

CURSUL 7

CONTINUAREA TUBĂRII GĂURILOR DE SONDĂ

PRINCIPALELE CARACTERISTICI ALE COLOANELOR TUBATE

Din punct de vedere tehnic burlanele utilizate în industria petrolieră și a puțurilor de apă (puțuri de cercetare hidrogeologică sau de exploatare a apelor subterane) sau pentru orice altă categorie de lucrări, cum ar fi cele de cercetare geologică la adâncimi mari, puțurile de investigare a condițiilor de mediu, puțurile de monitoring, puțuri tehnice de acces, etc., prezintă caracteristici care se referă la natura materialului de fabricație, lungimea, diametrul exterior și interior, grosimea de perete, greutatea unitară, modul de îmbinare cu sitemul mufă – cep sau sitemul fără mufă, tipul de filet (filet rotund sau API – American Petroleum Institute (fig. 7. 3, 7. 4) sau filet butress), rezistența la sarcinii exterioare, interioare și colapsare. Toate caracteristicile menționate se regăsesc în tabele publicate în lucrări de specialitate, cartele tehnice sau în tabele furnizate de producători. Pe plan internațional, în domeniul lucrărilor de foraj și de construcție a puțurilor forate s-a impus standardizarea Institutului American al Petrolului (API). În cea mai mare parte dintre lucrările de foraj, atât diametrele găurii de sondă, dimensiunile tubingului și burlanelor, presiunile de încercare, etc. sunt exprimate în sistemul de măsură anglo – saxon. În ultimul timp sunt suficient de mulți producători de material tubular în care dimensiunile și încercările sunt exprimate în sistemul metric.

Tabelul nr. 1. Caracteristicile fizico-mecanice și dimensiunile unor tipuri de burlane din oțel carbon utilizate în mod curent în construcția puțurilor forate. După Schlumberger cu adăugiri

Tipul de coloana	Diametrul exterior De			Masă unitară		Diametrulul interior Di		Rezistență la colapsare		Sarcină maximă la smulgere			Presiune interioară
	in.	mm	lbm/ft	Kg/m	in.	mm	psi	bar.	lbm	kg	psi	bar	
H-40	4 ½	114.30	9.50	14.16	4.09	103.89	2760	190.30	111000	50348.82	3190	219.94	
J-55	4 ½	114.30	10.50	15.65	4.09	103.89	4010	276.48	166000	75296.44	4790	330.26	
K55	5 ½	139.70	15.50	23.10	4.95	125.73	4040	278.55	248000	112491.06	4810	331.64	
C/T-95	5 ½	139.70	43.10	64.22	3.75	95.25	25420	1752.65	1208000	547940.34	26450	1823.66	
H-40	6 5/8	168.28	20.00	29.80	6.05	153.64	2520	173.75	229000	103872.80	3040	209.60	
C/T-95	6 5/8	168.28	32.00	47.68	5.68	144.15	11820	814.96	872000	395533.10	11920	821.86	
K-55	7	177.80	20.00	29.80	6.46	163.98	2270	156.51	316000	143335.39	2310	159.27	
C/T-95	7	177.80	53.60	79.86	5.38	136.55	19480	1343.10	1500000	680389.50	19290	1330.00	
J-55	8 5/8	219.08	24.00	35.76	8.10	205.66	1370	94.46	981000	444974.73	2950	203.40	
Q-125	8 5/8	219.08	49.00	73.01	7.51	190.78	11660	803.93	1765000	800591.65	14130	974.23	
H-40	9 5/8	244.48	32.30	48.13	9.00	228.63	1370	94.46	365000	165561.45	2270	156.51	
C/T-95	9 5/8	244.48	75.60	112.64	8.03	203.99	14430	994.91	2100000	952545.30	13770	949.41	
H-40	10 ¾	273.05	32.75	48.80	10.19	258.88	840	57.92	367000	166468.63	1820	125.48	
C/T-95	10 ¾	273.05	85.30	127.10	9.15	232.41	12540	864.60	2367000	1073654.63	12330	850.12	
H-40	11 ¾	298.45	42.00	62.58	11.08	281.53	1040	71.71	478000	216817.45	1980	136.52	
Q-125	11 ¾	298.45	71.00	105.79	10.59	268.88	5760	397.14	2552000	1157569.34	10840	747.39	
H-40	13 3/8	339.73	48.00	71.52	12.72	322.96	740	51.02	541000	245393.81	1730	119.28	
Q-125	13 3/8	339.85	72.00	107.28	12.35	313.61	2880	198.57	2596000	1177527.43	8410	579.85	
H40	16	406.40	65.00	96.85	15.25	387.35	630	43.44	736000	333844.45	1640	113.07	
Q-125	16	406.40	109.00	162.41	14.69	373.08	3520	242.70	3953000	1793053.13	8970	618.46	
H-40	18 5/8	473.08	87.50	130.38	17.76	450.98	630	43.44	994000	450871.44	1630	112.38	
M-65	18 5/8	18 5/8	88.50	131.87	18.76	476.38	631	43.51	1616000	733006.29	2600	179.26	
H-40	20	508.00	94.00	140.06	19.12	485.75	520	35.85	1077000	488519.66	1530	105.49	
K-55	20	508.00	133.00	198.17	18.73	475.74	1500	103.42	2125000	963885.13	6060	417.82	

În tabelul nr.1 sunt redată principalele diametre și caracteristici fizico – mecanice ale burlanelor utilizate în construcția puțurilor forate. Datele din acest tabel scot în evidență scăderea rezistenței la colapsare pe măsura creșterii diametrului burlanelor. Acest fapt, coroborat cu creșterea greutatea coloanei, precum și cu limitele sarcinii la cârlig a instalațiilor de foraj are implicații în tubarea la adâncimi mai mici a coloanelor mai largi.

În industria construcției puțurilor forate, față de cele prezentate în tabelul nr. 1, există o varietate mult mai mare de diametre și tipuri de burlane. Astfel, tubingul mai mic de 4 ½ in. se găsește în mod curent la diametrele de 1, 2, 2 ¾, 2 7/8, 3 ½, 4 in. Burlanele cu diametre mari și foarte mari au lățimi ce depășesc 20 de in. În mod uzual, acestea pot fi întâlnite cu diametre de 23, 26, 27, 33 ¾, 42 ¾, 43 ¾ in., iar în unele cazuri se ajunge la diametre extrem de mari cu valori de 100 ¾, 204 ¾ și chiar 204 7/8 in.



Fig. 7.1. Burlane din oțel carbon pentru coloanele pline. Se remarcă sistemul de îmbinare mufă/cep cu filete rotunde

CLASIFICĂRII ALE COLOANELOR TUBATE



Fig. 7.2. Burlane din oțel inoxidabil pentru coloanele pline. Se utilizează cu precădere în industria puțurilor de alimentare cu apă

Coloanele tubate în găurile de sondă pot fi încadrate după mai multe criterii. Astfel, acestea pot fi coloane temporare din oțel carbon sau coloane permanente din oțel carbon, din oțel carbon zincat, din oțel inoxidabil, coloane din plastic de diferite tipuri și categorii, coloane din fibră de sticlă sau alte materiale speciale, azbociment, etc. Din punctul de vedere al accesului fluidelor în puțurile forate, coloanele pot fi din categoria coloanelor pline, complet impermeabile și a coloanelor filtrante. De regulă, în cazul execuției puțurilor pentru petrol și gaze, în cea mai mare parte



Fig. 7.3. Burlane din plastic alimentar utilizate pentru tubarea puțurilor de apă

dintre situații, coloanele filtrante sunt coloane pline cu spațiul inelar cimentat și care ulterior sunt perforate pentru a permite testarea și exploatarea hidrocarburilor. În afara încadrărilor prezentate, în funcție de poziția lor spațială coloanele tubate pot fi, coloane de ghidaj, coloane de ancoraj, coloane intermediare și coloane de producție. În același context, coloanele intermediare și cele de producție mai pot fi coloane tubate de la suprafață sau coloane pierdute (eng. linere)

Coloanele temporare

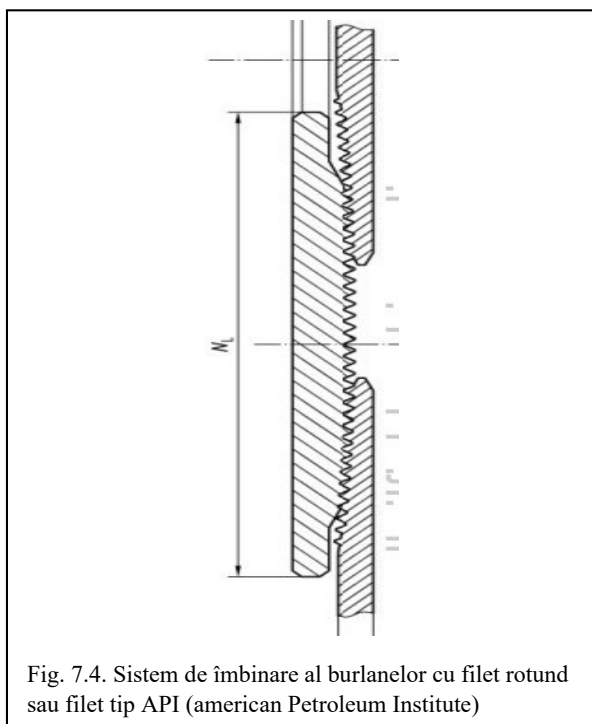


Fig. 7.4. Sistem de îmbinare al burlanelor cu filet rotund sau filet tip API (american Petroleum Institute)

Această categorie de burlane sunt din oțel carbon și însoțesc operațiunile de forare a găurilor de sondă. După finalizarea operațiunilor de foraj și de instalare a coloanelor definitive se extrag și se reutilizează. Ele pot avea diametre diferite în funcție de obiectivul urmărit și se folosesc în special pentru construcția puțurilor de apă atunci când este utilizat forajul cu borsapă și lingură de lăcărit sau în construcția pilonilor atunci când se folosește forajul uscat în sistem Benoto. Nu puține sunt cazurile când pentru coloanele de ghidaj se folosește metoda forajului uscat și se instalează coloane temporare.

