME DE PE STRUCTURA SUPLACU DE BARCĂU	82
4.1. GARNITURA DE FORAJ	82
4.1.1. Prăjini de foraj	84
4.1.2. Prăjini intermediare	85
4.1.3. Prăjini grele	86
4.1.4. Accesorii de fund	86
4.2. COLOANA DE BURLANE	92
4.2.1. Burlane de tubaj	92
4.2.2. Accesorii de tubaj	95

4.3. SISTEMUL DE FORȚE CARE ACȚIONEAZĂ ASUPRA MATERIALULUI TUBULAR	
LA SONDELE ORIZONTALE DE MICĂ ADÂNCIME	.....97
4.3.1. Forțe în porțiunea verticală a sondei	.....97
4.3.2. Forțe în porțiunea înclinată de unghi constant	.....106
4.3.3. Forțe în porțiunea curbilinie	.....113
4.3.4. Forțe în porțiunea orizontală	.....130
4.3.5. Estimarea coeficientului de frecare	.....133
4.3.6. Evaluarea tensiunilor în materialul tubular din sondele orizontale de mică adâncime	.....134
4.3.7. Stabilitatea garniturii de foraj	.....136
4.3.8. Aplicație	.....138

**5. APLICAREA TEORIEI GRAFURILOR ÎN MANAGEMENTUL
CONSTRUCȚIEI SONDELOR ORIZONTALE DE MICĂ ADÂNCIME
DE PE STRUCTURA SUPLACU DE BARCĂU**

5.1. DEFINIȚII ȘI FUNCȚII ALE MANAGEMENTULUI	.....141
5.2. MANAGEMENTUL SONDELOR DE PETROL ȘI GAZE	.....142
5.3. TEORIA GRAFURILOR ȘI ANALIZA DRUMULUI CRITIC ÎN MANAGEMENTUL FORAJULUI SONDELOR ORIZONTALE DE PE STRUCTURA SUPLACU DE BARCĂU	.....144
5.3.1. Definiții și generalități	.....145
5.3.2. Aplicarea grafurilor la proiectarea sondelor de orizontale de mică adâncime	.....146
5.3.3. Aplicație	.....150

6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE169

BIBLIOGRAFIE 172

INTRODUCERE

Teza de Doctorat are la bază atât cercetări întreprinse în perioada premergătoare realizării referatelor de cercetare cât și studii ulterioare, bazate pe selectarea unui bogat material bibliografic legat de observațiile din șantier. Aceste observații s-au constituit într-o bună bază de date care a fost folosită în Teza de doctorat.

Teza este structurată în șase capitole precedate de o introducere, după cum urmează:

- Capitolul 1 intitulat **Etapele realizării unei sonde** prezintă o bază teoretică de calcul generală care poate fi aplicată construcției oricărui sonde de exploatare

Capitolul 1 tratează și posibilitățile de optimizare ale construcției unei sonde în general.

De asemenea Capitolul 1 conține o introducere succintă în Teoria Grafurilor care va fi folosită ca mijloc obiectiv de elaborare a proiectului unei sonde.

- Capitolul 2 **Particularități ale sondelor orizontale de pe structura Suplacu de Barcău** scoate în evidență caracteristicile sondelor de pe structura Suplacu de Barcău fixând în prealabil o serie de criterii de stabilire a particularităților.

Accentul s-a pus pe două aspecte importante respectiv particularitățile litostratigrafice ale structurii și caracteristicile zacamantului. Toate aceste trăsături specifice vor fi puse în legătură cu traseul spațial al sondelor de pe structura Suplacu de Barcău și în continuare vor fi tratate ca factori favorizanți apariției dificultăților în foraj.

- Capitolul 3 intitulat **Contribuții la studiul evacuării detritusului din sondele orizontale de pe structura Suplacu de Barcău**, tratează problematica transportului de detritus din sondele orizontale și puternic înclinate. După ce sunt prezentate conjuncturile care au dus la aprofundarea cercetărilor și a studiilor privitoare la formarea depunerilor de detritus este prezentată dinamica de dezvoltare a acestora. Materialul ales pentru prezentare a fost selecționat dintre studiile legate de subiect, care au făcut obiectul unor articole sau comunicări științifice. Se discută pe larg despre Ecuația de Echilibru a lui Duan Mingqin considerată. Aceasta ecuație a fost completată pentru a putea fi adaptată situației din sondele orizontale de mică adâncime.

- Capitolul 4 intitulat **Contribuții la studiul solicitărilor specifice ale materialului tubular la sondele de pe structura Suplacu de Barcău** ia în discuție solicitările garniturii de prăjini și de burlane care apar la construcția sondelor orizontale. Forțele care acționează asupra materialului tubular sunt identificate și evaluate teoretic în zonele de lucru și în cele mai frecvente ipostaze care apar pe parcursul construcției unei sonde orizontale. Deoarece evaluarea coeficientului de frecare pe cale analitică este foarte greoaie, s-a propus un procedeu de evaluare a coeficientului de frecare, bazat pe măsurători în șantier. Astfel pe baza unor date concrete s-a calculat valoarea coeficientului de frecare al întregii sonde.

În finalul capitolului s-a prezentat o aplicație care are ca obiect un fapt real.

- Capitolul 5 intitulat **Aplicarea Teoriei Grafurilor în managementul sondelor orizontale de pe structura Suplacu de Barcău**, sunt prezentate definiții ale managementului în general și ale funcțiilor managementului după care se dezvoltă managementul specific forajului. Apoi se trece la enumerarea și definirea unor metode ale cercetării operationale și a grafurilor, bază a acestor metode. Aplicarea grafurilor se face în continuare și se construiește graful proiectului de foraj al unei sonde orizontale cu ajutorul căruia se scoate în evidență Drumul Critic al succesiunii etapelor de proiectare. Capitolul 5 se încheie cu o aplicație care are rolul de a demonstra obiectivitatea folosirii grafurilor în gestionarea unui proiect de foraj.

- Capitolul 6 intitulat **Concluzii și contribuții personale** evidențiază concluziile care pot fi trase din fiecare capitol și scoate în evidență, succint contribuțiile personale. Concluzia principală este că managementul construcției unei sonde poate fi sensibil ameliorat prin folosirea Teoriei Grafurilor.

- **Bibliografia** consultată conține un număr de 57 titluri de autori străini și români. Majoritatea lucrărilor străine sunt de dată apropiată și au fost traduse în limba română fiind de mare utilitate în eventualitatea unor noi cercetări.

Capitolul 1

ETAPELE REALIZĂRII UNEI SONDE

1.1. Generalități

În acest paragraf se definește sonda ca fiind: o construcție subterană de formă cilindrică a cărei lungime este foarte mare în raport cu diametrul, realizată cu mijloace de la suprafață, verticală, înclinată sau orizontală, în vederea cercetării succesiunii de strate ce alcătuiesc scoarța și a extragerii la suprafață a anumitor minerale fluide sau mobilizate, cu o fază fluidă[19].

După aceasta definiție este prezentată o clasificare a sondelor după următoarele criterii:

- 1° după scopul lor [19]
- 2° după, geometria lor
- 3° Toate tipurile de sonde enumerate mai sus se mai pot clasifica în :
 - Sonde de mică adâncime, care au adâncimea pe verticală cuprinsă între 200m și 1200m
 - Sonde de medie adâncime, care au adâncimea pe verticală cuprinsă între 1200m și 3000m
 - Sonde de mare adâncime, care au adâncimea pe verticală mai mare de 3000m.

1.2. Etapele de construcție ale unei sonde

În continuare se dezvoltă etapele existente în construcția unei sonde și anume :

- etapa de elaborare a proiectului sondei
- etapa de execuție a proiectului sondei

În continuare sunt enumerate etapele considerate necesare pentru construcția unei sonde, mai ales în faza de elaborare a proiectului, avându-se în vedere că fiecare etapă va reprezenta un element al grafului care va fi dezvoltat ulterior, aceste elemente fiind considerate vârfuri sau noduri ale grafului. Totodată se scoate în evidență baza teoretică necesară, caracteristică celor mai importante etape de elaborare a proiectului.

Tot în acest paragraf se stabilesc criteriile de alegere a instalației de foraj pentru un anumit tip de sondă.

1.3 Posibilități de optimizare a construcției unei sonde

La acest paragraf se stabilește o cale de optimizare a construcției unei sonde, plecându-se de la expresia funcției de eficiență dată de relația (1.58)[45] de mai jos:

$$C_t = \frac{C_g}{H} + \frac{C_i \cdot T_d + C_m \cdot T_m + B_s}{V \cdot T_d} \quad (1.58)$$

S-a luat în considerare costul total al sondei C_t ca și criteriu de optimizare. Optimizarea propriu-zisă a fost organizată după tabelul 1.6.[45] modificat la realitățile forajului actual când un anumite operații care în mod obișnuit se executau de formația de foraj au fost externalizate.

1.3.1. Teoria Grafurilor, aplicație

În acest paragraf s-a făcut o introducere în Teoria grafurilor, care se va folosi în Capitolul 5, insistându-se pe noțiunile de bază.

Pentru a evidenția utilitatea acestei teorii în tratarea obiectivă a diverselor operațiuni necesare construcției unei sonde s-a făcut, în cadrul acestui paragraf, o aplicație pentru operația de Demontaj - Transport - Montaj a unei instalații de foraj.

Capitolul 2

PARTICULARITĂȚI ALE CONSTRUCȚIEI SONDELOR ORIZONTALE DE PE STRUCTURA SUPLACU DE BARCĂU

Acest capitol scoate în evidență particularitățile sondelor forate pe structura geologică Suplacu de Barcău, avându-se în vedere următoarele criterii:

- scopul sondelor
- adâncimea zăcământului
- stratigrafia structurii
- profilul sondelor
- dificultățile în foraj
- programul de tubaj

După stabilirea scopului construcției sondelor de pe structura Suplacu de Barcău, respectiv exploatarea țițeiului greu bogat în bitumene, se precizează și adâncimea mică la care se află acest zăcământ. Mărimea acestei adâncimi particularizează în mod decisiv aceste sonde.

2.1.Stratigrafia Zăcământului Suplacu de Barcău [49]

În continuare, în acest paragraf, este descrisă stratigrafia zăcământului. de pe structura geologica Suplacu de Barcău.

Conform tabelului 2.1., tabelului 2.2., tabelului 2.3., tabelului 2.4. și tabelului 2.5. se poate observa că structura stratigrafică este aproape omogenă, astfel că poate fi tratată uniform.

Punerea în evidență a stratigrafiei are ca rol determinant identificarea posibilelor dificultăți în foraj, și care poate duce la măsuri de evitare a complicațiilor.

După această trecere în revistă a caracteristicilor stratigrafice se trece la o caracterizare a caracteristicilor litologice pe fiecare pachet stratigrafic.

Din cele arătate se vede ca mineralogia zăcământului Suplacu de Barcău este unitară și ca urmare detritusul rezultat în urma construcției drenelor orizontale se încadrează în categorii bine definite conform tabelului 2.6:

Tab. nr. 2.6 Mediile ponderate ale diverselor sorturi
de detritus pentru rezervoarele sondelor Vortex 5W și Vortex 6W

	Nisip grosier %	Nisip mediu %	Nisip fin %	Nisip foarte fin %
Vortex 5W	3	50	31	16
Vortex 6W	2	42.5	31	24.5

Așa cum se observă valorile sunt apropiate și sunt caracteristice sondelor de pe Structura Suplacu de Barcău.

Nu în ultimul rând este scoasă în evidență valoarea poroității pe această structura geologică, ia valori în domeniul (18 – 42)% valoarea tipica fiind 38%.

2.2. Profilul sondelor

Acest paragraf conține caracterizarea profilului spațial al sondelor construite pe structura geologică Suplacu de Barcău. Acest profil este prezentat în figura 2.1:

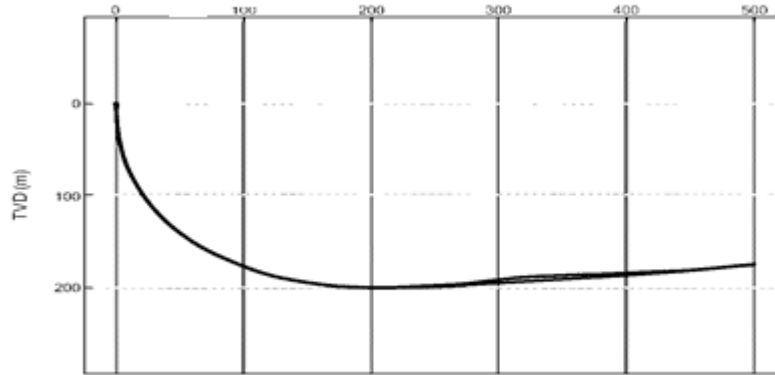


Fig. 2.1 Secțiunea verticală a sondei Vortex 1W

Acest tip de profil este tipic pentru toate sondele orizontale de pe Structura Suplacu de Barcău. Se observă forma literei “J” răsturnată și deasemeni raza de curbura constantă de-a lungul zonei de creștere a unghiului de înclinare α .

Faptul că unghiul care caracterizează azimutul, ω , poate fi considerat constant, se poate observa din tabelul 2.8.

Tab.2.8 *Survey-ul* traiectoriei sondei Vortex 1W

1.MD (m)	2.Incl. α (°)	3.Azim. ω (°)	4.TVD (m)	5.VSEC (m)	5.NS (m)	6.EW (m)	7.DLS (°/30m)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	N/A
4,20	0,69	174,37	4,20	0,03	-0,03	0,00	4,91
14,18	2,32	174,37	14,18	0,29	-0,29	0,03	4,91
23,02	4,18	185,12	23,00	0,77	-0,78	0,02	6,62
31,87	6,42	189,42	31,81	1,54	-1,59	-0,09	7,71
42,25	8,83	188,78	42,10	2,83	-2,95	-0,31	6,97
51,26	11,41	187,41	50,97	4,31	-4,52	-0,53	8,63
60,70	14,43	185,05	60,17	6,32	-6,62	-0,75	9,74
69,83	17,59	184,65	68,94	8,73	-9,13	-0,97	10,39
78,60	21,22	182,60	77,22	11,53	-12,04	-1,15	12,63
88,72	23,15	182,06	86,59	15,24	-15,85	-1,30	5,75
98,37	25,91	181,16	95,36	19,13	-19,86	-1,41	8,66
107,88	28,56	178,37	103,82	23,39	-24,21	-1,39	9,28
136,07	37,53	170,42	127,48	38,58	-39,37	0,34	10,85

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
145,58	40,87	169,27	134,85	44,59	-45,29	1,40	10,78
155,42	44,74	169,05	142,06	51,27	-51,85	2,66	11,81
169,09	49,18	169,22	151,39	61,26	-61,66	4,54	9,75
178,29	52,52	169,53	157,20	68,39	-68,68	5,85	10,92
187,72	55,96	169,52	162,71	76,04	-76,20	7,24	10,94
197,00	59,25	169,54	167,68	83,87	-83,90	8,67	10,64
206,03	60,09	169,62	172,24	91,66	-91,57	10,08	2,80
215,77	61,25	169,17	177,01	100,15	-99,91	11,64	3,77
225,45	64,21	167,91	181,45	108,75	-108,35	13,35	9,81
234,75	67,92	167,43	185,22	117,25	-116,65	15,17	12,05
244,42	72,24	167,34	188,51	126,34	-125,52	17,15	13,40
254,35	75,41	168,81	191,28	135,88	-134,85	19,12	10,48
263,48	77,26	170,03	193,44	144,75	-143,57	20,75	7,22
273,01	78,73	170,35	195,42	154,06	-152,75	22,34	4,73
304,41	86,56	169,92	199,51	185,13	-183,44	27,40	7,71
308,37	87,51	169,50	199,72	189,09	-187,34	28,11	7,87
327,44	90,09	169,00	200,10	208,15	-206,06	31,68	3,73
336,99	93,12	167,91	199,83	217,69	-215,42	33,59	10,11
373,62	93,12	169,44	197,34	254,23	-251,24	40,78	4,39
383,46	94,37	170,02	196,69	264,05	-260,90	42,53	4,20
393,12	97,50	170,63	195,69	273,64	-270,38	44,14	9,90
401,62	99,79	170,66	194,42	282,04	-278,67	45,51	8,08
411,47	99,74	170,69	192,75	291,74	-288,25	47,08	0,18
421,31	98,55	170,79	191,18	301,44	-297,83	48,65	3,64
430,62	98,03	171,15	189,84	310,64	-306,93	50,09	2,03
440,49	95,57	171,44	188,67	320,42	-316,62	51,58	7,53
450,39	92,79	172,10	187,95	330,27	-326,39	52,99	8,66
459,21	93,45	172,47	187,47	339,06	-335,12	54,17	2,57
497,35	92,50	174,45	185,59	376,97	-372,95	58,54	3,56
507,19	93,62	174,31	185,06	386,74	-382,73	59,50	3,44
517,25	92,96	174,43	184,49	396,72	-392,73	60,49	2,00
526,38	94,20	174,50	183,92	405,77	-401,80	61,37	4,08
535,92	93,94	174,74	183,24	415,23	-411,27	62,26	1,11
546,28	92,65	174,67	182,64	425,50	-421,57	63,21	3,74
555,13	93,02	174,20	182,21	434,28	-430,37	64,07	2,03
574,16	95,98	173,92	180,74	453,14	-449,24	66,00	5,39
583,10	97,42	174,27	179,70	461,97	-458,07	66,92	4,97
593,50	97,68	174,20	178,34	472,22	-468,33	67,95	0,78
603,23	96,96	174,12	177,10	481,82	-477,93	68,93	2,23
606,49	96,27	174,18	176,72	485,04	-481,15	69,26	6,37
620,00	94,00	174,30	175,51	498,41	-494,54	70,61	5,05

O altă caracteristică a Sondelor orizontale de mică adâncime de pe Structura Suplacu de Barcău legată de forma profilului este că intervalul vertical este foarte mic în comparație cu celelalte două. În tabelul 2.9 se face o comparație între ponderea celor trei intervale la aceste sonde.