Coloanele permanente

Sunt coloanele fixate permanent în interiorul găurilor de sondă. Ele asigură susținerea acestora, iar spațiul inelar din exteriorul burlanelor fie este parțial sau total cimentat, fie este umplut cu diferite materiale. Coloanele permanente sunt întâlnite în cea mai mare parte a puțurilor forate, iar în afara

susținerii pereților găurii de sondă au rol în izolarea diferitelor formațiuni geologice, de protecție a mediului geologic, de a permite captarea și circulația fluidelor din formațiunile colectoare și de a fi suport pentru alte coloane sau suport pentru fixarea capetelor de erupție.

După materialul de fabricație coloanele permanente pot fi :

- coloane din oțel carbon (eng. carbon steel casing) – fig. 7.1
- coloane din oțel carbon zincat (eng. galvanized carbon steel casing)
- coloane din oțel inoxidabil de diferite categorii (eng. stainless steel casing) – fig. 7.2
- coloană din material plastic de diferite categorii (eng. plastic casing) - fig. 7.3
- coloană din fibră de stică (eng. fiber glass casing)
- coloane din diferite materiale cum ar fi ceramică, beton, azbociment, etc.

Burlanele din oțel inoxidabil pot fi de diferite tipuri, în funcție de obiectivul urmărit prin construcția unui puț. Astfel în cazul unor alimentări cu apă din subteran sau al exploatarea unor ape cu grad ridicat de puritate, puțurile forate sunt tubate cu coloane din oțel inoxidabil alimentar. Aceiași situație este și în cazul puțurilor de alimentare cu apă tubate cu coloane din plastic. În aceste condiții, materialul utilizat în fabricarea burlanelor și filtrelor este din categoria plasticului special pentru apă sau din polietilene de înaltă densitate (PEHD)

Categorii de tubatură în funcție de accesul fluidelor în puțuri

În funcție de accesul fluidelor din rocile colectoare în puțurile forate, coloanele tubate pot fi coloane pline și coloane filtrante.

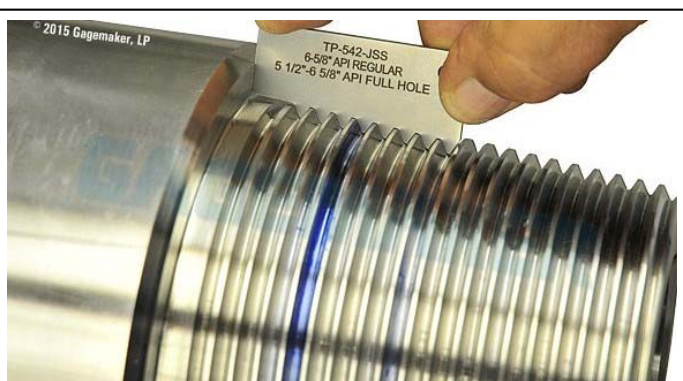
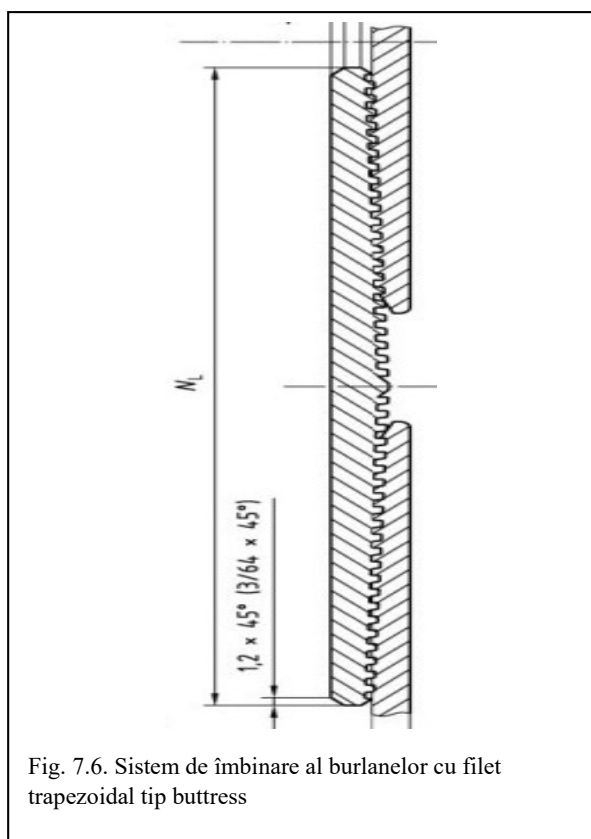


Fig. 7.5. Verificarea integrității unui filet rotund - tip API

Coloanele pline



anvelopă dintr-un material filtrant, cum ar fi pietrișul mărgăritar, rășina epoxidică, filtru preîmpachetat etc. Prin urmare burlanele filtrante reprezintă numai o componentă din ceea ce este filtru pentru puțul forat.

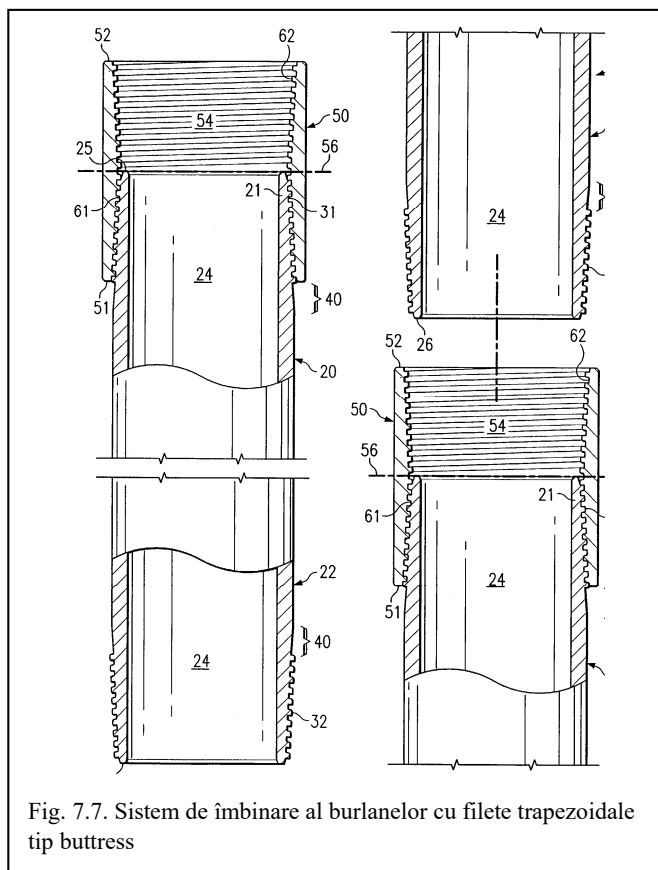
În funcție de modul în care sunt alese filtrele, de poziționarea lor împreună cu coloana tubată, de tipul constructiv al colonei tubate, depinde reușita în construcția puțurilor, întrucât în afara susținerii formațiunilor acvifere, coloanele filtrante mai au rolul de a împiedica pătrunderea fracțiilor solide din stratul saturat cu fluid în puț.

Calitatea manufacturată a coloanelor filtrante depinde de mărimea suprafeței active (suprafața activă a unui burlan filtrant o reprezintă raportul dintre suprafața deschiderilor sau a golurilor și suprafața totală a burlanului respectiv), de prezența fantelor neobstrucționante și de rezistența la coroziune și colapsare. Printre alte caracteristici, coloanele filtrante de calitate se dezvoltă ușor, prezintă tendință minimă de încrustare, au pierderi scăzute sarcină

Reprezintă ce mai răspândită categorie dintre coloanele instalate în găurile de sondă. De regulă, ele constituie coloanele de ghidaj, coloanele de ancoraj și coloanele intermediare. Coloanele de producție fie sunt coloane pline cu spațiul inelar cimentat și apoi sunt perforate pe anumite porțiuni, fie sunt constituite direct din coloane filtrante, utilizate cu precădere în industria puțurilor de apă (alimentare cu apă, cercetare hidrogeologică, monitoring, puțuri de hidroobservație, etc). În industria hidrocarburilor se folosesc coloane filtrante atunci când sunt presiuni de zăcământ și adâncimi reduse.

Coloanele filtrante (well screens)

Burlanele din categoria filtrelor au manufacturate goluri de diferite forme și dimensiuni prin care sunt admise fluidele din porii sau din fisurile rocilor colectoare în puțurile construite în cea mai mare parte în acvifere cu roci neconsolidate sau semiconsolidate. În mod practic coloana perforată reprezintă numai o componentă a filtrului. În cea mai mare parte dintre situații, în spațiul inelar dintre filtru și stratul acvifer se interpune o



hidraulică și nu permit accesul materialului solid din stratul saturat cu apă în puț.

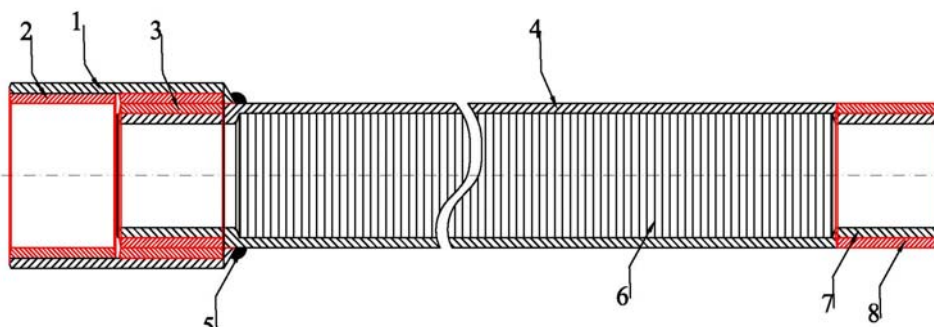


Fig. 7.8. Burlan filtru (eng. screen joint) cu fante continue din sârmă trapezoidală sau triunghiulară înfășurată și sudată pe tije. 1. Mufa (box) 2. Filet inferior al mufei (eng. inner thread) 3. Filet exterior 4. Tijă de susținere a sârmei 5. Ramforsarea mufei prin sudură 6. Corpul burlanului filtrant 7. Cap (eng. pin) 8. Filetul exterior al capului

O altă trăsătură importantă a coloanelor filtrante este reprezentată de forma deschiderilor prin care circulă fluidele din rocile saturate în puțuri. Dintre toate tipurile fabricate, filtrul cu deschiderea fantelor continuă (filtrele de tip Jhonson, fig. 7. 9) s-au dovedit a avea cea mai mare eficiență. Acestea sunt utilizate pe scară largă în întreaga lume nu numai pentru industria puțurilor de apă, dar și în cazul exploatărilor de petrol și gaze. Suprafața activă mare a acestor coloane filtrante, implică viteze mici de pătrundere a fluidelor din stratele poaroase în puțuri, astfel încât pierderile de sarcină sunt minime.

Din punct de vedere constructiv un burlan filtrant (fig. 7.8) se compune ca și în cazul burlanelor obișnuite din piese de conexiune cum sunt mufele și cipurile, de regulă cu filete rotunde (API – fig. 7.4, 7.5) sau cu filete trapezoidale (buttress – fig. 7.6 – 7. 7) și din corpul filtrului propriu zis. În cazul filtrelor cu deschidere continuă (fig. 7.9), corpul filtrului se construiește prin înfășurarea sârmei laminate (în secțiune de formă triunghiulară sau trapezoidală) în jurul unor tije longitudinale dispuse circular. Sârma înfășurată este sudată în fiecare punct pe aceste tije. În funcție de granulația rocilor magazin fantele continue au deschideri diferite, acestea având dimensiuni submilimetrice (0.25 mm) până la 2 -3, uneori chiar 4 mm). Pe plan global acest tip de coloană filtrantă este fabricată din oțel inoxidabil. În ultima perioadă acest gen de coloană filtrantă a fost construită și din material plastic.



Fig. 7.9. Filtru cu deschidere continuă – fabricat din sârmă trapezoidală înfășurată și sudată pe tije de susținere – model Jhonson

În industria puțurilor de apă sunt folosite o multitudine de coloane filtrante. Acestea pot fi adecvate în unele formațiuni geologice, dar în cele mai multe dintre situații ele au un succes marginal. Cu toate acestea, din cauza prețurilor scăzute, executanții puțurilor de apă preferă instalarea acestor categorii de filtre. Într-o descriere sumară coloanele menționate sunt din clasa filtrelor cu fante (fig. 7.12) și cu ferestre (fig. 7. 13).

O categorie de filtre cu succes destul de bun în industria alimentărilor cu apă din subteran o constituie (fig. 7.10) filtrele de tip pod (eng. bridge screens). Acestea au construcție specială, asigurând un randament bun, dar

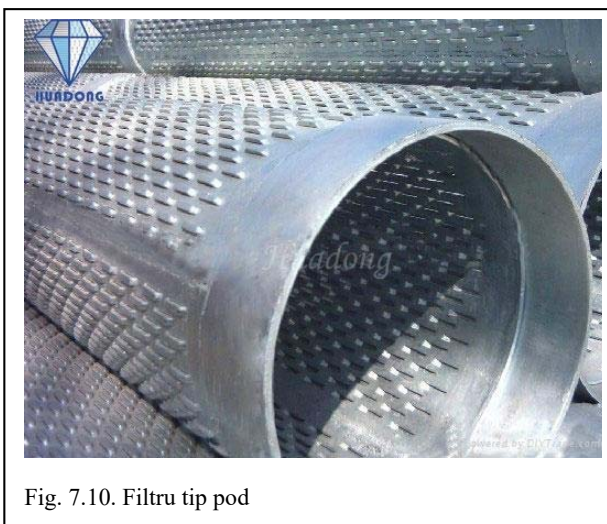


Fig. 7.10. Filtru tip pod

care este inferior filtrelor din sârmă înfășurată. În alte cazuri se folosesc (fig. 7.14) filtrele preîmpachetate, în care pietrișul mărgăritar sau ori care alt material filtant este inclus în spațiul preconstruit dintre două coloane filtrante dispuse concentric.

Adâncimea de fixare, presiunile din ariile acvifere sau presiunile din zonele de exploatare, etc. influențează alegerea filtrelor pentru instalarea lor în găurile de sondă. Astfel (fig. 7.11), în cazul acviferelor de adâncime mică și medie se folosesc filtre dintr-un material mai puțin rezistent la colapsare, dar în cazul puțurilor de adâncime mare se aleg filtrele fabricate din materiale speciale rezistente din punct de vedere fizico – mecanic și coroziv. În cazul adâncimilor deosebit de mari și a presiunilor extreme filtrele cu fantă continuă se construiesc pe suportul unor burlane cu perforaturi.



Clasificarea în funcție de poziția spațială a coloanelor tubate

În raport cu poziția spațială coloanele tubate pot fi:

- coloane de ghidaj
- coloane de ancoraj
- coloane intermediare
- coloane de producție

După modul de instalare, coloanele intermediare și cele de producție pot fi cu instalare de la suprafața terenului sau cu instalare din interiorul coloanei anterior tubate și atunci acestea sunt numite coloane pierdute sau "lainere" (eng. liner)

Coloana de ghidaj (eng. conductor casing)

Este prima coloană instalată de la suprafața terenului. Aceasta se poziționează în funcție de adâncimea finală a puțului. În cazul puțurilor puțin adânci, coloana de ghidaj este fixată cât mai aproape de suprafață. În mod curent, coloanele de ghidaj se instalează între 3 și 40 m, iar diametrul lor (fig. 7.15 – 7.19) este cuprins între 20 și de 44 in. Cel mai adesea coloanele de ghidaj au diametrul de 26 – 27 de in.



Fig. 7.12. Filtru din plastic alimentar cu fante orizontale

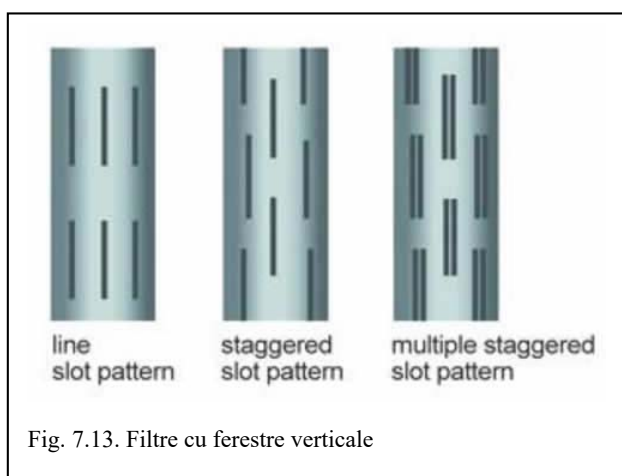


Fig. 7.13. Filtre cu ferestre verticale

Rolul coloanelor de ghidaj constă în stabilizarea și direcționarea găurilor de sondă, în asigurarea condițiilor de submergență în cazul aplicării metodei forajului hidraulic cu circulație inversă, în prevenirea pierderii circulației fluidului de foraj, în protejarea găurii de sondă împotriva unor viituri de apă de la suprafață și prevenirea contaminării găurii de sondă dinspre suprafața terenului.