Tab.2.9 Ponderea procentuală a intervalelor în construcția sondelor orizontale de pe structura Suplacu de Barcău

Sonda	Vertical		Curbiliniu		Orizontal	
	m	%	m	%	m	%
Vortex 5W	10	2	354	27	634	71
Vortex 21W	52	7	337	44,8	363	48,2
Vortex 23W	25	2.2	287	26	788	71,6
Vortex 1W	10	1.6	317	51	293	47,2

Toate aceste caracteristici trecută în revistă determină dificultăți în foraj specifice dintre care cea mai frecventă constă în depunerile de detritus în intervalul cuprins între 65° și 45°.

Figura 2.3 reprezintă rezultatul unei complicații datorată depunerilor de detritus care a dus la prinderea coloanei de exploatare în timpul tubajului acestei coloane.



Fig. 2.3 Deformațiile leinerului șlițuit în urma solicitărilor la torsiune și compresiune

Încercarea de a continua introducerea prin manevre de rotire și împingere de la suprafață a dus la deformarea leinerului de producție șlițuit așa cum se vede în figură. Această operație a făcut obiectul unei aplicații ulterioare.

În încheierea capitolului se remarcă programul de tubaj la acest tip de sonde:

- coloana de ancoraj a avut diametrul exterior de 9.625" (244.47mm) având grosimea de perete de 10.03mm cu filet Buttres din oțel L-80, material rezistent la temperaturi înalte.
- coloana de exploatare de 7" (177.8mm) cu grosimea de perete 9.19mm care în fapt este o coloana pierdută și este alcătuită din 4, 5 burlane normale urmate de burlane șlițuite cu o lungime apropiată de lungimea drenei orizontale

Capitolul 3

CONTRIBUȚII LA STUDIAREA EVACUĂRII DETRITUSULUI DIN SONDELE ORIZONTALE DE MICĂ ADÂNCIME DE PE STRUCTURA SUPLACU DE BARCĂU

În acest capitol este dezvoltat subiectul evacuării detritusului, subiect care s-a dovedit foarte important în gestionarea realizării sondelor puternic deviate și orizontale, categorie din care face parte și sondele orizontale de mică adâncime de pe structura geologică Suplacu de Barcău.

Capitolul debutează prin a aminti pierderi suferite la forajul sondelor orizontale datorate cunoașterii insuficiente a mecanismului de formare a depunerilor de detritus. Cu această ocazie se introduce noțiunea se Extended Reach Wells (ERW), care definește sondele la care drena orizontală depășește de cel puțin două ori adâncimea pe verticală.

Se stabilesc în continuare direcțiile de abordare a studiului evacuării detritusului din sondele orizontale de mică adâncime, și anume:

-a) un studiu geologic care trebui să pună în evidență alcătuirea litologica a formațiunilor traversate în timpul forajului. Natura și granulometria detritusului este în directă legatură cu fenomenele reologice și de transport

-b) Studiul curgerii și transportului de detritus va fi făcut pe cele trei sectoare ale geometriei tipului de sonda în studiu, respectiv:

- pe porțiunea verticală
- pe porțiunea curbă
- pe porțiunea orizontală

Studiul geologic fiind realizat la capitolul anterior, s-a trecut la studiul curgerii pe cele trei porțiuni amintite accentul fiind pus pe curgerea în porțiunea curbă și cea orizontală.

3.1 Curgerea și transportul detritusului în porțiunea verticală

este guvernată de legea lui Stokes redată prin relația 3.1 :

$$u = \frac{d^2 \cdot (\rho_r - \rho_f) \cdot g}{18 \cdot \eta_p} \quad (3.1)$$

în care : u este viteza de cadere a particulei de detritus

d este diametrul particulei de detritus

η_p este viscozitatea plastică

ρ_r este densitatea detritusului

ρ_f este densitatea fluidului de foraj

g este accelerația gravitațională

care la rândul ei e derivată din relația din relația lui Rittinger

La finalul acestui paragraf se concluzionează:

Cu cât viteza ascensională este mai mare decât viteza de alunecare u, cu atât mai bine este transportat detritusul.

Asadar relația lui Stokes pune în evidență influența mărimii și densității detritusului, calitățile reologice și densitatea fluidului de foraj.

3.2. Curgerea și transportul detritusului în porțiunea curbilinie

La începutul acestui paragraf se definesc anumite mărimi care vor fi folosite pe parcursul paragrafului, cum ar fi:

- CFD, Computational Fluid Dynamic (Calculul Dinamic al Fluidului), este o ramură a mecanicii fluidelor care folosește algoritmi și metode numerice pentru a analiza și a rezolva probleme legate de curgerea fluidelor.

- CDV, Critical Deposition Velocity (Viteza Critică de depunere) reprezintă viteza minimă a fluidului de foraj la care particulele de detritus încep să se depună în spațiul inelar.

- CRV, Critical Resuspension Velocity (Viteza Critică de Resuspensie) reprezintă minimumul vitezei medii a fluidului de foraj în care primul strat de depunere al nisipului fin de deasupra depunerii de detritus începe să fie antrenat în curentul de fluid.

- CTV, Critical Transport Velocity (Viteza Critică de Transport), reprezintă minimumul vitezei medii a fluidului la care detritusul rămâne în curentul de fluid. Această valoare este specifică fiecărui tip de detritus atât ca dimensiuni cât și ca însușiri fizico-chimice.

- forțe de tip London sunt forțe de atracție de tip Van der Waals care acționează între atomi sau molecule neutre din punct de vedere electrochimic. Se manifestă cu atât mai puternic cu cât dimensiunile particulelor sunt mai mici.

- aria caracteristică, este definită aria proiecției particulei de detritus peste media suprafeței depunerilor când această particulă este proiectată perpendicular pe direcția forței (de smulgere sau de înțepnire). Ține de geometria particulei de detritus.

- înălțimea depunerilor de detritus, este înălțimea maximă a unei depuneri de detritus de tip pat.

În continuare se enumeră o serie de studii experimentale și concluziile lor. Astfel[44]:

- J.Li et al. au studiat curgerea fluidului în sondă iar concluzia a fost că la un debit mai mare decât cel corespunzător vitezei critice de transport, capacitatea de transport crește semnificativ.

- Ozbayoglu *et al.* au realizat experimente extinse pentru a analiza efectele parametrilor majori asupra eficienței transportării detritusului într-un model experimental sub forma unui tub curbiliniu cu diametrul de 203mm și o lungime de 30m în condiții de presiune joasă și temperatură ambientală. S-a constatat că viteza medie în spațiul inelar este parametru dominant în procesul de curățire al sondei iar curgerea turbulentă este recomandată pentru prevenirea dezvoltării depunerilor de detritus. Proprietățile detritusului, densitatea fluidului, înclinarea sondei și excentricitatea garniturii au efecte în curățirea găurii de sondă.

Deasemeni au continuat să studieze viteza critică pe un model în forma de tub cotit cu diametrul de 101.6mm și lungimea de 4.5m. Rezultatele arată că depunerile staționare se dezvoltă la viteze mai mici de 1.8m/s iar viteza critică începe de la 2.4m/s valoare de la care nu se mai pot forma depuneri de detritus.

- Kelessidis *et al.* pe un model experimental rectiliniu cu diametrul de 0.17m și lungimea de 5m au studiat efectele parametrilor hidraulici asupra transportului de detritus. Au ajuns la concluzii asemănătoare cu cei din echipa lui Ozbayoglu. În plus au concluzionat că la debite mari, dar sub limita în care tot detritusul este în suspensie, nu se mai depun pe pereți și curg neuniform în spațiul inelar din apropierea tălpii[46].

- Sifferman et al. au studiat influența rotirii garniturii la transportul detritusului luând în considerare și înclinarea sondei, mărimea particulelor de detritus și viteza de avansare.

Concluzia a fost că rotirea garniturii de foraj are cel mai mare efect la găuri înclinate aproape de orizontală, la dimensiuni mici ale detritusului și viteza de avansare mică.

- Okranji et al. a studiat de asemeni influența înclinării asupra depunerilor iar concluzia sa a fost că detritusul este cel mai greu de transportat la unghiuri de 45° - 55°.

- Wang et al. a studiat influența excentricității garniturii de foraj asupra transportului detritusului. Concluzia a fost că la creșterea excentricității, concentrația de detritus crește. Excentricitatea prăjinilor face ca valoarea vitezei critice în spațiul inelar să crească

- Mark Sewel și Joe Billingley [40] studiază problema curățirii sondei cu ajutorul dopurilor de fluid îngreunat la viscozitate mică. Concluzia lor după experimente în șantier este că evacuarea depunerilor de detritus se poate realiza satisfactor prin circulația completă a dopurilor de fluid îngreunat și viscozitate scăzută care depășesc greutatea specifică a fluidului de lucru cu (359.5 – 479.3)kg/m³ și ofera o coloană de (60 – 120)m în spațiul inelar.

În studiul lor iau în considerare și rotirea garniturii de foraj. Se concluzionează, în studiu, că creșterea vitezei de rotație a garniturii determină creșteri vizibile ale rației de evacuare a detritusului. Au realizat și o diagramă experimentală ilustrată în figura 3.1.

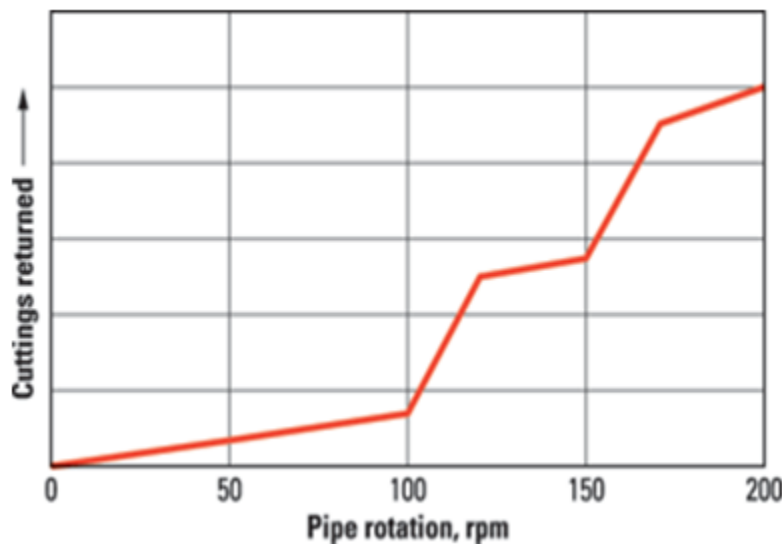


Fig. 3.1 Influența rotirii garniturii asupra evacuării detritusului

O trecere în revistă a unor cercetari teoretice, foarte importanta o face Francis Effiong în lucrarea sa « Transportul Experimental al Detritusului în Sondele Orizontale. Determinarea Înălțimii Depunerilor » în 2013 [12].

Privitor la viteza critică necesară evacuării detritusului, parametru cvasiechivalent cu Viteza Critică de Transport (CTV), au fost realizate cercetari de către Hopkins (1995) și de către Bizanti și Alkafeef (2003), care au prezentat o procedură simplificată, de a estima debitul critic necesar în curățirea detritusului în sondele puternic deviate și orizontale [12]

Un rezumat al cercetarilor lor este prezentat în tabelul 3.1 :

Tab. nr.3.1 Rezumatul cercetarilor lui Hopkins, Bizanti și Alkafeef

1.Autor	2.Hopkins	3.Bizanti și Alkafeef
pas 1	$FMW = 2.117 - 0.1648 \cdot \rho_m + 0.00381 \cdot$	Se ia RF funcție de η_p , Yeld Point și mărirea găurii de sondă
pas 2	$V_s = FMW \cdot V_{sv}$	Se obține AF pe baza unghiului de deviație al sondei
pas 3	$V_{min} = (V_s \cdot \cos\theta) + (V_2 \cdot \sin\theta)$	$TI = SG \cdot RF \cdot AF$
pas 4	$V_2 = \left[\left(\frac{\rho_r - \rho_m}{\rho_m} \right) \cdot g^3 \cdot \left(\frac{d_h - d_p}{12} \right) \right]^{\frac{1}{6}}$	Se obține debitul minim din tabele corespunzatoare dimensiunii găurii.
pas 5	$Q_{crit} := 0.04079 \cdot \left[(d_h)^2 - (d_p)^2 \right] \cdot V_{mir}$	

:

- pasul 1, FMW din metoda lui Hopkins este factorul de corecție al greutății specifice a fluidului de foraj, adimensional. Acest pas este utilizat pentru a obține efectul dat de densitatea noroiului la valoarea vitezei de alunecare.

- La Bizanti și Alkafeef aceasta mărime se numește Factor de Reologie (RF), funcție de η_p , Yeld Point și dimensiunea găurii de sondă.

- pasul 2 la Hopkins implică două proceduri într-una singură. Prima, V_{sv} (viteza de alunecare în ft/min. pentru condiții verticale) este obținută din diagrame funcție de Yeld point și considerând o medie a dimensiunii detritusului. Apoi se ajustează viteza de alunecare verticală considerând că efectul densității fluidului de foraj și al Yeld Point-ului este obținut din ecuațiile prezentate în tabel.

- Bizanti și Alkafeef implică folosirea deviației sondei pentru a obține factorul de unghi (Angle Factor, AF).

- Pasul 3, la Hopkins implică rezolvarea relației prezentate mai sus spre a determina viteza minimă (V_{min}) necesară transportului de detritus.

La Bizanti și Alkafeef, la pasul 3 se calculează Indicele de Transport TI.

- Pasul 4, la Hopkins presupune calculul lui V_2 care este minimul vitezei în secțiunile verticale și este obținută prin includerea lui C, o constantă empirică bazată pe date de laborator.

La Bizanti și Alkafeef acesta este ultimul pas și constă în determinarea debitului minim din tabele corespunzatoare dimensiunii găurii de sondă.

- Pasul 5, la Hopkins este ultima estimare în calcularea debitului minim în gal/min. cu ajutorul formulei prezentate în tabel.

O altă direcție de cercetare și anume studiul înălțimii depunerilor, o face J.Li et al. în 2007, având ca ipoteze comportarea reologică a fluidului după legea puterii (relația 1.46). El a dezvoltat un model mecanic al transportului de detritus de către un fluid de foraj convențional

(incompresibil), în sondele orizontale. Modelul a fost estimat numeric ca funcție de debitul și caracteristicile reologice ale fluidului de foraj (n, K), viteza de avansare, geometria sondei și excentricitatea garniturii de foraj [44]

Un alt cercetator ale cărui rezultate sunt luate în considerare de Francis Effiong este Norton care în 2002 prezintă o metodă prin care poate fi obținut debitul critic necesar transportului detritusului [12]. Metoda sa ia în considerație un comportament al fluidului caracteristic legii puterii și se ocupă de prevenirea formării depunerilor de detritus.

Sumarul pașilor este prezentat în Tabelul 3.2:

Tab.nr. 3.2 Calculul Debitului Critic necesar transportului detritusului

Autor	Norton 2002	Explicații
Pas 1	$n = 3.32 \cdot \log\left(\frac{\theta 600}{\theta 300}\right)$	n=indice de comportare a curgerii $\theta 600$ =indicatie Fann $\theta 300$ =indicatie Fann
Pas 2	$K = \frac{\theta 600}{(1022)^n}$	K = indicele de consistență din Legea Puterii
Pas 3	$x = \frac{81600 \cdot K \cdot n^{0.387}}{(D_h - D_p)^n \cdot MW}$	MW greutatea fluidului de foraj D_h =diametrul gaurii de sondă D_p =diametrul prăjinilor
Pas 4	$AV_c := x^{1+2-n}$	AVc=Viteza Critică în spațiul inelar
Pas 5	$G_{pmc} := AV_c \cdot \frac{(D_h^2 - D_p^2)}{24.5}$	Gpmg = debitul critic

Cele doua modele prezentate anterior au la bază ipoteza ca fluidul de foraj are un comportament specific legii puterii, care este descrisă de relatia:

$$\tau = K \cdot \eta p^n \quad (1.54)$$

În continuare se aduc în atenție modelele de curgere cu cea mai mare acceptare de către cercetătorii care s-au ocupat de acest subiect.

Gavignet și Sobey (1986) au prezentat un model pentru transportul detritusului în doua straturi. Ipotezele lor au fost ca detritusul va cadea în stratul inferior al găurii de sondă datorită înclinării sondei și forței gravitaționale[16].

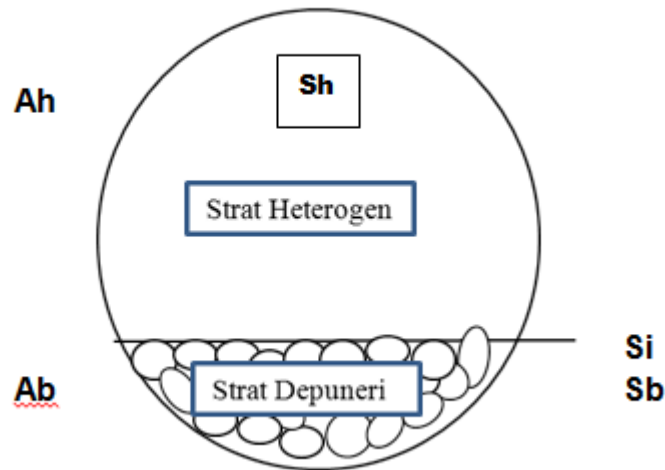


Fig. 3.2 Modelul de curgere în spațiul inelar după Gavignet și Sobey

S-a notat :

- Sh – perimetrul corespunzător stratului heterogen
- Sb – perimetrul corespunzător stratului de depuneri
- Si – suprafața interfacială
- Ah – aria stratului heterogen
- Ab – aria stratului de depuneri

După prezentarea acestui model de curgere Capitolul 3 . continuă cu modelul de curgere în 3 straturi, modelul cel mai folosit de cercetători. Duan Mingqin își bazează cercetările pe acest model prezentat în figura 3.3:

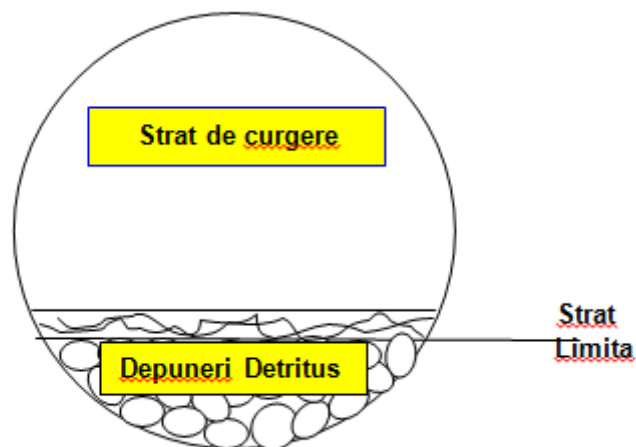


Fig. 3.3 Modelul de curgere după Duan Mingqin

Viteza critică de resuspensie (CRV), deja definită este un parametru pe care autorul încearcă să-l expliciteze pornind de la echilibrul unei particule de detritus aflată în stratul de depuneri.

Acest model este prezentat în Figura 3.4.

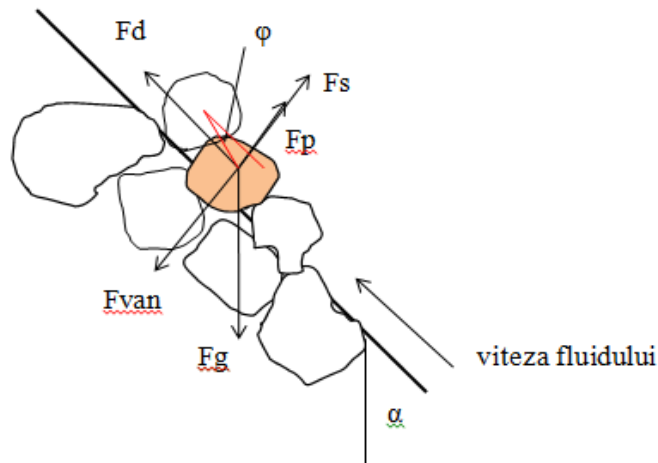


Fig. 3.4 Modelul echilibrului forțelor după Duan Mingqin

Condiția de echilibru este ca rezultanta forțelor aplicate în centrul particulei de detritus considerate să fie zero. Condiția critică este când momentul dat rezultanta forțelor este mai mare decât zero. Media vitezei fluidului în aceste condiții este Viteza Critică de Resuspensie.

Forțele care acționează asupra particulei de detritus, după Duan Mingqin sunt:

- forța de gravitație F_g
- forța de plutire F_p
- forța de înțepenire F_d
- forța de smulgere F_s
- forța van der Waals, F_{van}

După evaluarea cantitativă a forțelor considerate autorul formulează expresia momentului de echilibru Γ :

$$\Gamma = 0.5 \cdot dp \cdot [F_s \cdot \cos(\varphi) + F_d \cdot \sin(\varphi) - F_g \cdot \sin(\alpha + \varphi) - (F_p + F_{vanR}) \cdot \cos(\varphi)] \quad (3.6)$$

condiția de echilibru este:

$$\Gamma = 0 \quad (3.7)$$

În relația 3.6. unghiul α este unghiul de înclinare a sondei iar unghiul φ este unghiul care apare între raza vectorială dintre centrul particulei considerate și centrul particulei celei mai apropiate și direcția curgerii fluidului de foraj, fiind considerat și unghiul de repaus al particulei de detritus.

Ecuția (3.6) a fost completată în această lucrare cu forța centrifugă de inerție, F_c dată de ecuația (3.8):

$$F_c = \frac{m \cdot V^2}{R} \quad (3.8)$$

unde : m este masa particulei de detritus

R este raza de curbură a sondei în porțiunea curbilinie

V este viteza tangențială, în cazul nostru viteza fluidului în spațiul inelar

Considerând și forță centrifugă de inerție participantă la echilibrul forțelor figura 3.4. devine:

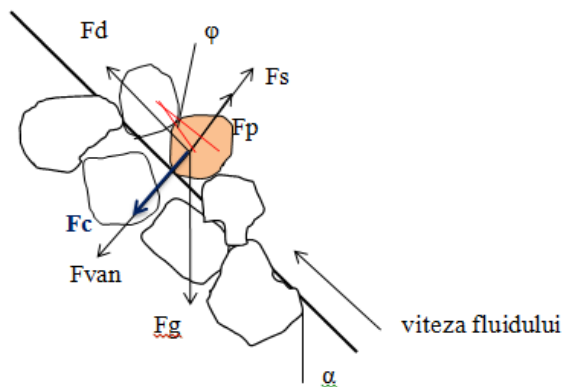


Fig. 3.8. Modelul echilibrului forțelor după Duan Mingqin completat cu forța centrifugă de inerție F_c

iar relația (3.6) devine:

$$\Gamma = 0.5 \cdot dp \cdot [FL \cdot \cos(\varphi) + FD \cdot \sin(\varphi) - FG \cdot \sin(\alpha + \varphi) - (Fp + FvanR) \cdot \cos(\varphi) - Fc \cos(\varphi)] \quad (3.12)$$

Urmează o analiză neincluserii forței centrifuge F_c în ecuația de echilibru de către Duan Mingqin, concluzia acestei analize este că această forță F_c are o mărime de același ordin cu celelalte forțe din condiția de echilibru doar în cazul sondelor cu raza medie de curbura, cazul sondelor orizontale de pe structura Suplacu de Barcău. Pentru demonstrarea acestui fapt s-au calculat valorile forțelor F_{van} și F_c în condițiile de șantier.

Apoi s-a definit factorul adimensional F_k ca raportul F_c/F_{van} și s-a trasat caracteristica $F_k = f(R)$ cu raza R de curbura în metrii, ca în figura 3.7:

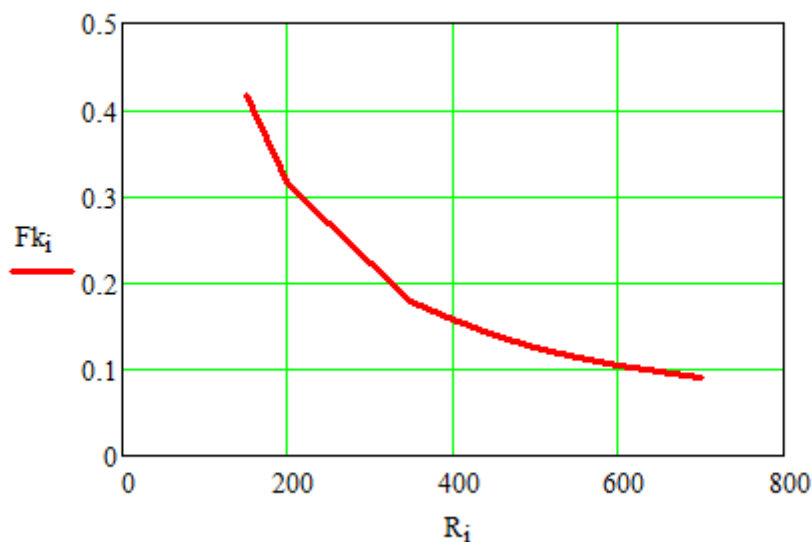


Fig. 3.7. Variația factorului F_k cu raza de curbura a sondei

Concluzia apare imediat anume că la raze de curbura mai mari de 600m F_c poate fi neglijată.

3.3 Curgerea și transportul detritusului în porțiunea orizontală

Pentru studiul evacuării detritusului din drena orizontală la sondele de pe structura Suplacu de Barcău se admit următoarele ipoteze:

- garnitura de foraj este în contact cu peretele inferior al găurii de sondă
- debitul de lucru este limitat superior la valoarea pentru care sapa începe să "cadă" adică traiectoria sondei tinde spre un unghi mai mic de 90°
- cum drena orizontală se realizează prin zăcământ în volumul fluidului de foraj apare o concentrație în jurul a 5% de țiței

Astfel cu cât distanța față de sapa crește în curentul de fluid rămân mai puține particule de detritus ca în Figura 3.9 :

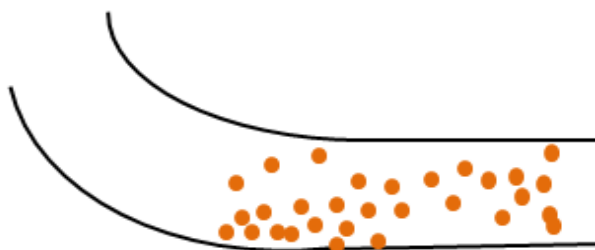


Fig. 3.9 Distribuția detritusului în drena orizontală

Se definește excentricitatea relativă ca în relația (3.14) [29].

$$e = \frac{\delta}{R2 - R1} \quad (3.14)$$

unde : e este excentricitatea relativă

δ este distanța dintre cele două axe ale tuburilor, ca în figura 3.10

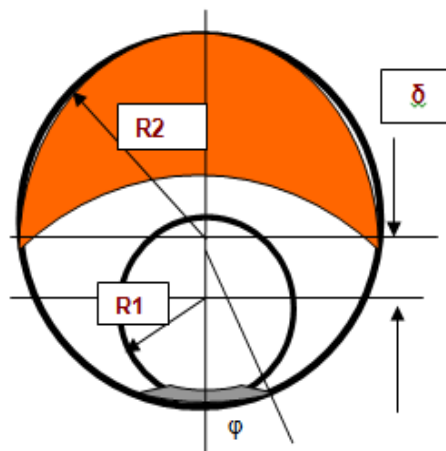


Fig. 3.10 Alura secțiunii transversale a drenei orizontale la o anumită distanță de sapă

Zona portocalie reprezintă cu aproximație curentul de fluid iar zona gri depunerile de detritus cu alte cuvinte a zonă nemiscată.

Dacă se acceptă înlocuirea tensiunii dinamice de forfecare τ_0 prin θ tensiunea statică de forfecare din relația 3.14 se obține o ecuație transcendențială în φ care poate fi rezolvată prin metode numerice [29]. În Figura 3.12 este redată dependența unghiului φ de parametrul $P \cdot R / \theta$:

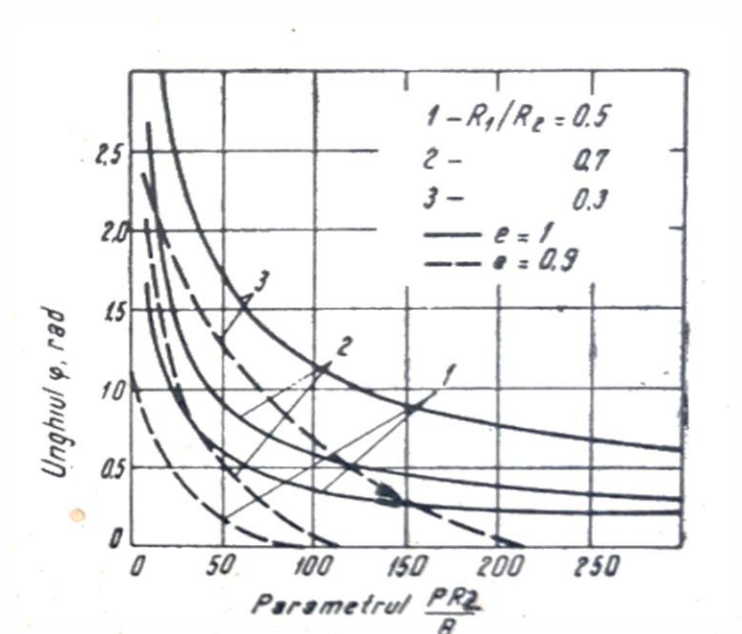


Fig. 3.11 Dependența unghiului φ de gradientul de presiune tensiunea statica de forfecare, raportul R_1/R_2 și de excentricitatea spațiului inelar

Din figura 3.12 se poate constata ca[29]:

- mărimea zonei moarte scade cu gradientul de presiune, cu raza exterioară și raportul R_1/R_2 și crește cu tensiunea statică de forfecare și cu excentricitatea
- dacă cele două tuburi sunt tangente ($e = 1$), fluidul nemișcat și gelifiat din zona de contact nu va fi antrenat oricât de mare va fi gradientul de presiune
- dacă gradientul de presiune este scăzut sau rezistența de gel este ridicată, unghiul φ poate atinge valoarea π : curgerea nu are loc.