În cazul în care coloana de ghidaj este tubată la adâncime foarte mică (mai puțin de 5 m), în funcție de situația din teren, aceasta se extrage și se reutilizează. În cele mai multe dintre situații, coloana de ghidaj se fixează permanent, spațiul inelar dintre pereții găurii de sondă și coloană se cimentează din

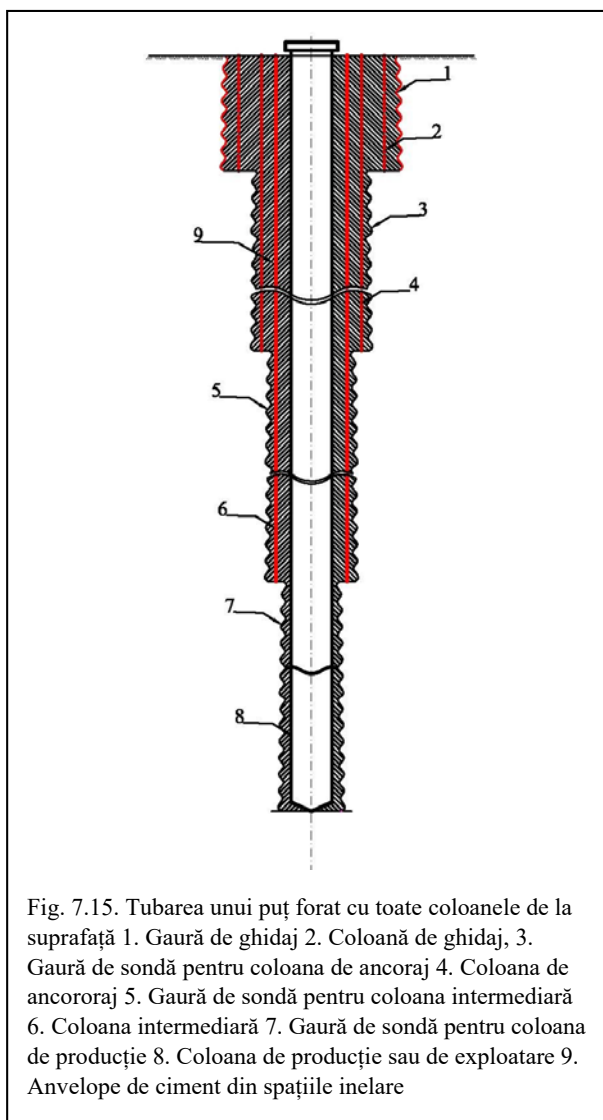
talpă până la suprafață.

Coloana de ancoraj (eng. surface casing)

Această coloană (fig. 7. 15, 7.16, 7.17) se tubează la adâncimi mai mari de 40 m, în unele cazuri se fixează la 50 de m, dar pentru marea majoritate a cazurilor acest tip de coloană are în mod curent adâncimi de 400 – 600 m. În funcție de adâncimea finală a puțurilor forate și în funcție de numărul de coloane intermediare ce urmează a fi instalate, diametrul coloanelor de ancoraj variază între 8 ^{5/8} și 22 de in.



Fig. 7.14. Filtre Jhonson preâmpachetate



metri. De asemenea pot fi coloane fixate de la suprafață (fig. 7.15), dar în cele mai multe dintre situații sunt din categoria coloanelor pierdute (fig. 7.16, 7. 17). Atât coloanele de ancoraj cât și cele intermediare sunt utilizate cu precădere în industria forajului de petrol, a forajelor de cercetare geologică de mare adâncime (foraje structurale), dar și pentru puțurile de apă cu adâncimi mari și foarte mari, cum e cazul puțurilor pentru ape termale ce pot avea adâncimi mai mari de 3 000 m. Puțurile de apă cu adâncimi mai mici de 1000 -1200 de m au construcție specială în care coloanele pot fi asimilate acestor tipuri ca în industria de petrol.

Spațiul inelar dintre pereții găurii de sondă și coloana de acoraj se cimentează de la adâncimea de fixare până la suprafața terenului.

În construcția puțurilor forate, utilitatea coloanelor de acoraj constă în izolarea și consolidarea formațiunilor geologice instabile dinspre suprafața terenului. Coloanele de ancoraj protejează structurile acvifere dinspre suprafață de contaminarea ce ar putea interveni în timpul desfășurării lucrărilor de foraj. În același timp, coloana de ancoraj rezează acel tronson de burlane care izolează gaura de sondă de unele formațiuni de tip salifer sau alte categorii de roci ce pot influența negativ desfășurarea procesului de foraj. Prevenitoarele de erupție sunt fixate pe această coloană, ele având rolul determinant în controlul presiunilor în etapa de punere în producție a sondelor de hidrocarburi. Un rol important al coloanelor de ancoraj este conferit de suportul pe care acestea îl asigură celorlalte coloane ce urmează a fi instalate.

Coloanele intermediare (eng. intermediate casing).

În funcție de obiectiv urmărit, de modul de exploatare, etc, coloanele intermediare pot fi unice sau multiple. Acestea sunt tubate (fig. 7.15, 7. 16, 7.17) în găuri de sondă cu diametrul mai mic decât interiorul coloanelor de ancoraj. Pot avea diametre ce variază între 7 – 12 ³/₄ sau 13 ³/₈ in și sunt instalate la adâncimi de câteva mii de

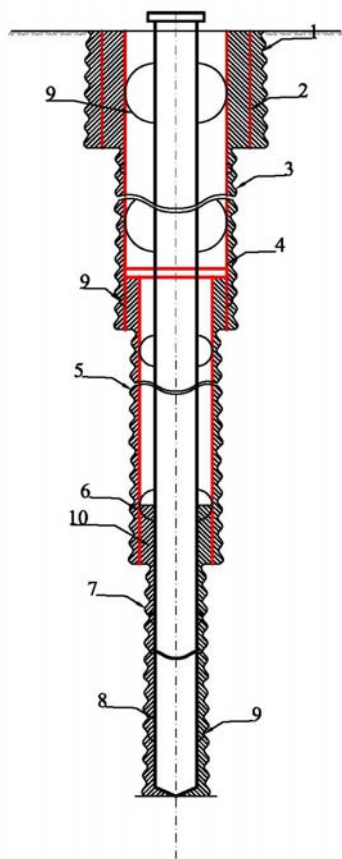


Fig. 7.17. Puț forat cu coloana intermediară pierdută (liner) și coloana de producție tubată de la suprafață 1. Gaură de sondă de ghidaj 2. Coloană de ghidaj, 3. Gaură de sondă pentru coloana de ancoraj 4. Coloana de ancoraj 5. Gaură de sondă pentru coloana intermediară 6. Coloana intermediară 7. Gaură de sondă pentru coloana de producție 8. Coloana de producție sau de exploatare 9. Centrori (eng. centralizers) 10. Cimentarea spațiilor inelare

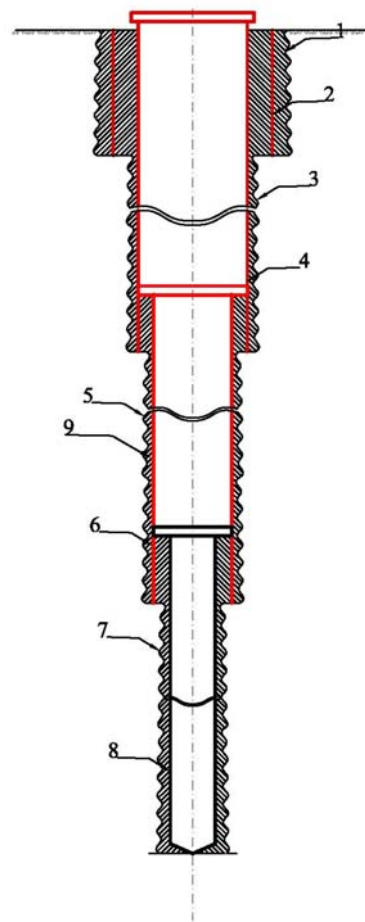


Fig. 7.16. Puț forat cu coloane intermediare și de producție pierdute (linere) 1. Gaură de sondă de ghidaj 2. Coloană de ghidaj, 3. Gaură de sondă pentru coloana de ancoraj 4. Coloana de ancoraj 5. Gaură de sondă pentru coloana intermediară 6. Coloana intermediară 7. Gaură de sondă pentru coloana de producție 8. Coloana de producție sau de exploatare 9. Cimentarea spațiilor inelare

Spațiul inelar dintre pereții găurilor de sondă (fig. 7.15, 7. 16 și 7.17) și coloanele intermediare se cimentează pe întregul lor interval de tubare. Astfel, dacă coloana este fixată de la suprafața terenului până la adâncimea proiectată, spațiul inelar se cimentează pe întregul interval. Dacă este coloană pierdută atunci spațiul inelar se cimentează (7. 16, 7. 17) pe întregul interval de adâncime al coloanei pierdute.

Rațiunea instalării coloanelor intermediare constă în consolidarea pereților găurilor de sondă, în izolarea împotriva invadării găurile de sondă cu fluide și material solid din rocile traversate de foraj, de a nu permite pătrunderea în puțuri a fluidelor cu presiuni anormale și de a preveni dificultățile de foraj la adâncimi mari și foarte mari, cum este cazul umflării rocilor argiloase, micșorării diametrului găurilor de sondă. Coloanele intermediare mai au rolul de a preveni orice accident ce s-ar produce în timpul operațiunilor de săpare a găurilor de sondă.

Coloanele de producție sau de exploatare (eng. production casing)

Prin mijlocirea coloanelor de producție sau de exploatare se valorifică zăcămintele de hidrocarburi sau alte substanțe minerale utile (sare, sulf, cărbuni) sau se exploatează resursele de apă subterană. Aceste coloane, având cele mai reduse diametre, reprezintă tronsoanele cele mai adânci din construcția puțurilor forate. Ele sunt instalate în găuri de sondă cu diametrul mai mic decât interiorul coloanelor intermediare. Totuși sunt cazuri de excepție, atunci când în găuri de sondă forate cu sape expandabile (eng. underreamer) lărgimea acestora este mai mare decât a coloanelor intermediare.