Fenomenul evacuării detritusului din sondele orizontale de mică adâncime prezintă anumite diferențe de cele prezentate prin următoarele particularități:

- Sondele orizontale de mică adâncime au o zonă verticală foarte mică în comparație cu restul sondei
- Datorită adâncimii mici pe verticală gradientul presiunii de fisurare este mic și nu se poate lucra cu debite mari care să asigure o viteză minimă de transport (MTV).
- Datorită unghiului mare de inclinare al motorului (bent) tipic 2.2grd. apar riscuri foarte mari de rupere a garniturii atunci când se sapă în modul rotary

și pe structura Suplacu de Barcău aceste particularități guvernează proiectarea și execuția unei sonde orizontale de mică adâncime. La cele de mai sus se adaugă și faptul că sondele traversează la adâncimi cuprinse între 35m și 105m strate de carbune care pe lângă gradientii de fisurare mici influențează și reologia fluidului de foraj în sensul reducerii viscozității.

Capitolul 4

CONTRIBUȚII LA STUDIAREA SOLICITARILOR SPECIFICE AL MATERIALULUI TUBULAR LA SONDELE ORIZONTALE DE MICĂ ADÂNCIME DE PE STRUCTURA SUPLACU DE BARCĂU

4.1. Garnitura de foraj

Acest capitol debutează prin identificarea și enumerarea elementelor garniturii de foraj recomandate pentru construcția sondelor orizontale. Sunt scoase în evidență atât elementele specifice unei garnituri folosite la forajul vertical cât și cele folosite la forajul pentru sonde puternic înclinate și orizontale. Astfel:

în general garnitura de foraj folosită la forajul vertical, este alcătuită din [24]:

- a. prajina de antrenare
- b. prajini de foraj
- c. prajini intermediare
- d. prajini grele
- e. reducții și racorduri de legătură
- f. accesorii de fund: stabilizatori, corectori, amortizoare de vibrații, gela, cana de siguranță, etc.

S-a luat în considerare cazul unei instalații de foraj cu Top Drive.

După o prezentare a elementelor de mai sus, a caracteristicilor geometrice și mecanice a acestor elemente precum și anumite caracteristici funcționale s-a trecut la burlanele de foraj.

4.2. Burlane de tubaj

Burlanele de foraj sunt elemente de consolidare a sondei și de echipare de fund a sondei în cazul burlanelor șlițuite. La acest paragraf se scot în evidență caracteristici geometrice și mecanice pentru burlanele de tubaj.

Deasemeni sunt prezentate, accesoriile de tubaj specificându-se pentru fiecare rolul și aria de aplicabilitate.

4.3. SISTEMUL DE FORȚE CARE ACȚIONEAZĂ ASUPRA MATERIALULUI TUBULAR LA SONDELE ORIZONTALE DE MICĂ ADÂNCIME

În acest capitol se face o analiză a forțelor care acționează asupra garniturii de foraj și a coloanei de burlane în toate situațiile care apar pe timpul construcției sondei

Forțele care acționează asupra garniturii de foraj pot fi clasificate în mai multe categorii cum ar fi :

- forțe datorate geometriei sondei
- forțe datorate regimului de foraj mecanic și hidraulic
- forțe cu acțiune permanentă și forțe aleatoare

Analiza acestor forțe va fi făcută ținându-se seama de porțiunea din sonda orizontală unde lucrează garnitura de foraj.

4.3.1. Forțe în porțiunea verticală a sondei

Marimea și frecvența forțelor care acționează asupra garniturii de foraj depinde în cea mai mare măsură de regimul de foraj folosit și de geometria gaurii de sondă.

Regimul de foraj reprezintă un grup de valori ale parametrilor de foraj, apăsare pe săpă, turație la săpă, debit de circulație care pot fi modificați, în limitele permise de instalația de foraj, în scopul realizării unui foraj în siguranță și cât mai ieftin.

Forțele au fost clasificate în forțe generate de regimul mecanic și generate de regimul hidraulic și tratate ca atare.

De observat că în cazul forajului cu motor de fund, debitul de circulație impune turația motorului.

În acest subparagraf sunt luate în discuție forțele datorate regimului mecanic în toate ipostazele întâlnite la construcția segmentului vertical al sondei, respectiv la marșul de extragere, de introducere, la rotirea sapei cu circulație de-asupra talpii și la forajul propriu-zis. Sunt astfel exprimate forțele axiale și momentele de torsiune care apar pe timpul săpatului, funcție de greutatea garniturii de foraj, respectiv de momentul de dislocare specific fiecărui tip de litologie traversată.

În [30] găsim valorile orientative ale momentelor specifice la săpă:

$M_{sp} = (5 - 10) \text{ Nm/kN}$ pentru roci dure

$M_{sp} = (10 - 15) \text{ Nm/kN}$ pentru roci medii

$M_{sp} = (15 - 20) \text{ Nm/kN}$ pentru roci slabe

$M_{sp} = (20 - 40) \text{ Nm/kN}$ pentru roci plastice

Deoarece în acest paragraf s-a acceptat ipoteza că garnitura de foraj este coaxială cu sonda s-a eliminat frecarea cu pereții sondei. Consecința acestei ipoteze este că nu există momente de torsiune decât la săpat.

S-a analizat în continuare forțele care apar datorită regimului hidraulic, prin stabilirea relațiilor între debit și caracteristicile geometrice ale materialului tubular și marimea duzelor sapei.

4.3.2. Forțe în porțiunea înclinată de unghi constant

Pe structura geologică Suplacu de Barcău această porțiune s-a construit la o singură sondă. Cu toate acestea s-a luat în considerare pentru a scoate în evidență gradul de generalizare al sondelor orizontale de mică adâncime. Configurația forțelor care acționează asupra garniturii de foraj este prezentată în figura

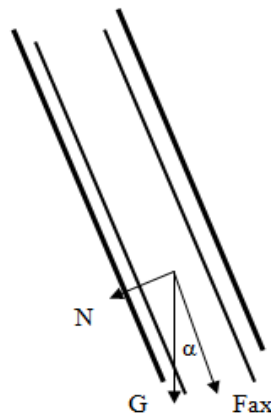


Fig. 4.20 Descompunerea greutății în porțiunea înclinată de unghi constant

Din figura 4.21, observăm că datorită înclinării apar atât forțe axiale Fax cât și forțe normale N. Cu G s-a notat greutatea garniturii care a fost descompusă după cele două direcții, normală și longitudinală iar α este unghiul de înclinare așa cum a fost notat.

Deoarece ipoteza ca garnitura de foraj este coaxială cu cu sonda nu mai este valabilă, există frecare între prăjinile de foraj și pereții sondei în zona racordurilor speciale.

Cu aceste considerații s-au exprimat forțele normală, axială și momentele de torsiune datorate greutateii garniturii de foraj și a regimurilor mecanic și hidraulic în toate situațiile consemnate la subparagraful anterior. Astfel :

Forța normală are expresia :

$$N = G \cdot \sin(\alpha) \quad (4.22)$$

O evaluare a forței normale pe porțiunea considerată într-un punct oarecare se poate face ținând seama de relația (4.1) și obținem :

$$N = [L_p \cdot q_p + (L_{pi} \cdot q_p + L_g \cdot q_g) \cdot \sin(\alpha)] \cdot f_p \quad (4.23)$$

unde :- L_p este lungimea prăjinilor de la suprafață la KOP

- L_{pi} este lungimea prăjinilor de la KOP la punctul considerat

- α este unghiul de deviație față de verticală

ceilați parametrii au semnificația celor din relația (4.1) dar sunt relativi la porțiunea înclinată la unghi constant.

Forța axială Fax are originea în punctul considerat, direcția pe axa longitudinală a garniturii de foraj, sensul spre partea inferioară a garniturii de foraj și mărimea data de relația următoare, unde G este greutatea garnituri :

- expresia forței axiale când sapa este deasupra talpii este :

$$F_{ax} = [L_p \cdot q_p + (L_{pi} \cdot q_p + L_g \cdot q_g) \cdot \cos(\alpha)] \cdot f_p \quad (4.25)$$

f_p este coeficientul de plutire dat de relația(4.2).

Expresia forței axiale sapa se află pe talpa și execută un lucru mecanic de dislocare este :

$$F_{ax} = [L_p \cdot q_p + (L_{pi} \cdot q_p + 0.15 \cdot L_g \cdot q_g) \cdot \cos(\alpha)] \cdot f_p \quad (4.26)$$

- expresia forței axiale când garnitura se află în marș de extragere fără circulație de fluid.trebuie să ia în considerare forței de frecare.

Pentru a stabili deci expresia fortei axiale în aceasta situație se stabilește mai întâi mărimea forței de frecare.

Forța de frecare în aceasta situație are expresia:

$$F_f = (\Sigma L_{pi} \cdot q_p + L_g \cdot q_g) \cdot \sin(\alpha) \cdot f_p \cdot \mu \quad (4.27)$$

în care : ΣL_{pi} reprezintă lungimea prăjinilor din porțiunea deviată cu înclinare constantă

L_g este lungimea prăjinilor grele din porțiunea deviată cu înclinare constantă

În aceste condiții forța de tracțiune care va fi maximă la carlig are expresia:

$$F_t = [\Sigma L_p \cdot q_p + (\Sigma L_{pi} \cdot q_p + L_g \cdot q_g) \cdot \mu \cdot \sin(\alpha) + (\Sigma L_{pi} \cdot q_p + L_g \cdot q_g) \cdot \cos(\alpha)] \cdot f_p \cdot K_2 \quad (4.28)$$

Coeficientul K_2 are aceeași semnificația ca la relația (4.4).

- garnitura se află în marș de introducere fără circulație de fluid
 În aceasta situație expresia forței de tracțiune devine

$$F_t = [L_p \cdot q_p - (\sum L_{pi} \cdot q_p + L_g \cdot q_g) \cdot \mu \cdot \sin(\alpha) + (\sum L_{pi} \cdot q_p + L_g \cdot q_g) \cdot \cos(i)] \cdot f_p \cdot K'' \cdot K''' \quad (4.29)$$

în care K'' și K''' au aceleași semnificații ca în relația (4.9).

Acest paragraf continuă cu stabilirea expresiei forțelor tangențiale determinate de momentul de torsiune.

Configurația sondei și a ansamblului de fud în situație discutată este arătată în figura 4.22.

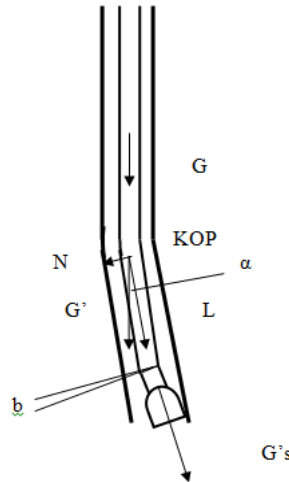


Fig. 4.22. Schema forțelor la săpărea în porțiunea înclinată de unghi constant

notațiile din figura 4.22. sunt următoarele :

- G greutatea garniturii de foraj în aer de la suprafața la KOP
- G' greutatea garniturii de foraj în aer de la KOP la scula de dislocare
- L componenta longitudinală a greutății G'
- N componentă normală a greutății G'
- α unghiul de înclinare
- b unghiul de dezaxare a motorului de fund
- G's apăsarea pe sapa.

Ipotezele de calcul sunt următoarele:

- garnitura de foraj este coaxială cu gaura de sondă de la suprafață până la KOP. Forțele de frecare laterale de contact apar în porțiunea deviată de unghi constant. În aceasta porțiune apar doar forțe de frecare cu fluidul de foraj.

- se menține ipoteza că pe porțiunea înclinată unghiul de înclinare α este constant
- se va lua în considerare mărimea unghiului de dezaxare al motorului
- se considera că momentul de dislocare se transmite integral în lipsa frecărilor
- în porțiunea deviată de înclinare constantă, forajul se face atât rotary cât și slide simultan.

Exprimarea forțelor tangențiale se va face în următoarele situații:

- i garnitura se rotește și sapa se afla deasupra tălpii

Situația este prezentă atunci când se reia operațiunea de foraj și conform rutinei se circulă deasupra tălpii pentru uniformizarea fluidului de foraj. În acest caz momentul de torsiune este determinat atât de calitățile fluidului de foraj pentru porțiunea verticală cât și de forțele de apăsare normale care apar în porțiunea deviată de unghi constant.

Forța de frecare totală F_f , se poate exprima ca o sumă între forța de frecare aparută în domeniul vertical F_{fv} și forța de frecare aparută în domeniul deviat cu înclinație constantă, F_{fd} .

Forța F_{fv} poate fi exprimată din relația (4.11), (derivată din relația lui Fedorov) prin împărțirea la D care este diametrul exterior al prăjiniilor de foraj [48].

Pentru calcularea forței F_{fd} se face presupunerea că există egalitate între coeficientul de frecare longitudinal și cel transversal, desi în realitatea cel transversal este mai mic, fenomen constat din practică.

În aceste condiții forța de frecare F_{fd} va avea următoarea expresie:

$$F_{fd} = N \cdot \mu \quad (4.30)$$

înlocuind N cu relația 4.23 obținem :

$$F_{fd} = [L_p \cdot q_p + (L_{pi} \cdot q_p + L_g \cdot q_g) \cdot \sin(\alpha)] \cdot f_p \cdot \mu \quad (4.31)$$

unde L_p reprezintă lungimea prăjiniilor până la KOP iar L_{pi} lungimea garniturii de la KOP la sapa
Forța totală de frecare F_f are expresia :

$$F_f = \frac{30}{\pi} \cdot c \cdot \gamma_f \cdot D_p \cdot n^{0.7} \cdot L_v + [L_p \cdot q_p + (L_{pi} \cdot q_p + L_g \cdot q_g) \cdot \sin(\alpha)] \cdot \mu \cdot f_p \quad (4.32)$$

Momentul de torsiune dat de forța de frecare are expresia :

$$M_t = F_f \cdot R_r \quad (4.33)$$

unde R_r este raza exterioară a racordurilor speciale ale prăjiniilor de foraj.

Calculul momentului de torsiune se face în următoarele situații:

- garnitura se rotește și sapa lucrează pe talpă

În aceasta situație, ținând seama ca ansamblul de fund este echipat cu motor hidraulic, trebuie făcută precizarea că garnitura de foraj se rotește cu o turație n_1 iar rotorul motorului cu o turație n_2 . Totdeauna $n_1 < n_2$. Astfel sapa lucrează cu o turație « n » care este suma celor doua turații.

Pentru aflarea momentului de torsiune, se consideră că la momentul de torsiune calculat cu relația (4.32) se adaugă un moment care reprezintă suma dintre momentul de dislocare aparent M_{ta} determinat de rotirea garniturii și momentul de dislocare M_{tm} determinat de rotirea motorului de fund. Momentul de dislocare aparent M_{ta} ține seama de diametrul aparent al sapei D_{sa} care este determinat de unghiul de dezaxare b și lungimea s_a , l , prin relația:

$$D_{sa} = D_s + 2 \cdot l \cdot \sin(b) \quad (4.34)$$

Cu aceste precizări relația (4.16) devine :

$$M_{ta} = \left(K_1 + K_2 \cdot \sqrt{\frac{v}{n_1 \cdot D_{sa}}} \right) \cdot D_{sa} \cdot G_s \quad (4.35)$$

- v este viteza de avansare

- n_1 este turatia totală a sapei

- G_s are aceeași expresie cu G din relația (4.26)

M_{tm} are următoarea relație :

$$M_{tm} = \left[K_1 + K_2 \cdot \sqrt{\frac{v}{(n_1 + n_2)}} \right] \cdot D_a \cdot G_s \quad (4.36)$$

momentul total de dislocare M_d are expresia :

$$M_d = M_{ta} + M_{tm} \quad (4.37)$$

În cazul în care se construiește o porțiune de sonda deviata la un unghi constant se ia în considerare faptul că se forează simultan atât rotativ cât și slide. Acest mod de lucru fiind singurul care poate oferi posibilitatea de construcție în acest caz.

La mărimea căderii de presiune în acest caz participă și caderile de presiune exprimate prin relațiile (4.19), (4.20) și (4.21). Totuși cea mai importantă cădere de presiune apare în motorul de fund. Aceasta cădere de presiune poate fi evaluată din diagrama din figura 4.23. Se ia în considerare atingerea unei valori a lucrului mecanic de dislocare suficient să asigure o viteză de avansare convenabilă.