Coloanele de producție sunt tubate la cele mai mari adâncimi și au diametrul cuprins între 4 ½ și 10 ¾ in, iar instalarea lor poate fi de la suprafață până la adâncimea finală (fig. 7. 15, 7. 17) sau poate fi din categoria coloanelor pierdute (fig. 7. 16). Indiferent de modul de instalare, ținând seamă de faptul că aceste coloane suportă temperaturi și presiunii extrem de ridicate, spațiile inelare dintre gaura de sondă și coloana de producție sunt în totalitate cimentate. Punerea lor în producție se realizează prin perforare selectivă, iar testarea și exploatarea se produce fie pe întregul tronson perforat, fie selectiv prin intermediul packerelor.

Coloanele de producție reprezintă acele tronsoane ale puțurilor forate care asigură accesul fluidelor de la nivelul zăcămintului la suprafața terenului. Ele au rol în protejarea echipamentelor și instalațiilor, cum ar fi țevile de extracție, pompele de adâncime, separatoarele de fluide, aparatura de măsurare a temperaturii și presiunii, etc. În același timp, în interiorul acestor coloane pot fi efectuate în condiții de securitate oricare dintre operațiunile necesare punerii în producție a sondelor.

Coloanele filtrante

De regulă sunt utilizate în cazul puțurilor forate pentru cercetările hidrogeologice și pentru alimentarea cu apă subterană, dar în cazul unor presiuni de formație mai reduse aceste tipuri de coloane pot fi folosite și în industria exploatării zăcămintelor de petrol sau a gazelor naturale.

În construcția puțurilor cu coloane unice (fig. 7.18), după instalarea burlanelor de ghidaj și după forarea găurii de sondă sunt tubate burlanele și filtrele care constituie coloanele de producție. Acestea sunt formate în partea bazală dintr-o piesă de fund numită decantor (eng. tail pipe), urmată de secțiunea filtrelor și continuată până la suprafața terenului de prezența coloanelor pline. În cazul acestei categorii

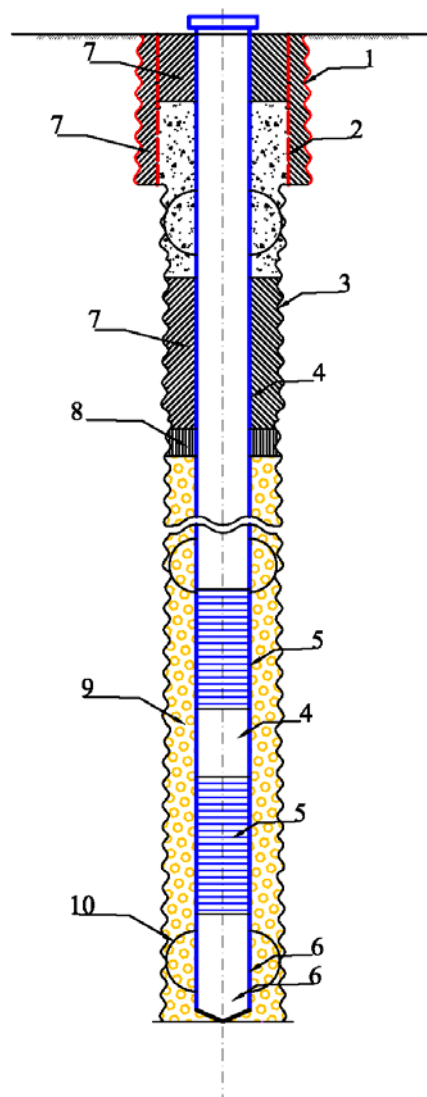
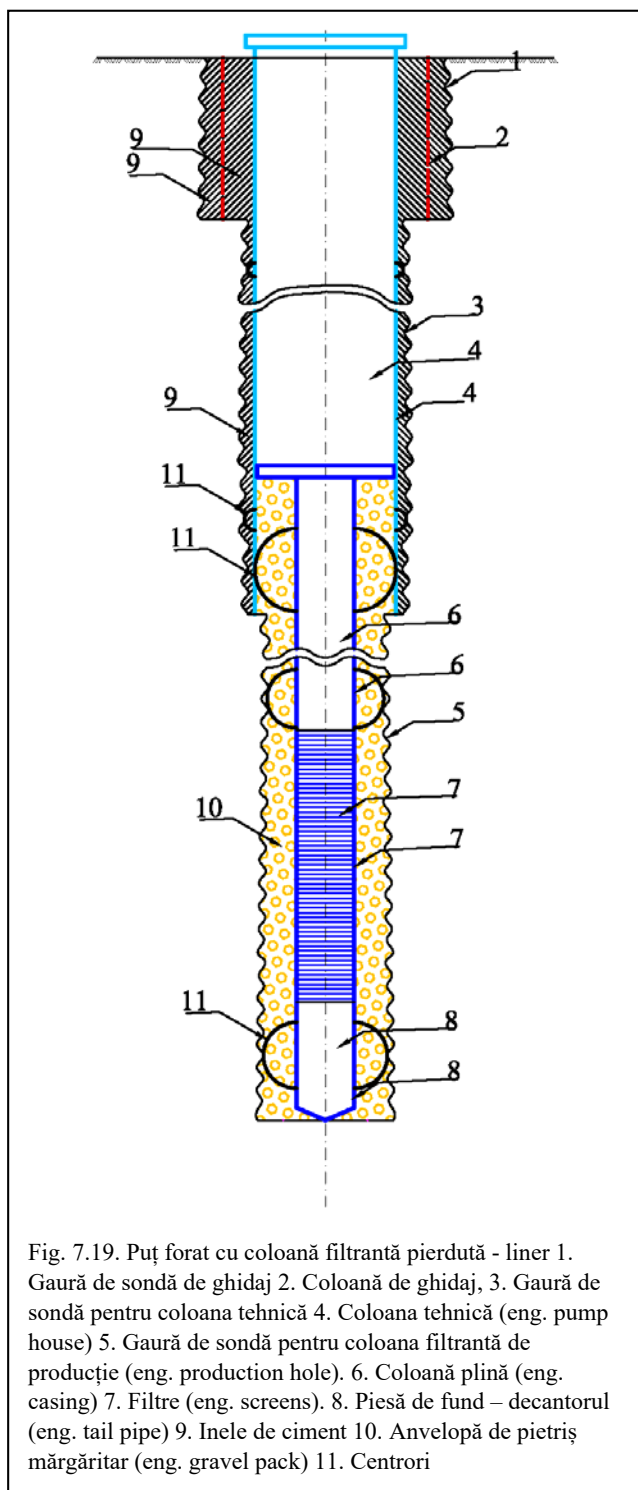


Fig. 7.18. Puț forat cu coloană filtrantă unică 1. Gaură de sondă de ghidaj 2. Coloană de ghidaj, 3. Gaură de sondă pentru coloana filtrantă 4. Coloana plină (eng. casing) 5. Filtre (eng. screens) 6. Piesă de fund – decantorul (eng. tail pipe) 7. Inele de ciment 8. Inel impermeabil de circa 2 grosime din argilă) 9. Anvelopă de pietriș mărgăritar (eng. gravel pack) 10. Centrarii



sunt fixate echipamentele de pompare și de monitorizare hidrodinamică atât în faza testărilor cât și în cursul exploatării. În interiorul coloanei tehnice se sapă gaura de sondă până la adâncimea finală și se instalează coloana filtrantă care este de tipul coloană pierdută (eng. liner), fiind compusă (fig. 7. 19) din piesă de fund (decanor – eng. tail pipe), filtre și coloana plină. În cazul coloanei pierdute, partea sa superioară este întâlnită (7. 19) pe o înălțime variabilă (de la 10 – 15 până la 40 – 50 m) în interiorul coloanei tehnice, fiind fixată de aceasta cu o piesă specială de etanșare. Spațiul inelar este în totalitate anvelopat (fig. 7. 19) cu pietriș mărgăritar.

de puțuri, spațiul inelar este anvelopat cu material filtrant (pietriș mărgăritar sau de altă natură - ex. material epoxidic) de la adâncimea finală până la o anumită înălțime deasupra filtrelor. Peste coroana de pietriș mărgăritar (fig. 7. 18) sunt dispuse inele de impermeabilizare cu grosimi de circa 2 m, inele de ciment și / sau inele din material granular de umplutură dispuse pe mai multe intervale și cu grosimi variabile. Nu puține sunt cazurile în care coloanele filtrante unice au diametre diferite. În lungul găurilor de sondă tubate cu coloane filtrante unice, variația diametrelor este asigurată prin utilizarea sistemelor de reducții.

Un alt tip constructiv este constituit din forarea și tubarea cu diametre succesive a unor coloane tehnice, care au spațiile inelare cimentate de la adâncimea de instalare până la suprafață, iar coloana filtrantă este tubată de la suprafață în interiorul coloanelor tehnice. Materialul filtrant este amplasat din bază până la o anumită înălțime în interiorul coloanelor tehnice.

Una dintre categoriile de puțuri des întâlnite (fig. 7. 19) pentru ape subterane și nu numai, sunt cele care au coloane pierdute (linere). Aceste puțuri au o coloană tehnică (eng. pump house) instalată (fig. 7.19) de la suprafață până deasupra formațiunii acvifere, cu spațiul inelar cimentat pe întregul interval, iar în interiorul său se forează gaura de producție.

Această coloană are rolul de a izola formațiunile acvifere cu poziție superioară, de a consolida formațiunile dinspre suprafață, de a preveni contaminarea structurilor acvifere și de a constitui suportul pentru instalarea colonei filtrante de tip liner. În același timp la nivelul coloanei tehnice

Operațiunea de instalare a coloanelor în gaura de sondă

Operațiunea de tubare presupune parcurgerea unor etape ce constau în pregătirea pentru tubare a găurilor de sondă, calcularea adâncimii de tubare în funcție de greutatea coloanei și a capacității instalației de foraj, luarea în considerare și anticiparea dificultăților din timpul procesului de tubare și evaluarea stressului la care sunt supuse burlanele și filtrele în timpul și după instalarea lor în găurile forate.

Pregătirea pentru tubare a găurilor de sondă

Reușta construcției puțurilor forate depinde în mod direct de pregătirea găurilor de sondă înaintea tubajului. Această pregătire implică o serie de operațiuni de verificare, de asigurare a materialelor și echipamentelor, de corectare și șablonare a găurilor de sondă, etc.

În detaliu operațiunile de pregătire a tubajului constau în:

- verificarea instalației și a echipamentelor înainte începerii operațiunii de tubare. Se controlează tehnic instalația de foraj, motorul și componentele de tracțiune, funcționarea pompelor, sistemul macara geamblac, etc. Se asigură echipamentele utilizate în procesul de tubare cum ar fi: prezența elevatorilor, a suveielor, a cleștilor (cu lanț, hidraulici, etc.), a lubrefianților și alți unguienți, a periilor, a echipamentelor auxiliare necesare, și se întocmește instructajul de protecție și siguranță pentru o asemenea operațiune;
- tot în această fază are loc verificarea garniturii de foraj și a modului de funcționare a echipamentelor auxiliare;
- controlul tehnic al coloanelor care urmează a fi lansate în găurile de sondă cum ar fi: verificarea conexiunilor (a mufelor și cepurilor), a filetelor, a integrității burlanelor și filtrelor. În cazul acestora din urmă (fig. 7. 20) se urmărește gradul de opturare al fantelor, prezența sau absența defectiunilor de fabricație, se adoptă și se operează măsurile de remediere, etc.;
- înaintea lansării coloanelor în găurile de sondă se asigură și se verifică centrorii și alte piese auxiliare;
- în mod obligatoriu înaintea tubajului are loc circulația și recondiționarea fluidului de foraj și se corectează și se șablonează gaura de sondă, pentru a nu întâmpina dificultăți în gaura de sondă în timpul procesului de instalare a burlanelor și filtrelor, cum ar fi lipsa avansării în timpul introducerii, imposibilitatea manevrelor de extragere și distrugerii ale coloanelor, modificarea diametrelor găurii de sondă, surpări ale periiilor găurii de sondă, colapsări, etc.;
- în cazul coloanelor fixate la adâncimi mai mari de 100 m au de regulă atașate la bază șuri și nipluri de cimentare.



Fig. 7.20. Operațiunea de verificare a integrității filtrelor înainte lansării în gaura de sondă

Calculul adâncimii de tubare în funcție de greutatea coloanei și a capacității instalației de foraj

Calculul adâncimii de tubare depinde de cunoașterea sarcinii la cârlig a instalației de foraj (capacitatea instalației), de coeficientul de rezistență al instalației și burlanelor, de greutatea coloanei de burlane și

filtre, de greutatea unitară a burlanelor și implicit a materialului de fabricație, de grosimea de perete a burlanelor și filtrelor, de greutatea volumetrică a fluidului de foraj din gaura de sondă și de greutatea specifică a prăjinilor în cazul lansării coloanelor pierdute

Potrivit celor enunțate sarcina la cârlig a instalației se determină conform ecuației:

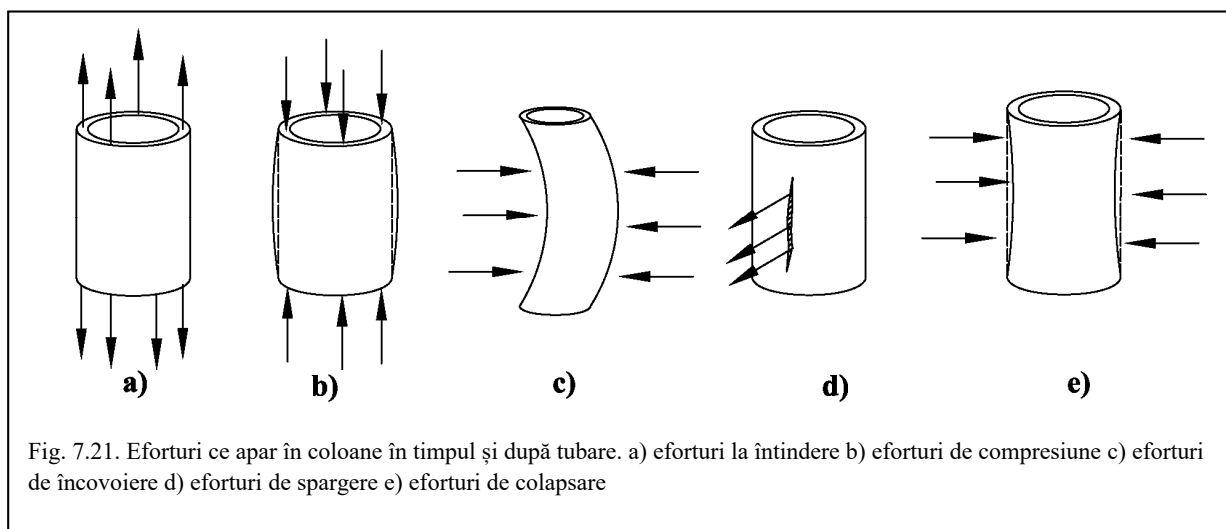
$$G_c = \emptyset * G_b \text{ sau } G_c = \emptyset * g_b * L(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_b}) \quad (7.1)$$

De unde rezultă

$$L = \frac{G_c}{\emptyset * g_b(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_b})} \quad (7.2)$$

Și unde s-au folosit notațiile:

G_c – sarcina la cârlig a instalație (daN); 1daN = 0.981 Kg f



$\emptyset$ - coeficient de rezistență al instalației și burlanelor $\emptyset = 1.1$

G_b – greutatea totală coloanei de burlane și filtre

L – lungimea coloanei de burlane și filtre (m)

g_b – greutatea unitară a burlanelor și filtrelor sau inclusiv a garniturii în timpul instalării coloanelor pierdute (Kgf/m)

γ_f – greutatea volumetrică a fluidului de foraj (kgf/dm³)

γ_b – greutatea volumetrică a burlanelor și filtrelor sau inclusiv a garniturii de lansare în cazul coloanelor pierdute (kgf/dm³)

Dificultăți ce pot apărea în timpul procesului de lansare a coloanelor în găurilor de sondă

În cursul tubării coloanelor în găurile de sondă pot apărea o multitudine de dificultăți cauzate în special de insuficiența pregătire a acestei operațiuni. Între dificultățile cu un grad mai ridicat de risc se enumeră:

- manșonarea coloanei de burlane în timpul lansării
- lipirea coloanei de burale și / sau a coloanelor filtrante de pereții găurii de sondă ca urmare a lipsei centrilor sau a dispunerii inadecvate a acestora

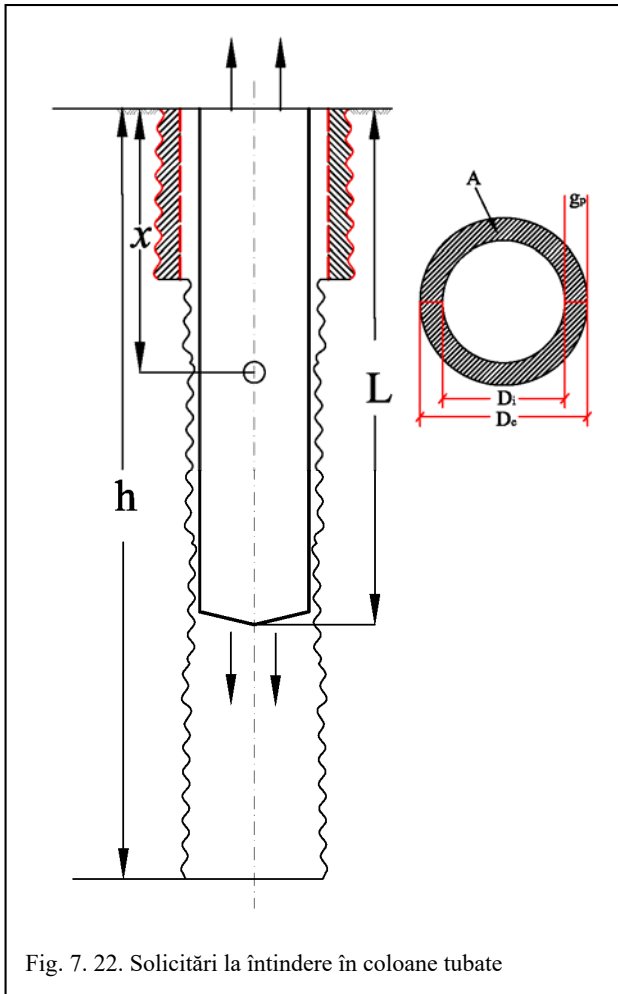


Fig. 7. 22. Solicitări la întindere în coloane tubate

- smulgerea coloanelor ca urmare a îmbinărilor defectuase cum ar fi lipsa strângerii la moment, defecțiuni ale filetelor, suprastrângere și secționare sau fisurarea coloanei
- deformarea coloanelor cauzată de necunoașterea presiunilor exterioare, alegerea defectuasă a materialelor de fabricație, colapsarea găurii de sondă, micșorarea diametrului găurilor de sondă prin procesul de umflare a argilelor, etc.