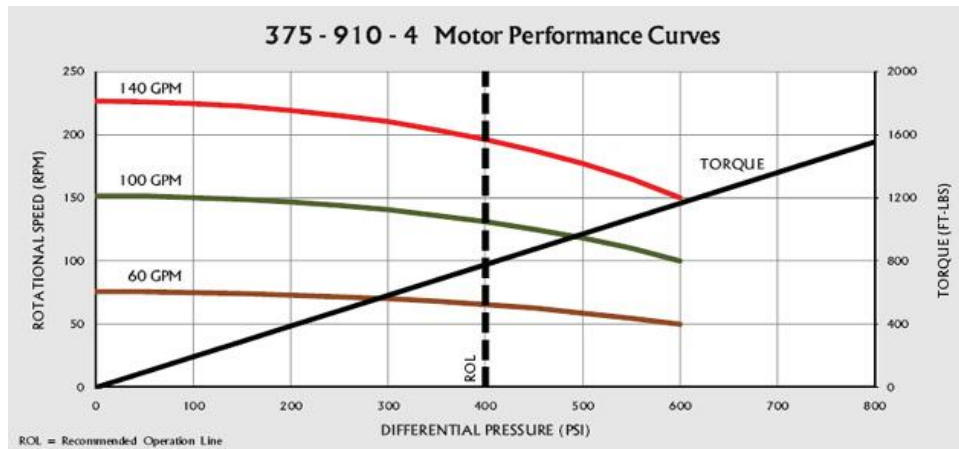


Fig. 4.23 Diagrama de funcționare a unui motor de fund

Dacă notăm cu ΔP_m căderea de presiune din motor și cu ΔP_t căderea de presiune totală se va obține expresia căderii de presiune în acest caz , Q fiind debitul de lucru.

$$\Delta P_t = \Delta P_m + (\alpha o s + \alpha_i \cdot L + \alpha_{si} \cdot L) \cdot \rho \cdot Q^2 \quad (4.38)$$

4.3.3. Forte în porțiunea curbilinie

Cea mai importantă porțiune a unei sonde orizontale este cea curbilinie. Aceasta reprezintă porțiunea în care se face racordarea dintre porțiunea verticală sau înclinată la un unghi constant și drena orizontală.

Din punct de vedere geometric este caracterizată prin creșterea unghiului de înclinare și o variație controlată a azimutului. Uneori aceasta din urmă poate lipsi. Atunci când variația azimutului există, se are în vedere evitarea unor obstacole care ar crea dificultăți în foraj. În cazul particular al sondelor de pe Structura Suplacu de Barcău azimutul poate fi modificat pentru evitarea interceptării altor sonde deja existente pe structură.

Problematika analizei variației forțelor care acționează asupra garniturii de foraj este complicată în acest caz, deoarece variază atât unghiul de înclinare α cât și lungimea garniturii.

Pentru tratarea problematicii se iau în considerare următoarele particularități specifice forajului Sondelor Orizontale de pe Structura Suplacu de Barcau.

- Forajul pe aceasta porțiune se executa slide, variantă în care garnitura de foraj nu se rotește.
- Prăjinile de foraj și prăjinile intermediare au același diametru de la suprafața până la ansamblul de fund.
- Cu mici excepții unghiul de înclinare crește cu o rație constantă (DLS este cvasiconstant).
- Azimutul poate fi considerat constant deoarece variază în limite restrânse.

Ultimile două particularități ale sondelor de pe Structura Suplacul de Barcău, pot fi observate în tabelul 4.6, în care lungimile sunt măsurate în metrii, unghiurile în grade hexazecimale iar creșterile de înclinare (DLS) în °/30m.

Tab. 4.6 Caracteristici geometrice ale unor sonde de pe Structura Suplacu de Barcău

MD	114. 3	123. 4	132. 7	141. 8	150. 8	159. 8	168. 6	178. 2	187.7	197. 3	207	216. 2	226. 2	235. 7
TVD	113	121. 7	130. 1	138. 1	145. 9	153. 2	160	167	173.3	179	184. 2	188. 9	193	196. 3
α	18.8 2	22.0 7	25.6 8	29.4 6	33.2 4	37.2	41.3 3	45.9	50.74	55.3 1	59.6 2	63.2 2	66.8 3	70.8 7
ω	230. 2	229. 9	230. 5	230. 4	230. 5	230. 9	230. 8	230. 4	230.1	230	229. 8	229. 8	230. 4	230. 9
DLS	10.4 3	10.6 5	11.7 3	12.4 9	12.5 5	13.1 9	14.1 3	14.4 5	15.09	14.3 7	13.4 2	11.1 8	11.3 9	12.9 3
Vsec	11.2 2	14.4 2	18.1 6	22.3 6	27.0 6	32.2 6	37.8 1	44.3 7	51.56	59.1 8	67.3 1	75.8 0	84.5 1	93.3 9

Distribuția de forțe în porțiunea curbilinie este prezentată în figura 4.39, când sapa se rotește deasupra tălpii.

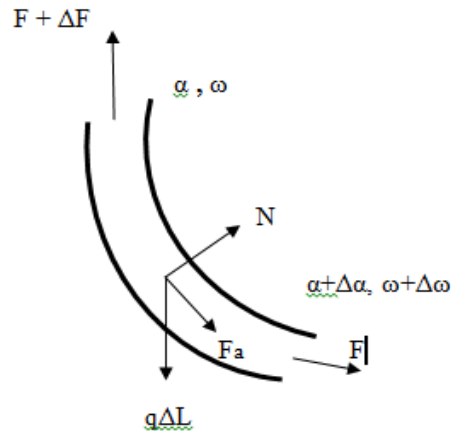


Fig.4.24 Distribuția de forțe în porțiunea curbilinie

Pentru cazul general când atât unghiul α cât și unghiul ω au valori diferite de zero marimea forței normale este dată de relația (4.39) [28]:

$$N = \sqrt{(F \cdot \Delta \omega \cdot \sin(\alpha))^2 + (F \cdot \Delta \alpha + q \cdot \Delta L \cdot \sin(\alpha))^2} \quad (4.39)$$

Din tabelul 4.6 se observă că variația unghiului de azimut ω , este practic nulă și în acest caz primul termen al relației 4.39 se anulează iar expresia forței normale devine :

$$N = F \cdot \Delta \alpha + q \cdot \Delta L \cdot \sin(\alpha) \quad (4.40)$$

Pe langă forța normală N care se datorează caracteristicilor geometrice ale prăjinilor care alcătuiesc garnitura de foraj mai apare o forța normală N_m care se datorează caracteristicilor mecanice ale prăjinilor și caracteristicilor geometrice ale sondei figura 4.25 :

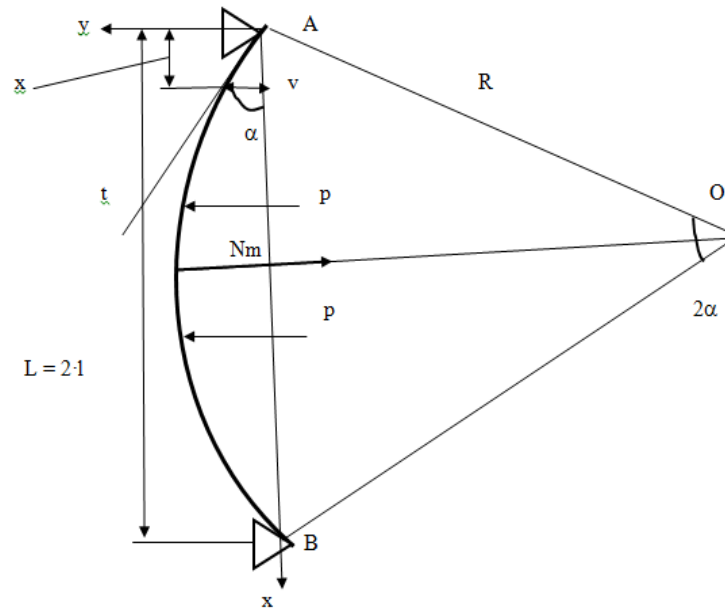


Fig.4.25 Forțele care acționează asupra unui element de prăjină în porțiunea curbilinie a sondei

Modelul din Figura 4.25. se poate folosi datorită Principiului Acțiunii și Reacțiunii. Chiar dacă în realitate sarcinile care deformează prăjina se aplică la capetele A și B ale prăjinii, se poate asimila prăjina în discuție cu o bară de secțiune constantă rezemată la capete asupra căreia acționează o sarcină distribuită, p .

Notațiile din figură sunt următoarele :

- R , raza de curbură a sondei
- α , unghiul de înclinare în plan vertical
- L , lungimea prăjinii de foraj, arcul AB
- p , sarcina virtuală care acționează asupra prăjinii
- v , deplasarea barei după direcția y
- x , distanța la care se consideră deplasarea v
- t , tangenta în punctul considerat

Ca ipoteze simplificatoare se consideră că prăjina de foraj nu suferă deplasări axiale sub acțiunea forței normale și se mai poate scrie ca $\text{tg}(\alpha) = \alpha$ datorită mărimii unghiului α .

Plecând de ecuația. fibrei medii deformate dată de relația (4.46).

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{-M}{E \cdot I_z} \quad (4.46)$$

se poate exprima sageata maximă, notată cu V , care este la mijlocul barei de lungime $L = 2 \cdot l$ [6]:

$$V = \frac{5 \cdot p \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_z} \quad (4.49)$$

pe de altă parte, conform figurii 4.25:

$$V = R \cdot (1 - \sin(\alpha)) \quad (4.50)$$

Egalând cele două relații, (4.49) și (4.50), și explicitând sarcina p, se obține :

$$p = \frac{384 \cdot E \cdot I_z \cdot (1 - \sin(\alpha))}{5 \cdot L^4} \quad (4.51)$$

Se observă că în această relație, forța normală astfel exprimată depinde doar de raza de curbură a sondei, considerată constantă și de caracteristicile mecanice și geometrice ale prăjinii de foraj.

Așadar forța normală totală \mathcal{N} se va calcula considerând ca este o sumă între forța normală exprimată prin relația (4.40) și forța normală exprimată prin relația (4.51).

$$\mathcal{N} = F \cdot \Delta\alpha + q \cdot \Delta L \cdot \sin(\alpha) + \frac{384 \cdot E \cdot I_z \cdot R \cdot (1 - \sin(\alpha))}{5 \cdot L^4} \quad (4.52)$$

Forța normală N ia valoarea din expresia (4.52) numai în cazul discutat, sapa se rotește deasupra tălpii.

- sapa lucrează pe talpă

Lucrul sapei pe talpa însoțit de o dislocare volumică presupune existența unei forțe axiale care acționează asupra sapei. Pentru realizarea dislocării, pentru fiecare tipodimensiune de sapă, forța axială trebuie să aibă o valoare cuprinsă în intervalul specificat conform tabelului 4.6.[51]

Tab. nr.4.7 Valori recomandate ale apăsării pe sapă și ale turației pentru dislocare volumică

Tipul sapei	G/Ds (tf/in)	G/Ds(lb/in)	Turația(r.p.m.)
S(j)	0.91...2.27	2000....5000	250...60
S-DL(j)	0.68...1.81	1500....4000	200...80
S-G(j)	0.91...1.81	2000....4000	250...80

În Tabelul 4.7 s-au luat în considerare tipurile de sape care s-au folosit pe structura Suplacu de Barcău.

Pe de altă parte, datorită micșorării valorii componente axiale a greutateii garniturii de foraj odată cu creșterea unghiului de înclinare α , prăjinile grele și intermediare se plasează la partea superioară a garniturii de foraj. Din acest motiv asupra prăjinilor de foraj aflate între prăjinile grele și ansamblul de fund se exercită o forță axială de compresiune. Datorită existenței acestei forțe de compresiune, contactul între prăjină și peretele inferior al sondei are loc nu numai la nivelul racordurilor speciale ci și la nivelul corpului prăjinii. Din această cauză forța normală de contact se manifestă pe întreaga lungime a prăjinii [36].

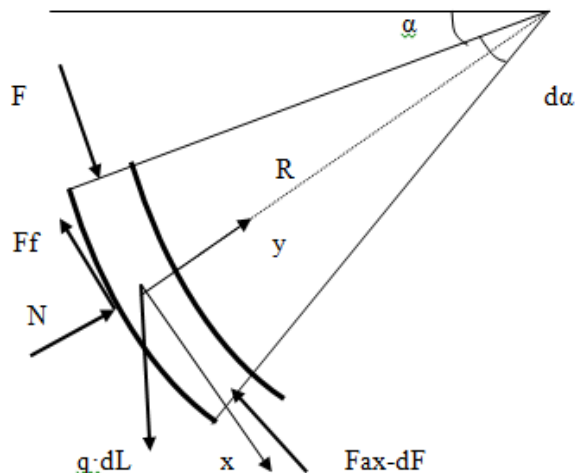


Fig. 4.26. Distribuția de forțe în cazul când sapa lucrează pe talpă

Semnificațiile parametrilor sunt următoarele :

- N este forța normală
- F este forța care acționează asupra elementului de garnitură după direcția axială
- Fax este forța de apăsare pe sapă (forța axială)
- α este unghiul de înclinare
- Ff este forța de frecare
- L este lungimea garniturii până la punctul considerat
- q este greutatea liniară a elementului de garnitură

Dacă facem proiecția tuturor forțelor pe axa y și punem condiția de echilibru obținem [28] :

$$N \cdot F \sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) - (F_a - F_f - dF) \sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) - q \cdot R \cdot d\alpha \cdot \sin\left(\alpha + \frac{d\alpha}{2}\right) = 0 \quad (4.53)$$

Explicitând forța F și făcând unele aproximații se poate rezolva ecuația diferențială și expresia forței normale în acest caz devine:

$$N = \frac{1}{2} [\Sigma L_i \cdot q_i \cdot [1 - \sin(\alpha)] + (Gds - \Sigma L_j \cdot q_j) \cdot \cos(\alpha) + q \cdot R \cdot \cos(\alpha)] \quad (4.65)$$

.- garnitura se afla în marș de extragere fără circulație ; configurația forțelor este redată în figura 4.28. [28].

Expresia (4.65) poate furniza informații despre situațiile în care garnitura de foraj are contact cu peretele inferior, respectiv superior al găurii de sondă.

Zona de contact al garniturii cu peretele inferior este cu atât mai mare cu cât $\Sigma L_i \cdot q_i$ este mai mare

- garnitura se afla în marș de extragere fără circulație ; configurația forțelor este redată în figura 4.28. [28].

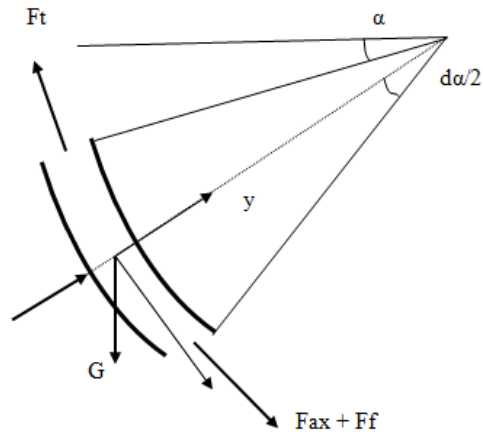


Fig. 4.27 Configurația forțelor când garnitura se află în marș de extragere

Notațiile sunt următoarele:

- Ft este forța de tracțiune
- Fax este forța rezistentă (forța axială)
- Ff este forța de frecare
- G este greutatea garniturii

Se face proiecția tuturor forțelor după axa oy și se poate scrie:

$$= 0 \quad N + Ft \cdot \sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) + (Fr + Ff) \cdot \sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) - q \cdot R \cdot d\alpha \cdot \sin\left(\alpha + \frac{d\alpha}{2}\right) \quad (4.66)$$

după explicitarea forțelor și integrare între limitele α și $\pi/2$ se obține :

$$(4.73) \quad N = q \cdot R \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{2} [\Sigma Li \cdot qi \cdot (1 - \sin(\alpha)) + \Sigma Lj \cdot qj \cdot \cos(\alpha)]$$

Considerând că α este un unghi oarecare se poate face o discuție despre sensul vectorului N. Astfel :

- cu cât unghiul α tinde spre 90° termenul al doilea din membrul drept tinde să devină mai mare iar N devine negativ ceea ce înseamnă că garnitura de foraj este lipită de peretele superior. x i- poate exista o valoare a unghiului α pentru care, local, vectorul N se anulează și garnitura este coaxială cu gaura de sondă.

- deasemeni poate exista o valoare a unghiului α pentru care partea inferioară a garniturii de foraj este în contact cu peretele inferior iar o parte aflată deasupra este în contact cu peretele superior.

- garnitura este în marș de introducere fără circulație

În acest caz se poate folosi figura 4.26, cu mențiunea că vectorul Fax este nul. Asadar proiecția forțelor pe axa Oy în condiția de echilibru devine [28]:

$$= 0 \quad N - F \sin(\alpha) \frac{d\alpha}{2} - (Ff - dF) \sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) - q \cdot R \cdot d\alpha \cdot \sin\left(\alpha + \frac{d\alpha}{2}\right) \quad (4.74)$$

care după integrare devine :

$$N = \frac{1}{2} \cdot [\Sigma Li \cdot qi \cdot (1 - \sin \alpha) + 2 \cdot q \cdot R \cdot \cos(\alpha)] \quad (4.75)$$

Așa cum se vede și în aceasta situație vectorul N are o valoare peste tot pozitivă ceea ce înseamnă că există contact între garnitura de foraj și peretele inferior pe tot parcursul operației. În calculele de mai sus ale forței normale N s-a neglijat forța arhimedică datorită faptului că la adancimi mici, așa cum exista la sondele de pe structura Suplacu de Barcău, manifestarea acestei forțe este minimă.

Forțe Axiale

Fără a intra în detalii aceste forțe se vor discuta în aceleași situații ca la subcapitolul anterior și anume:

- sapa se rotește deasupra tălpii

Expresia forței axiale este [28]:

$$F = A \cdot \sin(\alpha) + B \cdot \cos(\alpha) + C \cdot D \cdot e^{D \cdot \alpha} \quad (4.81)$$

în care valorile constantelor A, B, D sunt următoarele :

$$A = - \left(\frac{1 - \mu^2}{1 + \mu^2} \right) \quad (4.82)$$

$$B = \frac{2\mu}{1 + \mu^2} \cdot q \cdot R \quad (4.83)$$

$$D = \mu \quad (4.84)$$

Constanta C poate fi determinată doar dintr-o condiție de limită, valoarea forței axiale la o anumită înclinare.

Fie F1 forța axială, cunoscută la capatul inferior al intervalului unde înclinarea este α_1 . Înlocuind acesta valoare în ecuația (4.81), cu $D = \mu$, se obține :

$$C = (F1 - A \cdot \sin(\alpha_1) - B \cdot \cos(\alpha_1)) \cdot e^{-\mu \cdot \alpha_1} \quad (4.85)$$

La capătul superior al intervalului unde $\alpha = \alpha_2$, relația devine:

$$F = A \cdot \sin(\alpha_2) + B \cdot \cos(\alpha_2) + (F1 - A \cdot \sin(\alpha_1) - B \cdot \cos(\alpha_1)) \cdot e^{-\mu \cdot (\alpha_1 - \alpha_2)} \quad (4.87)$$

- sapa lucrează pe talpă

Algoritmul amintit [28] stabilește expresia forței de tracțiune și în această situație :

$$F = A \cdot \sin(\alpha) - B \cdot \cos(\alpha) + (F1 - A \cdot \sin(\alpha_1) + B \cdot \cos(\alpha_1)) \cdot e^{\mu \cdot (\alpha_1 - \alpha)} \quad (4.88)$$

- Forțe Tangențiale

La construcția porțiunii curbilinii se sapă numai cu motorul adică slide. Garnitura se rotește doar la corectarea intervalului săpat egal cu lungimea unei prăjini.

În acest caz expresia momentului la extremitatea superioară a porțiunii curbilinii, M_c are expresia :

$$M_c = M_t - M_f \quad (4.89)$$

M_t momentul la sapa calculat pentru diametrul real al sapei are expresia :

$$M_t = \left(K_1 + K_2 \cdot \sqrt{\frac{v}{n \cdot D_s}} \right) \cdot D_s \cdot G_s \quad (4.90)$$

în care :

- K_1 și K_2 au semnificația de la relația (4.14)
- v este viteza de avansare
- n este turația motorului
- D_s este diametrul sapei
- G_s este apăsarea pe sapă cu o valoare corespunzătoare tabelului 4.6
- α_1 este unghiul de înclinare de la care începe porțiunea curbilinie
- α_2 este unghiul curent de înclinare la care se află sapa și are valoarea cuprinsă între 90° și unghiul de la care începe construcția porțiunii curbilinii.
- N este forța normală și are expresia din relația (4.65)

M_f momentul de frecare calculat în domeniul porțiunii curbilinii are expresia :

$$M_f = \mu \cdot N \cdot \frac{d}{2} \cdot R \cdot (\alpha_2 - \alpha_1) \quad (4.91)$$

4.3.4. Forțe în porțiunea orizontală

Forțe Normale

În acest caz forțele normale sunt date de greutatea aparentă a garniturii de foraj care lucrează în porțiunea orizontală și se scrie:

$$N = \Sigma L_k \cdot q_k \cdot f_p \quad (4.99)$$

Forțe Axiale

- sapa lucrează pe talpă

Pentru a exista avansare trebuie satisfăcută relația :

$$F > F_f + G_{ds} \quad (4.101)$$

- garnitura se află în marș de extragere fără circulație

$$F_t = \mu \cdot \Sigma L_k \cdot q_k \cdot f_p \quad (4.103)$$

În acest caz, analizând figura (4.33) se observă ca forța de extragere F_t când garnitura se afla în dreapta orizontală trebuie să fie mai mare decât forța de frecare F_f .

La capătul de la Top-Drive expresia forței de tracțiune va fi o sumă între relația (4.4), (4.28), relația (4.87).

- garnitura se află în marș de extragere fără circulație
 condiția de echilibru între Ft, forța de tracțiune și Ff forța de frecare este :

$$F_t - F_f = 0 \quad (4.102)$$

La capătul de la Top-Drive expresia forței de tracțiune va fi o suma între relația (4.4), (4.28), relația (4.87).

Forțe Tangențiale

În cazul forajului în drenea orizontală când se folosește motorul de fund, momentul de torsiune este dat de forțele de frecare și de momentul de dislocare Md . Astfel se poate scrie expresia momentului de frecare [28]:

$$M = \mu \cdot N \cdot \frac{D_p}{2} \cdot (L_2 - L_1) \quad (4.105)$$

M este momentul de torsiune

N este forța normala

Dp este diametrul exterior al prăjinilor

μ este coeficientul de frecare

4.3.5. Estimarea coeficientului de frecare

La acest sub paragraf estimarea coeficientului de frecare are la baza observații facute la peste 10 sonde orizontale și poate reprezenta o metodă de estimare a acestui coeficient în orice șantier.

Garnitura de foraj a fost extrasă din masa astfel încât capatul inferior al ultimului racord special sa fie la 0.5m deasupra mesei după care s-a asteptat în jur de 5s pentru restabilirea condițiilor de echilibru specifice situației în care sapa se află « deasupra talpii », notându-se valoarea sarcinii la cârlig. După această notare s-a extras garnitura pe lungimea unei bucați cu viteză redusă și constantă și s-a notat noua valoare a forței la cârlig. Diferența între cele două forțe s-a notat cu Fti.

Tab. nr.4.8 Valorile Fti la sonda Vortex 15W

MDi(m)	αi(°)	Fti(tf)
191	50.03	2.8
200	53.64	3.3.
218.6	56.81	2
266	59.44	4.1
286	80.11	4
295	83.01	4
299	85.91	4.3

Daca se aplică relatia (4.73) în condițiile în care raza de curbura a sondei 15-H Suplac, luată în considerare, are valoarea R = 172m iar adâncimea calculată a fost cea pentru adâncimea corespunzătoare unghiului de 50° , și pentru o garnitură de prăjini de 5" cu masa de 29kg/m, s-a gasit o valoare a coeficientului de frecare μ = - 1,074. Semnul (-) arată că garnitura de foraj are contact cu peretele superior în zona luată în considerare.

4.3.6. Evaluarea eforturilor materialului tubular din sondele orizontale de mică adâncime

Eforturi la Solicitarea de Tracțiune

$$\sigma = \frac{F_t}{A_p} \quad (4.107)$$

F_t este forța de tracțiune, A_p este aria secțiunii pline a materialului tubular

- Eforturi la Solicitarea de Compresiune

Partea de garnitură de foraj cea mai solicitată la compresiune este cea din apropierea sapei unde compresiunea este egală cu apăsarea pe sapă, G_{ds} .

$$\sigma_c = \frac{G_{ds}}{A_i} \quad (4.108)$$

Eforturi Tangențiale

Momentul de torsiune care solicită elementele garniturii de foraj are expresia din relația (4.15).

- Eforturi apărute în urma solicitării la întindere și încovoiere

În zonele unde unghiul de deviere în plan vertical α crește cu o rație constantă o prăjină de foraj ia contact cu peretele superior, în timpul extragerii doar în zona racordurilor speciale. Așadar lângă racorduri există cea mai mare solicitare iar valoarea tensiunii maxime de încovoiere e dată de relația (4.109) [26]

$$\hat{\sigma}_i = \frac{c \cdot D \cdot E}{2} \cdot \frac{k \cdot l}{\tanh(k \cdot l)} \quad (4.109)$$

unde : D este diametrul exterior al prăjinii

E este Modulul lui Young

c este curbura sondei

l este jumătate din lungimea prăjinii iar k este exprimat de relația (1.29).

4.3.7. Stabilitatea garniturii de foraj

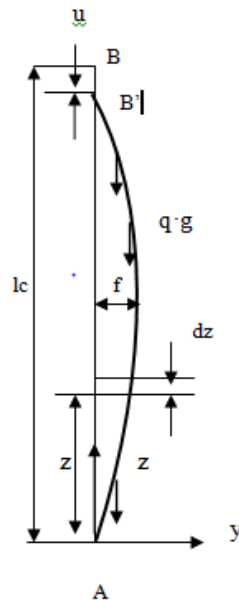


Fig. 4.33. Mecanismul apariției fenomenului de pierdere a stabilității

În figura (4.34) cu f s-a notat sageata de flambaj. Pentru un punct oarecare de arcul de cerc AB' conform ecuației fibrei medii deformate se poate scrie[24]:

$$y = f \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot z}{lc}\right) \quad (4.111)$$

în care : lc este lungimea garniturii

Garnitura de foraj ia forma din figura 4.33 când forța axială de comprimare care acționează asupra ei G_{cr} , adică sarcina critică, depășește o anumită valoare numită forța critică de flambaj, care are expresia[24]:

$$G_{cr} = (1.94 - 3.35) \cdot \sqrt[3]{E \cdot I \cdot q^2 \cdot g^2} \quad (4.112)$$

Dacă forța de apăsare crește în continuare și depășește G_{cr} , garnitura de foraj ia o formă sinusoidală când apăsarea ajunge la valoarea G_{sin} care conform lui Dawson & Paslay citați de Menend, Bjorset și Macresy [32] are următoarea expresie:

$$G_{sin} = 2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot L \cdot q \cdot g \cdot \sin(\alpha)}{r}} \quad (4.113)$$

în care: L este lungimea garniturii

q este masa liniară a prjinilor scufundate în fluid de foraj

g este accelerația gravitațională

α este unghiul de înclinare a sondei

r este jocul radial între racordul spațial și gaura de sondă

În continuare dacă prin creșterea sarcinii axiale se depășește și valoarea G_{sin} se ajunge la flambajul elicoidal sau al doilea mod de flambaj. Forța critică după care flambajul devine elicoidal are, după aceeași autori expresia (4.114):

$$G_{hel} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot q \cdot g \cdot \left(1 - \frac{\rho n}{\rho o}\right) \cdot \sin(\alpha)}{r}} \quad (4.114)$$

Parametrul λ ia valori în intervalul 2.83 ... 5.65. Flambajul elicoidal se manifestă tridimensional spre deosebire de cel sinusoidal care are o manifestare bidimensională.

4.3.8. Aplicație

O aplicație a celor tratate pe parcursul acestui capitol poate avea ca obiect cazul de înțepenire a leinerului de producție în depunerile de detritus din coloana de 9.625", prezentat la Capitolul 2, respectiv figura 2.3.

Scopul acestei aplicații este de a arata utilitatea conținutului Capitolului 4, pe de-o parte iar pe de altă parte de a stabili scăderea de rezistență a burlanelor șlițuite față de cele normale care au ieșit nedeformate.

Observațiile făcute asupra burlanelor șlițuite au aratat că șlițurile nu mai erau paralele cu noua generatoare ci faceau un unghi de aproximativ 10° . De aici s-a tras concluzia că deformarea burlanului în domeniul plastic s-a datorat în principal tensiunilor tangențiale.

Deoarece coloana de burlane a fost supusă la compresiune și torsiune, fiind prinsă la partea inferioară s-a folosit Teoria a III-a de rezistență exprimată prin relația (4.117)[6] :

$$\tau_e = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad (4.117)$$

unde: σ este tensiunea dată de forța axială, F_a

τ este efortul tangențial dat de momentul de torsiune M_t , ca în desenul din figura 4.34. Efortul σ se calculează cu ajutorul relației (4.108). în care la numitor este Forța axială în punctul considerat iar la numărător aria secțiunii pline a unui burlan normal. Se face observația că estimarea stării de rezistență se face pentru un burlan neșlițuit.

Efortul tangențial se calculează cu relația (4.17) unde: M_t este momentul de torsiune de valoare cunoscută iar W_p este modulul polar exprimat de relația (4.18), cunoscând ca diametrul exterior al burlanului este de 177.8mm iar cel interior este de 161.69mm. Știind că momentul de torsiune aplicat a avut valoarea de 16000daN·m se poate calcula valoarea efortului tangențial și se obține $\tau_e = 458.66\text{N/mm}^2$.

Forța axială F_a se calculează cu relația (4.80). particularizată pentru o valoare nulă a coeficientului de frecare μ , caz în care F_a se calculează cu expresia următoare:

$$\frac{dF}{d\alpha} = -q \cdot R \cdot \cos(\alpha) \quad (4.118)$$

Pentru aflarea valorii forței axiale care acționează asupra primelor doua bucăți de leiner șlițuit se neglijează greutatea lansatorului și a primelor doua burlane de 7” și se ține seama că în cârlig se află greutatea a 4 prăjini de 5” adică adâncimea până la KOP. Cu aceste condiții se face integrarea între limitele $0^\circ - 23.07^\circ$ corespunzătoare intervalului ocupat de prăjinile intermediare de 5” ($q = 73.96\text{kg/m}$) după care între limitele $23.07^\circ - 41.5^\circ$ corespunzătoare intervalului ocupat de prăjini de foraj de 5” cu grosimea de perete de 9.19mm.

Neglijând efectul de plutire se obține pentru forța F_a de 12817daN.

Efortul de compresiune se calculează cu relația (4.107) relativ la aria secțiunii pline a unui burlan cu diametrul exterior D , de 177.8mm și diametrul interior d , de 161,69mm. Cu aceste precizări valoarea efortului de compresiune este de 29.83N/mm^2 .

Valorile obținute pentru efortul tangențial și de compresiune în condițiile descrise, se introduc în relația (4.117) și se obține valoarea de 458.67N/mm^2 pentru tensiunea tangențială echivalentă, τ_e . Valoarea obținută se compară cu valoarea rezistenței la curgere R_c de 655N/mm^2 , corespunzătoare oțelului L-80 [48]. Din această comparație rezulta ca burlanele neșlițuite nu pot fi deformate în zona de curgere ceea ce s-a constatat în realitate. În schimb burlanele șlițuite s-au deformat în domeniul plastic.

Concluzie, raportul $\tau_e/\tau_c = 68.9\%$ arată că rezistența burlanelor șlițuite a scăzut la sub 68.9% din rezistența burlanelor neșlițuite. Cum calitatea oțelului a ramas aceeași înseamnă că modulul polar al fost afectat de șlițuri și a devenit mai mic cu $\sim 30\%$ din valoarea corespunzătoare a unui burlan normal.