Stressul la care sunt supuse burlanele și filtrele în timpul și după instalarea lor în găurile forate

Burlanele și filtrele sunt supuse unor eforturi ce le pot deforma și deteriora, atât în timpul operațiunii de introducere în găurile de sondă, cât și după finalizarea acestei operațiuni. Deteriorările și deformările sunt cauzate (fig.7. 21) de solicitările mecanice la întindere (eng. tensile force), la compresiune (eng. comprehensive force), încovoiere (eng. bending force), spargerea burlanelor (eng. bursting force) și de colapsare (eng. collapse force)

Solicitările la întindere (eng. tensile force)

Această categorie de eforturi depinde de calitatea materialului de fabricație a burlanelor și filtrelor, de grosimea de perete a acestora și de modul de înfiletare a segmentelor de burlane.

În conformitate cu cele enunțate (fig. 7. 22) forța de întindere este :

$$F_{ten} = A(L\gamma_b - h\gamma_f) \text{ în care } A = \frac{\pi}{4}(D_e^2 - D_i^2) \text{ și unde:} \quad (7.3)$$

F_{ten} – forța de întindere

A - suprafața secțiunii burlanului

γ_b - greutatea volumetrică a burlanelor

γ_f – greutatea volumetrică a fluidului de foraj (kgf/dm^3)

L – lungimea coloanei de burlane și filtre (m)

h – adâncimea găurii de sondă

În timpul procesului de lansarea a coloanei de burlane în gaura de sondă efortul la întindere într-un punct din coloană situat la o anumită adâncime față de suprafață este în concordanță cu (7.3)

$$\sigma_{in} = \frac{F_{ten}}{A} = L\gamma_b - h\gamma_f \quad (7.4)$$

Iar la un punct cu adâncimea x față de suprafața terenului efortul la întindere se scrie sub forma

$$\sigma_{in} = \frac{\int_{x=0}^L \gamma_b A(x) dx - W_f(x)}{A(x)} \quad (7.5)$$

În care $W_f(x)$ reprezintă greutatea fluidului din gaura de sondă dislocuit de coloana de burlane la adâncimea x

Efortul la compresiune (eng. comprehensive force)

În cazul burlanelor instalate în gaura de sondă forțele de compresiune (fig. 7. 23) se produc după instalarea coloanei ca urmare a solicitărilor produse de greutatea proprie. În linii generale aceste solicitări depind de modulul lui Yang, diametrul mediu al coloanei, grosimea de perete a coloanei tubate și de lungimea coloanei sau adâncimea la care este tubată conform formulei:

$$F_c = \left(\frac{\pi \tilde{D}_e}{2}\right)^3 \frac{E g_p}{L^2} \quad (7.6)$$

Unde

E - reprezintă modulul lui Young (kgf/cm²)

$\tilde{D}_e$ - diametrul mediu al coloanei tubate (mm)

g_p - grosimea de perete a coloanei tubate (mm)

$$g_p = D_e - D_i \quad (7.7)$$

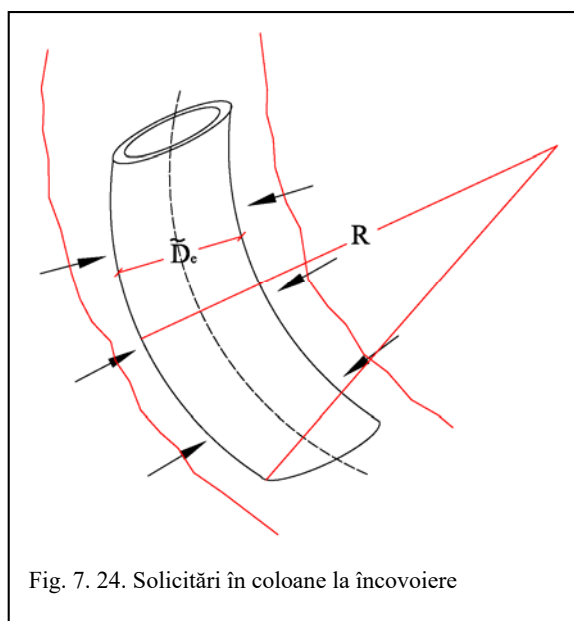
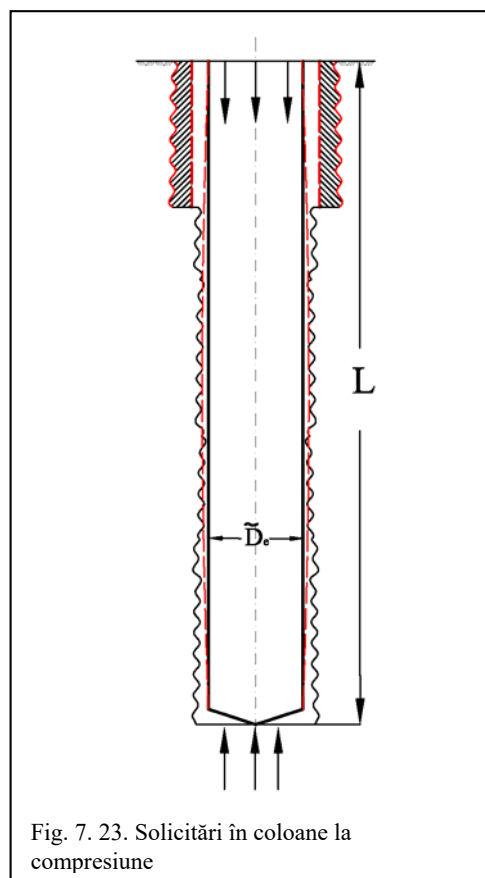
L - lungimea coloanei de burlane și filtre (m)

Efortul la încovoiere (eng. bending force)

Această categorie de solicitări a coloanelor tubate apare în cazul găurilor de sondă care prezintă deviații mai mari sau mai mici în raport cu axul vertical. Cum în marea majoritate a cazurilor găurile de sondă prezintă deviație, acest tip de solicitare este destul de frecvent întâlnit. Această solicitare este (fig. 7. 24) influențată de raza de curbura în zona deviată, de modulul de elasticitate și de diametrul exterior al burlanului potrivit formulei:

$$\sigma_{cov} = \frac{E D_e}{2R} \quad (7.8)$$

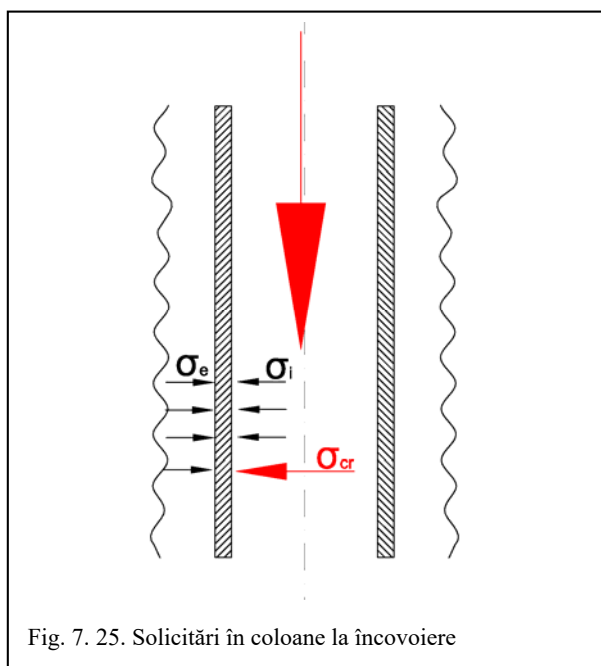
în care:



E și De au aceeași semnificație în cazul ecuațiilor (7. 6) și (7. 7), iar

R – reprezintă raza de curbură în zona deviată a găurii de sondă (fig. 7. 24)

Efortul spargerii coloanelor (eng. bursting force)



Această categorie de solicitări (fig. 7.21 d, fig. 7.25) poate apare atunci când coloanele au defecte de fabricație de tipul fisurilor sau chiar al unor spărturi, din cauza utilizării unor echipamente neadecvate în raport cu materialul coloanelor tubate și din cauza suprapresiunilor. În cazul suprapresiunilor acestea pot fi întâlnite fie atunci când în gaura de sondă se execută anumite operații ce implică presiuni înalte, fie atunci când presiunile de zăcământ sunt de asemenea foarte înalte, iar ținerea lor sub control cu prevenitoare implică suprasarcină în interiorul coloanelor.