Capitolul 5

APLICAREA TEORIEI GRAFURILOR ÎN MANAGEMENTUL CONSTRUCȚIEI SONDELOR ORIZONTALE DE PE STRUCTURA SUPLACU DE BARCĂU

5.1 Definiții și funcții ale managementului

Pentru a fi înțeleasă și îmbunătățită, noțiunea de management trebuie mai întâi definită; astfel:

- managementul înseamnă organizarea și coordonarea unei activități sau afaceri cu scopul atingerii unor obiective bine definite [53]
- managementul înseamnă centralizarea funcțiilor de elaborare a unei politici integrate și, organizarea, planificarea, controlul și direcționarea resurselor pentru a atinge obiectivele politicii[53].
- activitatea sau arta managementului înseamnă conducerea sau supervizarea activităților [54]

Funcțiile managementului sunt [52]: planificarea, organizarea, controlul, și influențarea, care au fost definite pe parcursul paragrafului.

5.2. Managementul Forajului sondelor de petrol și gaze

Referitor la forajul sondelor fie ele verticale sau orizontale temele pot fi [47]:

Scopul proiectului de foraj și alcătuirea variantelor, organizarea forajului și al echipei, tehnologii și scule în managementul proiectului, planificarea și proiectarea construcției sondelor, proiectul preliminar și detaliat al construcției sondelor, managementul costurilor, evitarea și controlul problemelor comune în foraj, citându-le doar pe cele mai importante.

Se citează în continuare pe parcursul paragrafului normativul RIIOGD 504A_emis de Guvernul Australiei, care reprezintă un bun exemplu de management în foraj.

5.3. Teoria Grafurilor și Analiza Drumului Critic în Managementul Forajului Sondelor Orizontale de pe Structura Suplacu de Barcău

Managementul unei activități înseamnă și managementul fiecărei subactivități sau element al activității principale. Între aceste subactivități se formează lanțuri de interdependență și de ierarhizare.

Aceste probleme de stabilire a ierarhizării și implicit de a realiza o activitate de conducere și control eficientă poate fi realizată doar prin metode științifice cum ar fi Analiza Drumului Critic, care are la bază Teoria Grafurilor.

5.3.1. Definiții și generalități

Procedeele folosite de Analiza Drumului Critic (ADC) sunt instrumente folosite pentru creșterea acurateții rezultatelor și pentru lărgirea ariei de aplicabilitate ale metodei ADC.

O enumerare a procedeelelor [42] este citată în continuare:

- CPM, Critical Path Method (Metoda Drumului Critic), este un procedeu pentru elaborarea programelor temporale. Structura proiectului este reprezentată printr-o rețea cu activitățile pe arce. CPM se aplică proiectelor cu activități binecunoscute a căror durată poate fi apreciată cu suficientă exactitate.
- MPM, Metra Potential Method (Metoda Potențialelor), acest procedeu are aceleași caracteristici ca CPM. Deosebirea dintre ele constă în faptul că MPM utilizează rețele cu activități pe noduri și, prin urmare, există posibilitatea de suprapunere a unor activități.
- PERT, Metoda Program Evaluation and Review Technique, PERT, (Evaluarea Programului și Revizuirea Tehnicii) Se aplică proiectelor cu durata imprecis cunoscută sau incerte. Durata unei activități este evaluată prin trei estimari: pesimistă, cea mai probabilă și optimistă.

În metoda PERT se utilizează rețele cu activități pe arce.

Procedeele CPM, MPM și PERT fac parte din clasa ADC/TIMP.

Analiza Drumului Critic (ADC), este o manieră care algoritmizează munca de conducere prin aplicarea unor procedee științifice dintre care cele mai importante au fost enumerate mai sus.

Noțiunile fundamentale ale obiectului (ADC) sunt[42]:

1. Proiectul care este un proces complex sau o acțiune de mare amploare orientată către atingerea unui scop bine precizat. Un proiect se caracterizează prin:

- obiectivul său care este definit printr-un:

- i. un ansamblu de activități (subacțiuni, subprocese, operații) a căror realizare permite atingerea scopului propus
- ii. un proces tehnologic care impune o anumită ordine a executării operațiilor

2. Activități; o activitate este o parte distinctă dintr-un proiect, un subproces determinat, care consumă timp și resurse.

3. Programe; programul are în ADC accepțiunea de eșalonare calendaristică activităților.

Prin program optim se înțelege acea desfășurare a proiectului, precizată prin termenii de începere a activităților, care conduce la o eficiență economică maximă.

Teoria Grafurilor cuprinde o multitudine de noțiuni, leme, teoreme, etc. constituindu-se într-o ramură a matematicii moderne. Aria de aplicare a Teoriei Grafurilor are o creștere continuă, una din ele fiind Analiza Drumului Critic.

Aplicarea ADC se poate realiza atât în etapa de proiectare cât și în cea de execuție a unei sonde. În expunerea care urmează se vor lua în considerare sondele orizontale de mică adâncime, ca sondele de pe structura Suplacu de Barcău, care sunt de exploatare. A fost ales acest tip de sonde datorită gradului mare de generalizare pe care îl conțin.

Construcția sondelor orizontale reclamă cea mai avansată tehnologie de foraj, cele mai performanțe și sigure instalații de foraj, cele mai avansate dispozitive de transmitere a datelor și totodată cel mai înalt grad de calificare al echipei de foraj.

5.3.2. Aplicarea Teoriei Grafurilor la proiectarea sondelor orizontale de mică adâncime

Mai întâi trebuiesc precizate elemente necesare proiectării:

- 1) Scopul proiectului sondei
- 2) Colectarea datelor
- 3) Interpretarea datelor și precizarea condițiilor litostratigrafice
- 4) Stabilirea coordonatelor locației și a țintei
- 5) Stabilirea profilului spațial al sondei
- 6) Identificarea dificultăților în foraj de-a lungul profilului spațial al sondei
- 7) Stabilirea schemei de tubaj al sondei și a operațiilor de consolidare
- 8) Stabilirea tipodimensiunilor sapelor
- 9) Stabilirea gabariturii și tipului instalației și a calificării echipei
- 10) Stabilirea regimului de foraj
- 11) Stabilirea caracteristicilor fluidului de foraj pentru fiecare fază
- 12) Stabilirea componenței ansamblului de fund pentru fiecare fază.
- 13) Localizarea și precizarea restricțiilor la regimul de foraj, recomandări pentru evitarea complicațiilor
- 14) Efectuarea operațiilor geofizice
- 15) Completarea sondei
- 16) Verificarea și finalizarea proiectului

Se numește rețea de transport un graf finit fără bucle, în care fiecărui arc u ($u \in U$ unde U este mulțimea arcelor) i se asociază un număr $c(u) \geq 0$ (pe care-l numim capacitatea arcului u) și unde:

1° există un vârf x_0 și numai unul, numit intrarea în rețea astfel încât să nu accepte funcție inversă

2° există un singur vârf z astfel încât $\Gamma(z) = \emptyset$ care se numește ieșirea din rețea

După definirea rețelei de transport [3] se trece la construirea grafului figurat mai jos cu ajutorul programului Grin 40[33]:

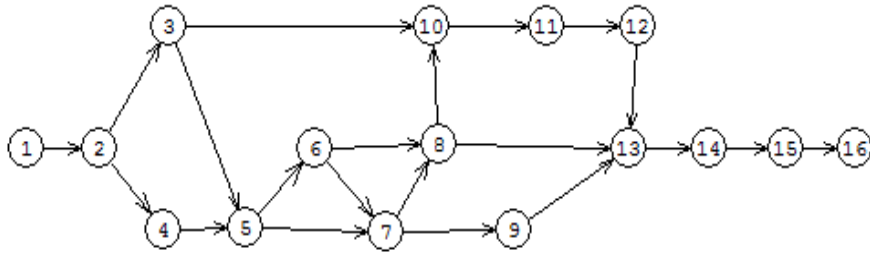


Fig. 5.1. Graful Elementelor unui Proiect de Foraj

Graful din figura 5.1. ia în considerare prin aplicația $\Gamma(x)$, x fiind un element oarecare al mulțimii elementelor ce trebui cuprinse într-un proiect de foraj, generarea unui element pornind de la destinația sondei și ajungând la finalizarea proiectului.

Tot programul Grin 40 generează și vizualizarea valului maxim, cu arce roșii:

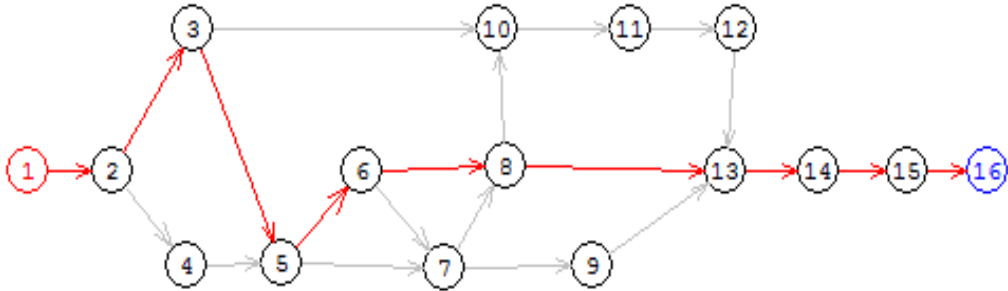


Fig. 5.2 Valul maxim al Grafului elementelor conținute în proiectul unei sonde

Posibilitatea de a vizualiza rapid Drumul Critic este dată tot de programul Grin 40. Figura 5.3 prezintă aspectul Drumului Critic marcat de arcele roșii.

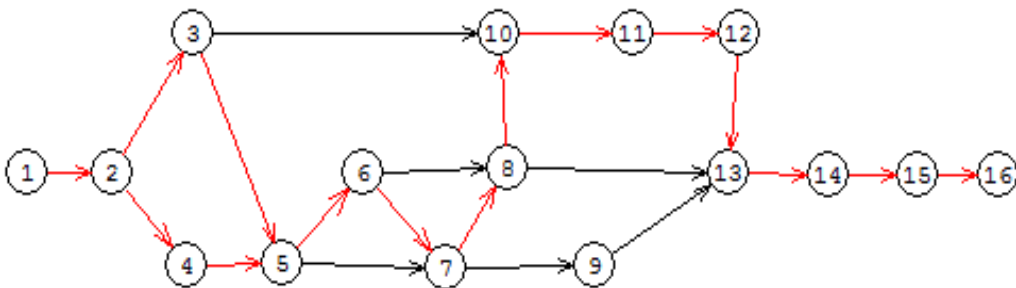


Fig. 5.3. Drumul Critic pe Graful Multimii Elementelor de Proiectare

Relativ la figura 5.3. trebui făcută următoarea observație, Drumul Critic așa cum e prezentat în figura cuprinde două situații și anume :

- când se forează într-o zonă unde există o aglomerare de sonde deja săpate, importantă devine acțiunea de determinare a coordonatelor țintei în scopul de a evita coliziunea cu o sondă existentă. În acest caz Drumul Critic e determinat de arcul (2,4).

- dacă nu există o aglomerare de sonde criteriul de alegere a coordonatelor țintei dispare iar Drumul Critic se înscrie pe arcul (2,3).

Dealtfel cele doua acțiuni pot fi executate simultan așa cum se vede în Diagrama Gantt.

Se poate constata că a fost aleasă metoda CPM explicată în subcapitolul 5.3. care este o metodă pentru elaborarea programelor temporale.

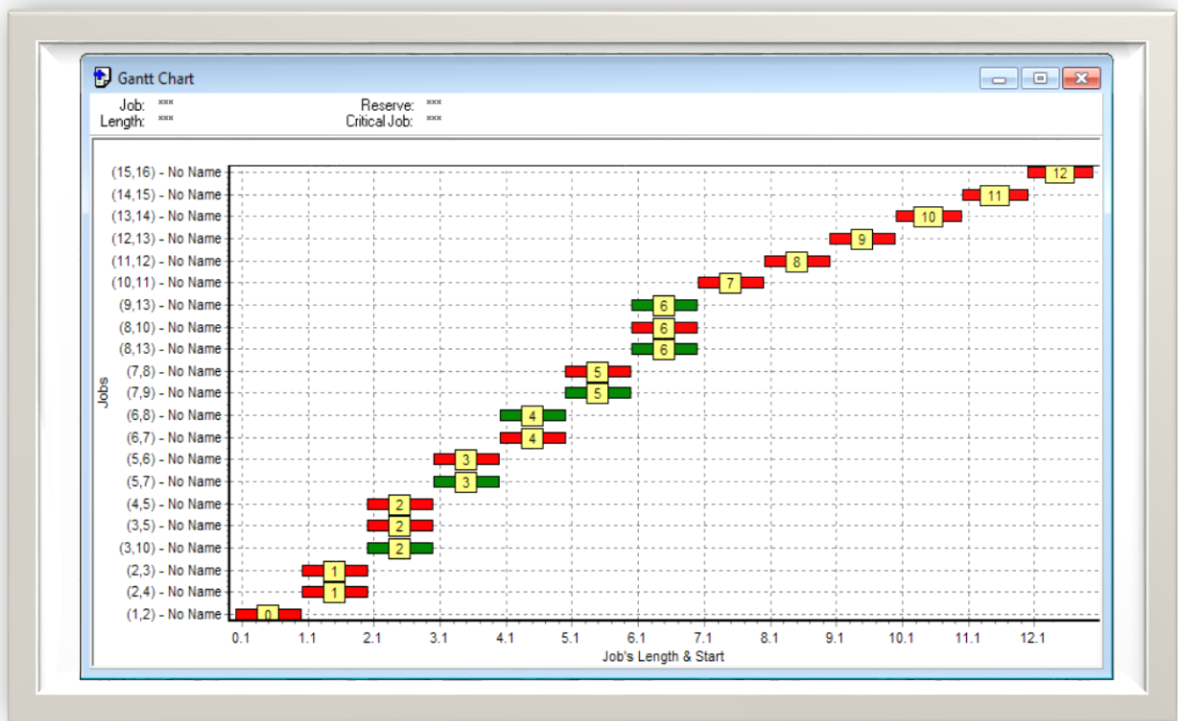


Diagrama Gantt este conform definiției o modalitate de exprimare a unui program de lucru, fiecărui timp consumat pentru realizarea unei activități căruia în graf i se asociază un arc fiind reprezentat de o bară; capatul inițial, cel final și lungimea barei, coincid la scara timpului cu termenul de începere, cel de terminare și respectiv durata activității corespunzătoare.[42].

5.3.3. Aplicație

La acest subparagraf este prezentat un exemplu de aplicare a celor prezentate în cuprinsul acestui capitol.

Se pleacă de la coordonatele mesei și se face proiectul unei sonde cu caracteristicile geometrice ale sondelor de pe structura geologică Suplacu de Barcău, respectiv cu o porțiune verticală scurtă iar porțiunea orizontală proiectată după metoda razei de curbura, drena orizontală fiind de 525m.

Aplicația a respectat graful prezentat în figura 5.1.

Capitolul 6

Concluzii și contribuții personale

Studiile care s-au concretizat în această lucrare sunt rezultatul unor observații făcute în șantier cu ocazia forajului a peste 30 de sonde orizontale de mică adâncime de tip ERW. S-a luat în considerare și modul sumar în care au fost concepute și prezentate proiectele de foraj al acestor sonde săpate pe structura Suplacu de Barcău. Problemele au apărut încă de la startul primei sonde de acest fel, Vortex-1W și au continuat și pe parcursul construcției acestei sonde.

Subiectul tezei este de importanță majoră dat fiind extinderea construcției acestui tip de sonde mai ales pentru exploatarea hidrocarburilor de șist iar în subsidiar datorită gradului de generalizare al algoritmului construcției acestui tip de sonde.

Bazată pe observații din șantier având deci date autentice lucrarea este structurată după cum urmează:

Capitolul 1 intitulat **Etapile realizării unei sonde**, pe lângă o clasificare unanim acceptată a sondelor prezintă o recurență a elementelor de proiectare susținută și de o bază teoretică generală cu incidență la posibilitățile de optimizare a construcției unei sonde.