Efortul de spargere (fig. 7. 25) se produce de regulă atunci când sarcina internă σ_{int} este mult mai mare decât sarcina din exteriorul coloanei σ_e potrivit inegalității:

$$\sigma_{int} \gg \sigma_e \quad (7. 9)$$

iar

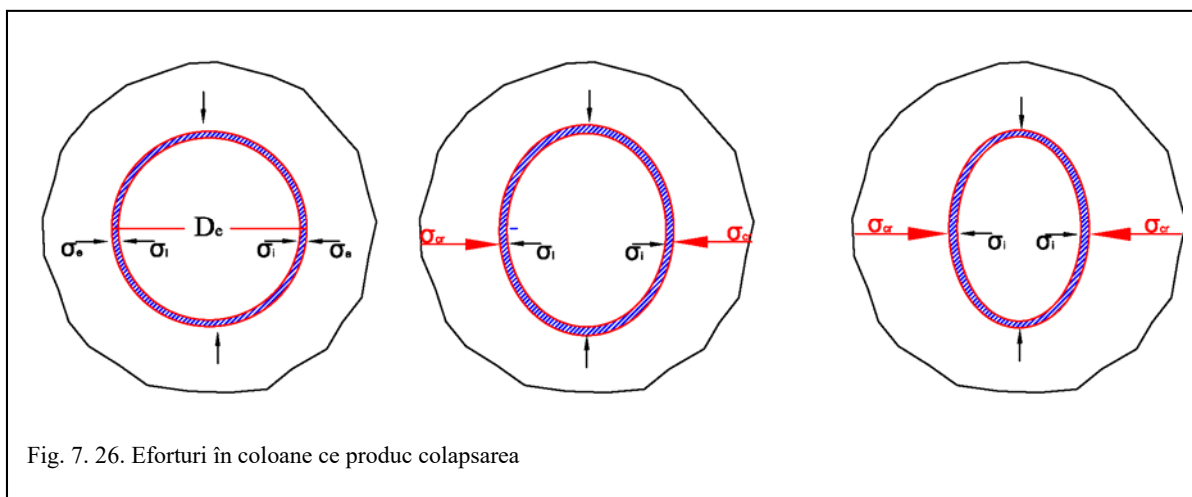
$$\sigma_{sp} = \frac{2g_p\sigma_{curg.}}{D_e} \quad (7.10)$$

și unde:

$\sigma_{curg.}$ – efortul de la care materialul începe să curgă - această sarcină este condiționată de caracteristica materialului de fabricație (kgf/cm²)

g_p - este grosimea de perete a coloanei (mm)

D_e – diametrul exterior al coloanei (mm)



Efortul de colapsare al coloanelor (eng. collapse force)

Efectul de colapsare (fig. 7.21 și 7.26) se produce din cauza suprasarcinii din gaura de sondă asupra coloanelor tubate, modificând diametrele coloanelor și forma lor cilindrică, ovalizându-le sau chiar turtindu-le. Aceste creșteri de presiune pot fi produse de prezența presiunilor laterale induse de fluidele din rocile colectoare, instabilitatea formațiunilor geologice, eforturile suplimentare în timpul operațiunilor de cimentare, suprasarcina anvelopelor de material filtrant, fluid de foraj inadecvat, materialul și grosimea de perete necorespunzătoare a coloanelor, etc.

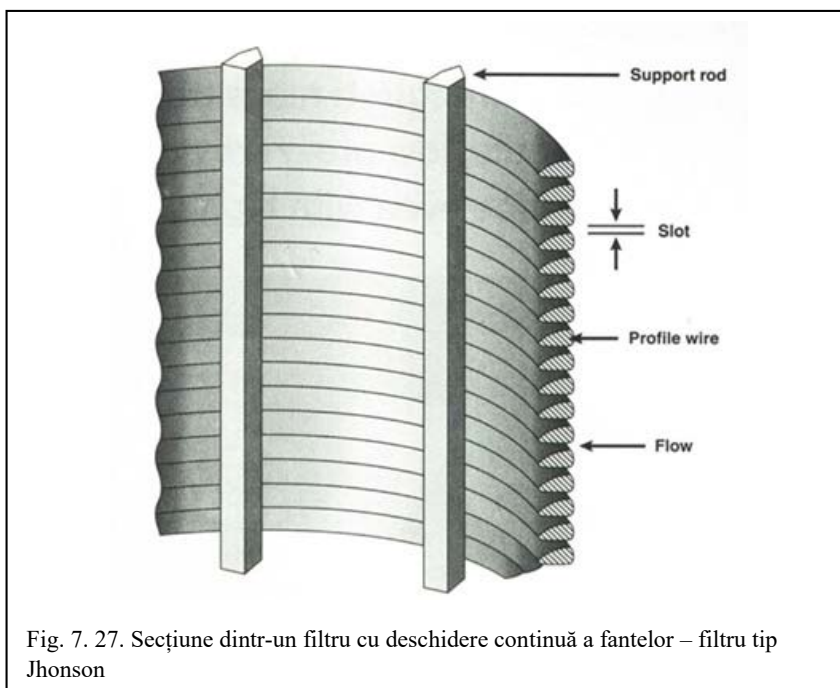


Fig. 7. 27. Secțiune dintr-un filtru cu deschidere continuă a fantelor – filtru tip Jhonson

În industria de petrol sarcina externă de rezistență (fig. 7. 26) a coloanelor σ_e se calculează cu formula

$$\sigma_e = 2.3 \gamma_f h \quad (7.11)$$

γ_f – greutatea volumetrică a fluidului de foraj din gaura de sondă (kgf/dm³)

h - adâncimea găurii de sondă (m)

Efectul de colapsare se produce atunci când din exteriorul coloanelor tubate se depășește (fig. 7.26) efortul critic, acesta acționând pe aceeași direcție și în același sens cu sarcina externă de rezistență conform formulei:

$$\sigma_{cr} = \frac{2E}{(1-\mu^2)\left(\frac{D_e}{g_p}-1\right)^3} \quad (7.12)$$

În care:

E – reprezintă modulul lui Young

μ – este coeficientul lui Poisson, $\mu = 0.28$ pentru oțel carbon

D_e - diametrul exterior al coloanei tubate (mm)

g_p – grosimea de perete a coloanei tubate (mm)

În proiectarea coloanelor din oțel carbon pentru a rezista la eforturile de colapsare ține seama de ecuația:

$$\sigma_{cr}^2 pr. - \left(\frac{2\sigma_{curg}}{\frac{D_e}{g_p}-1} + \sigma_{cr} \right) \sigma_{cr} pr. + \frac{2\sigma_{curg}\sigma_{cr}}{\frac{D_e}{g_p}-1} = 0 \quad (7.13) \text{ și unde}$$

$\sigma_{cr pr}$ – este efortul critic proiectat (Kgf/cm²)

În situația coloanelor din termoplastice presiunea critică se calculează cu formula:

$$\sigma_{cr pl} = \frac{2E}{\frac{D_e}{g_p} \left(\frac{D_e}{g_p} - 1 \right)^2 (1 - \mu^2)} \quad (7.14)$$

Atunci când în găurile de sondă sunt lansate coloane filtrante constituite din filtre din sârmă înfășurată și sudată pe tije metalice (fig. 7.27) calculele de rezistență la colapsare țin seama (fig. 7. 28) de modulul de elasticitate, momentul de lipire sau de sudură al sârmei pe tija metalică, de grosimea sârmei la fața exterioară și de deschiderea fantei conform formulei:

$$\sigma_{cr scr} = \frac{24 EI}{(w+s) D_e^3} \quad (7.15)$$

Si unde:

I - momentul de lipire al sârmei de tija metalică (mm).

$$I = \sum i \quad (7.16)$$

Unde i – este (fig. 7.28) lățimea zonei sudate pe fiecare tijă în parte (mm)

w – reprezintă (fig. 7. 28) grosimea sârmei înfășurate la fața exterioară (mm)

s – este (fig. 7. 28) lățimea fantei filtrului la fața exterioară (mm)

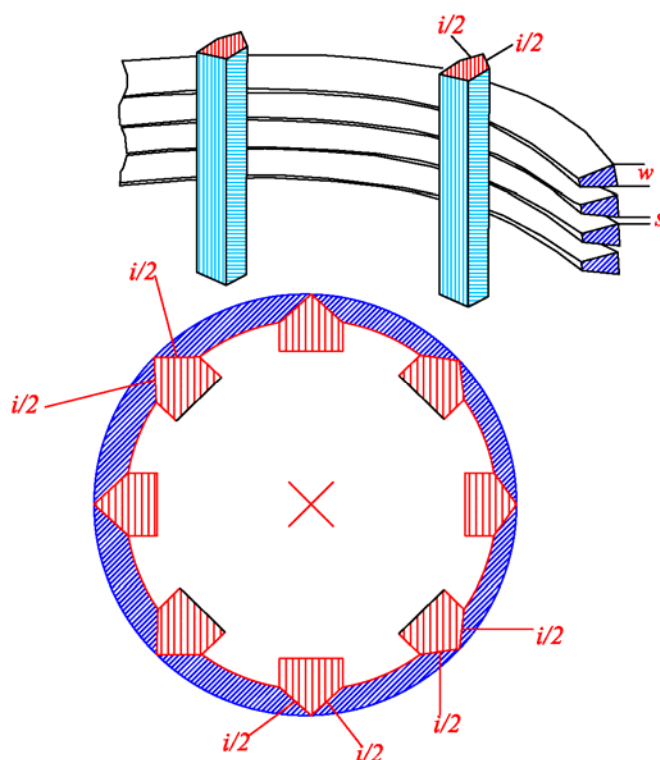


Fig. 7. 28. Elementele geometrice si momentul de lipire pentru filtrele cu fantă continuă tip Jhonson