Tot în acest capitol se face o introducere în Teoria Grafurilor care se exemplifică cu o aplicație la operația de Demontaj – Transport – Montaj al instalației de foraj, ca o pregătire pentru aplicarea acestei teorii la alcătuirea Proiectului de Foraj.

Capitolul 2 intitulat **Particularitățile construcției sondelor de pe structura Suplacu de Barcău** stabilește câteva criterii de evidențiere a acestor particularități, după care particularitățile sunt analizate punându-se accentul pe stratigrafia structurii și pe traseul spațial al sondei care sunt caracteristicile cele mai importante.

Capitolul 2 este important prin conținutul său, deoarece servește ca bază de date reală pentru capitolele următoare. Tot în capitolul 2 s-au relatat unele complicații care au apărut datorită inadecvării regimului de foraj la stratigrafia structurii și neglijarea restricțiilor regimului de foraj despre care nu s-a făcut nici o notificare în Proiectul de foraj.

Concluzia care se trage din acest capitol este că pentru aplicarea unui Proiect de Foraj trebuie folosite și interpretate toate datele consemnate în proiect.

Capitolul 3 intitulat **Contribuții la studierea evacuării detritusului din sondele orizontale de mică adâncime de pe structura Suplacu de Barcău**, tratează problematica evacuării detritusului din sondele puternic înclinate și orizontale. Cu aceasta ocazie se face o trecere în revistă a celor mai noi concepte de modelare a transportului detritusului în acest tip de sonde, care sunt cele mai apropiate de realitatea din gaura de sondă. Astfel se ajunge la ecuația lui Duan Mingqin relația (3.8), care analizează echilibrul unei particule de detritus proeminentă din stratul de depuneri. Această relație a fost luată în considerare de către mai mulți cercetători, pomeniți pe parcursul Capitolului 3. S-a constatat totuși că ecuația nu e completă în cazul sondelor orizontale de mică adâncime de pe structura Suplacu de Barcău și s-a completat în consecință, arătându-se totodată și cauza pentru care forța centrifugă de inerție exercitată de viteza curentului de fluid a fost ignorată.

Concluzia care se trage din acest capitol este ca fenomenul depunerii de detritus trebuie monitorizat continuu în timpul forajului prin monitorizarea volumului de detritus care iese la site în legătură cu viteza de avansare, pentru a se putea interveni în combaterea depunerilor.

Capitolul 4 intitulat **Studiul solicitărilor specific al materialului tubular la sondele orizontale de mică adâncime de pe structura Suplacu de Barcău** face o descriere a materialului tubular folosit la construcția și consolidarea sondei în general și a sondelor puternic înclinate și orizontale în special. Tot în capitolul 4 se face o analiză amanunțită asupra forțelor care acționează asupra garniturii de foraj în diverse situații raportate la geometria sondei. Deasemeni sunt luate în considerare solicitările garniturii de foraj care apar datorită căderilor de presiune din sistem atunci când se sapă cu motorul de fund, cazul sondelor orizontale. În Capitolul 4 se prezintă o metodologie de calcul a coeficientului de frecare, dintre pereții sondei și garnitura de foraj și interpretarea valorii sale.

Concluzia care se trage din acest capitol este aceea că materialul pe care-l conține se poate constitui într-un breviar de calcul al solicitărilor în toate situațiile de lucru în care se poate găsi garnitura de foraj sau coloana de burlane pe parcursul construcției sondei. Deasemeni relațiile care scot în evidență forța de tracțiune necesară manevrării garniturii de prăjini sau coloanei de burlane pot fi folosite concret la stabilirea gabariturii instalației de foraj.

În finalul capitolului este prezentată o aplicație pornind de la un caz real.

Capitolul 5 intitulat **Teoria Grafurilor și Analiza Drumului Critic în Managementul Forajului Sondelor Orizontale de pe structura Suplacu de Barcău**, aduce în discuție principiile managementului în general și managementul forajului sondelor în special. Apoi, după trecerea în revistă a unor metode de Cercetare Operațională care au la bază Teoria Grafurilor, cum este Analiza Drumului Critic. Se propune un model aplicare a Teoriei Grafurilor pentru elaborarea unui Proiect de Foraj. Pentru o mai bună înțelegere a modelului se prezintă o aplicație, cu date reale, care reprezintă Proiectul de Foraj pentru o sondă de pe Structura Suplacu de Barcău.

Concluzia care se poate trage din acest capitol este că Teoria Grafurilor este o știință care poate ordona în mod obiectiv managementul oricăror activități inclusiv a forajului sondelor. Teoria Grafurilor se poate aplica atât în etapa de proiectare a sondei cât și în etapa de execuție.

Contribuțiile personale în aceasta Teza sunt:

► Elaborarea unui model de calcul al coeficientului de frecare între garnitura de foraj sau de burlane și pereții sondei și pe baza unor măsuratori obiective. Importanța acestui model de calcul e certă din mai multe considerente:

- procedura de estimare e simplă și poate fi aplicată în șantier fără o instrucție de specialitate,

Contribuțiile personale în aceasta Teza sunt:

► Elaborarea unui model de calcul al coeficientului de frecare între garnitura de foraj sau de burlane și pereții sondei și pe baza unor măsuratori obiective. Importanța acestui model de calcul e certă din mai multe considerente:

- procedura de estimare e simplă și poate fi aplicată în șantier fără o instrucție de specialitate,
- se poate aplica oricărei structuri după efectuarea testelor,
- încercările de estimare a coeficientului de frecare dintre garnitura de foraj și pereții sondei pe cale analitică s-au dovedit laborioase reclamând o educație științifică consistentă fără a avea un grad important de certitudine,
- cunoașterea valorii estimate a coeficientului de frecare dintre garnitura de foraj și pereții sondei respectiv a forței corespunzătoare de frecare este importantă în prevenirea unor complicații

deoarece în șantier influența frecării a fost frecvent confundată cu manifestarea tentințelor de prindere a garniturii ceea ce a dus la la prinderi ale garniturii datorită manevrelor greșite,

- estimarea coeficientului de frecare dintre garnitura și pereții sondei anulează confuzia dintre forța de frecare și forța de adeziune dintre garnitura de prăjini sau coloana de burlane și turta depusă pe pereții sondei.

► Stabilirea și ordonarea criteriilor de caracterizare a particularităților unei categorii de sonde.

Importanța stabilirii și ordonării acestor criterii este certă în contextul folosirii Teoriei Grafurilor la realizarea proiectelor de foraj. Dat fiind că Teoria Grafurilor este o metodă științifică, nu se poate aplica fără precizarea exactă a particularităților problemei care este propusă pentru rezolvare. În acest sens clasificarea unei sonde sau a unui grup de sonde după particularitățile sale este evident necesară.

► Completarea ecuației de echilibru al forțelor a lui Duan Mingqin,

Ecuația lui Duan Mingqin referitoare la echilibrul forțelor care acționează asupra unei particule de detritus proeminente aflată în stratul de depuneri stă la baza calculului regimului hidraulic și a reologiei fluidului de foraj pentru prevenirea și combaterea depunerilor de detritus. Aceste depuneri apar în zona curbilinie a unei sonde orizontale între 45° și 65° înclinare a sondei așa cum s-a arătat în Capitolul 3.

La sondele orizontale de mică adâncime caracterizate printr-o rază de curbură mică se manifestă sensibil și forța centrifugă de inerție a unei particule de detritus aflată în curentul de fluid. S-a estimat mărimea acestei forțe, a fost comparată cu mărimea forței de tip Van der Waals și reprezentată implicit în funcție de raza de curbură a sondei.

Astfel ecuația lui Duan Mingqin a fost completată explicându-se totodată motivul pentru care a fost ignorată de către autor.

► Folosirea teoriei grafurilor la Forajul Sondelor

- Majoritatea metodelor folosite în Cercetarea Operațională are la baza Teoria Grafurilor.

Aplicarea ei în Forajul Sondelor devine necesară pentru ordonarea obiectivă a activităților care duc la realizarea unei sonde de petrol sau de gaze, așa cum se vede din exemplele de la Capitolul 1 și Capitolul 5, unde Teoria Grafurilor a fost folosită în premieră.

Exemplele de aplicare reprezintă activități obișnuite pentru o sondă în foraj iar Teoria Grafurilor se poate aplica tuturor activităților care duc la construcția sondei și chiar la instrumentații.

Aplicația de la Capitolul 5 poate servi drept model pentru implementarea proiectelor de foraj la oricare sondă de exploatare.

BIBLIOGRAFIE

1. **Aasen A.J. and Bernt S.A.** *Buckling Model Revisited* S.P.E.77245 2002
2. **Azaz J.J., Robelo S.,** *Drilling Engineering* PennWell corp. 2007
3. **Bergé C.,** *Teoria grafurilor și Aplicațiile ei* Editura Tehnică 1969
4. **Bernt S.A. and Hansen A.K.** *Bounds on In-Situ Stress Magnitude Improve Wellbore Stability Analyses.* SPE Journal 2005
5. **Brown N.P., Bernt S.A., Weaver A** *Cleaning Holes: New Experimental and Theoretical Studies*
6. **Buzdugan Gheorghe** *Rezistența Materialelor* Editura Tehnică 1980
7. **Crețu Ion** *Hidraulică Generală și Subterană* Editura Tehnică 1980
8. **Cunha J.C.** *Buckling of Tubular Inside Wellbore : A Review on Recent Theoretical and Experimental Works*
9. **Dawson R.** *Drill Pipe Buckling în Inclined Holles* Journal of Petroleum Technology 2013
10. **Duan Mingqin.** - *An Experimental Study of Small Sand-Sized Cuttings Transport în Horizontal and High Angle Boreholes.* The University of Tulsa Reports, May 2015
11. **Duman O.B., Mishca S., Kuru E.** *SPE 85775-SPM* 2001
12. **Efiong Fr.** *Experimental Cuttings Transport în Horizontal Wellbore* Institut for Petroleumteknologi oganvent Geofysiks – 2011
13. **Espitaliér F.,** *Les Fondamenteux de la Cristalisation et de la Precipitation* Ed. GEN – GEY – 2015
14. **Ezzedine Dhaker.** *Modélisation du compotement dynamique d'un train de tiges de forage pétroliere* Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris - 2013
15. **Fanchi J.,** *Reservoir Engineering,* Ed. Gulf Profesional Publishing – 2002
16. **Gavignet J.J., and Sobey I.J.,** *A Model for the Transport of Cuttings în Directional Wells* SPE 15417 - 1986
17. **Gaynor T. Hamer D.** *Quantifyied Tortuosities by Friction Factors în Torque and Drag Model* SPE 2002
18. **Georgescu G.** *Forajul Sondelor* Editura Didactică și Pedagogică București 1966
19. **Gheorghiițoiu M., Pătrașcu M., Șovarel E.,** *Elemente de Foraj Dirijat* Ed. U.P.G. Ploiesti – 2007
20. **Gheorghiițoiu M.** *Tehnologia Forajului* Ed. U.P.G. Ploiesti – 1990
21. **Gonzalo V., Aiksley B., Alicia C.** *A methodology to Evaluate the gas Migration în Cement Slurries* SPE 94901 2005
22. **Iyoho A.W., Millheim K. K. et al** *Methodology and Benefits of a Drilling Analysis Paradigm* SPE 87121 2004
23. **Lambrescu I.** *Mathcad* Editura U.P.G. Ploiesti 2004
24. **Lazăr A.** *Elemente de Tehnologia Forării Sondelor* Editura U.P.G.Ploiești - 2011

25. **Macovei N.** *Deschiderea Stratelor Productive* Editura U.P.G. Ploiești 2008
26. **Macovei N.** *Echipamente de Foraj* – Editura U.P.G.Ploiești 1996
27. **Macovei N.** *Fluide de Foraj și Cimenturi de Sondă* Editura U.P.G. Ploiești – 1993
28. **Macovei N.** *Forajul Dirijat vol.4 editia a-IIa* Editura U.P.G. Ploiești - 2014
29. **Macovei N.** *Hidraulica Forajului* Editura Tehnică București - 1982
30. **Macovei N.** *Tehnologia Forării Sondelor* Editura U.P.G. Ploiesti 1989
31. **Maidla E. and Hacı M.** *Understanding Torque: The Key to Slide Drilling Directional Wells* SPE 87162 2004
32. **Menand S., Bjorset A., Macresy L.** *A new Model Successfully Validated with Full-scale Buckling Tests* AADE – 11 – NTCE -9 2011
33. **Müller D.** *Introduction à la Theorie des Graphes* Chaier Nr.6 – CRM – 2014
34. **Nae I.** *Managementul Proiectelor - Tehnici de Planificare și Conducere* Editura U.P.G. Ploiesti 2009
35. **Posea N.** *Rezistența Materialelor* Editura Didactică și Pedagogică București- 1979
36. **Rașeev D., Ulmanu V., Georgescu Gh.,** *Construcția și Exploatarea Garniturii de Foraj* Editura Tehnică - 1986
37. **Radescu E., Radescu N.** *Probleme de Teoria Grafurilor* Ed. Scrisul Romanesc - 1982
38. **Rauchenstein W, Blount C. G.** *Cementing a Long Horizontal Wellbore using CT Squeeze Technologie.* SPE 94039 2005
39. **Shabanov V.A., Nikulin O.V.** *Electrical Equipment & Control for Top Drive Systems* ROGTEC 2016
40. **Sewel M., Bilinley J.** *An Effective Aproach to Keeping Holle Clean în High Angle Wells* World Oil Review - 2002
41. **Shighin A.O. et al.** *Roller Bit Optimization* International Journal of Mechanical Engineering and Technology - 2018
42. **Simion L.** *Analiza Drumului Critic* Editura Științifică București - 1968
43. **Soare E., Manolescu G.** *Fizicochimia Zăcămintelor de Hidrocarburi* Editura Didactică și Pedagogică București - 1981
44. **Sun Xiaofeng et al.** *Study of Cuttings Transport Efficiency* The Open Petroleum Journal Volume 6 2013
45. **Tatu Gr.** *Carnet Tehnic Forarea Sondelor* Editura Tehnică București 1983
46. **Thank Nguyen** *Study on effective Hole Cleaning using „Conventional and Enhanced Sweeps „ în Horizontal Wellbores.* TURDP Nov. 13. 2006
47. **Turner J.R.** *The Handbook of Project-Based Management* McGraw-Hill eBook 3rd Edition - 2009
48. **Ulmanu V.** *Material Tubular Petrolier* Ed. Tehnică București 1992
49. **Vasiliu. V. E.** *Studiul mineralelor din rocile zăcământului Suplacu de Barcau, pentru evidențierea modificărilor acestora ca urmare a procesului de combustie subterană a hidrocarburilor.* Teza de Doctorat, U.P.G. Ploiești, 1997

50. **West D.** *Introduction to Graph Theory*, 2nd Edition Pretince Holle 2001
51. *** *Forajul sondelor Carnet Tehnic* Petrostar 1998
52. *** [https:// www.managementstudyguide.com](https://www.managementstudyguide.com)
53. *** <http://www.businessdictionary.com>
54. *** <https://www.merriam-webster.com/dictionary/business>
55. *** *Halliburton Catalog* www.halliburton.com H09235 - 2014
56. *** *Hole Cleaning în Horizontal Wells* VENews Magazin May 2013
57. *** *IADC Manual 12th Edition* IADC Book Store 2013

Lucrari personale

58. Constantinescu C. *Contribuții la studierea evacuării detritusului din sondele orizontale de pe Structura Suplacu de Barcău* Referat de cercetare Nr.1 - Ploiești 2015
59. Constantinescu C. *Solicitările materialului tubular în sondele orizontale de mică.adâncime* Referat de cercetare Nr.2 - Ploiești 2017
60. Constantinescu C. *Aplicarea Teoriei Grafurilor în Managementul forajului sondelor orizontale de mică adâncime* Referat de cercetare Nr.3 - Ploiești 2018
61. Constantinescu C. *About the Evacuation of Cutting from Horizontal Shallow Wells* Buletinul Universității Petrol-Gaze din Ploiești, Seria Tehnică, Vol. LXX, Nr. 1/2018
62. Constantinescu C. *Applying Graph Theory to Solving a Fishing Operation in Well Drilling* Buletinul Universității Petrol-Gaze din Ploiești, Seria Tehnică în curs de apariție