

CALCULUL PARAMETRILOR REGIMULUI DE FORAJ LA INSTALAȚIILE DE FORAT GALERII ORIZONTALE

DRILLING REGIME PARAMETERS CALCULUS FOR DRILLING RIGS OF HORIZONTAL GALLERIES

Ș. I. dr. ing. Petre SĂVULESCU¹

¹ Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești, Romania
E-mail: petresavulescu@k.ro

Rezumat: În lucrare autorul prezintă componența și funcționarea unei instalații de forat galerii orizontale în secțiune plină. Având la bază unele elemente stabilite experimental pe o instalație FGO 32 s-au determinat parametrii mecanici ai regimului de foraj: apăsarea pe capul tăietor (F_s), turația capului tăietor (n) și momentul de antrenare a capului tăietor (M_t).

Cuvinte cheie: instalație de forat, galerie orizontală, regim de foraj

Abstract: In the paper the author presents the composition and operation of a drilling rig of horizontal galleries in full section. Based on experimental established elements on a FGO 32 rig have been determined mechanical parameters of the drilling regime system: the pressing on the cutter head (F_s), the cutter head speed (n) and the cutter head drive time (M_t).

Keywords: drilling rig; horizontal gallery; drilling regime

1. INTRODUCERE

Instalațiile pentru forat galerii orizontale în secțiune plină cu diametre între 3,2 m și 4,8 m, denumite FGO, sunt destinate realizării galeriilor orizontale subterane pentru hidrocentrale, exploatarea miniere etc., care se execută în roci dure, consolidate.

Instalațiile FGO sunt instalații complexe, capabile prin dotările pe care le au, să asigure la săparea galeriilor orizontale o tehnologie modernă și o viteză de înaintare superioară metodelor clasice (perforare și împușcare). De asemenea, asigură o calitate superioară a tunelului realizat, permițând reducerea consumului de beton pentru consolidare.

Instalațiile sunt astfel concepute încât să poată înainta autonom, orientat, prin pilotare normală conform unui program în care sunt corelate anumite condiții de teren, cu vitezele de înaintare, cu posibilitățile de evacuare a rocii dislocate pe galerie și cu ritmul de executare a consolidării galeriei.

Sistemul de evacuare a rocii dislocate pe galerie constituie un sistem aparte, dependent însă de instalația propriu-zisă, fiind tractat de acesta pe măsură ce înaintază în front.

Sistemul de evacuare a rocii dislocate face obiectul unei instalații separate de mașina propriu-zisă. Instalațiile FGO s-au executat în număr de 14 bucăți funcționând pentru omologare astfel:

- Instalația nr. 1 la Râul Mare din Retezat;
- Instalația nr. 2 la Colibița, Sighetul Marmației;
- Instalațiile nr. 3-7 în diverse tunele din Maramureș;
- Instalațiile nr. 8-14 în zona Crișurilor din munții Apuseni;
- Instalația FGO 36 – prototip – a forat în zona Tg. Jiu, la Timișoara;

- Instalația FGO 48 a fost executată în număr de trei bucăți pentru Valea Jiului și s-au cazat la UPETROM Ploiești după 1990 din lipsă de fonduri de achiziție ale Centralei Huilei de la Petroșani.

2. CONSTRUCȚIA ȘI FUNCȚIONAREA INSTALAȚIILOR

Instalațiile FGO au 2 mișcări principale de lucru:

- rotirea capului tăietor;
- avansul continuu în frontul de lucru pe durata unui pas;

Mișcarea principală de rotație se realizează prin cumularea mișcărilor de rotație a patru motoare – cuplaje cu burdof – reductoare planetare care formează agregatul principal de antrenare.

Mișcarea este cumulată prin angrenarea celor patru pinioane de ieșire din reductoare pe o coroană dințată solidară cu capul tăietor. Mișcarea de avans continuu pe durata unui pas. se realizează prin 2 cilindrii hidraulici de propulsie sprijiniți cu un capăt în modulul de sprijin și stabilizare.

Schema instalației FGO este prezentată în figura 1.

Mișcările de corecție a direcției de înaintare a instalațiilor se fac prin modificarea poziției părții din spate a mașinii.

Mișcarea de deplasare a spatelui mașinii se realizează prin cilindrul de gripare în plan orizontal, respectiv prin ridicarea sau coborârea spatelui mașinii cu cilindrii de preluare a momentului de torsiune pentru a face mașina să sape înclinat în sus sau în jos.

La pilotarea mașinii pe orizontală pentru înscrierea în curbe strânse se folosesc suplimentar împingătorii laterali.

În procesul de foraj, momentul de torsiune al capului tăietor este preluat prin carcasa modul și grinda principală, cărucior, griper, cilindrii de preluare a momentului de torsiune și transmis prin intermediul cilindrilor de gripare la peretele galeriei.

Evacuarea detritusului se face prin cupele perimetrare ale capului tăietor, încărcătorul cu bandă și transportul cu bandă în spatele instalației de unde este preluat prin intermediul altor benzi transportoare de vagonetii de mină și transportat în afara galeriei.

Absorbția prafului ce se degajă în timpul dislocării roci se face prin sistemul de desprăfuire care preia aerul încărcat cu impurități din fața capului tăietor, îl curăță și îl evacuează la o anumită distanță în spatele instalației.

Pentru a ușura sarcina sistemului de desprăfuire s-a introdus sistemul de umectare care pulverizează apă pe frontul de lucru și pe banda transportoare împiedicând formarea prafului.

În scopul facilitării montării și demontării rolor pe capul tăietor sau aducerii capului tăietor într-o poziție bine stabilită, mașinile sunt prevăzute cu agregate de turație lentă.

Acționarea majorității elementelor și părților instalației, exceptând mișcarea principală de rotire a capului tăietor se face prin elemente de comandă hidraulică, comenzi ce se transmit de la pupitrul instalației.

Supapele de siguranță protejează agregatele de suprapresiuni accidentale.

Toate aparatele electrice, motoarele, transformatoarele, releele, cablurile, pupitrul de comandă electric și sunt reunite sub denumirea de instalație electrică.

Evacuarea apei din pânzele de apă freatică din galerie, din umectarea frontului sau din sistemul de formarea ceții la instalațiile antigriztoase se face prin sistemul de evacuare a apei reziduale.

Transportul elementelor de consolidare a galeriei, a rolor sau a altor scule sau subansamble pe sub instalație se face pe grinda transportor cu palan.

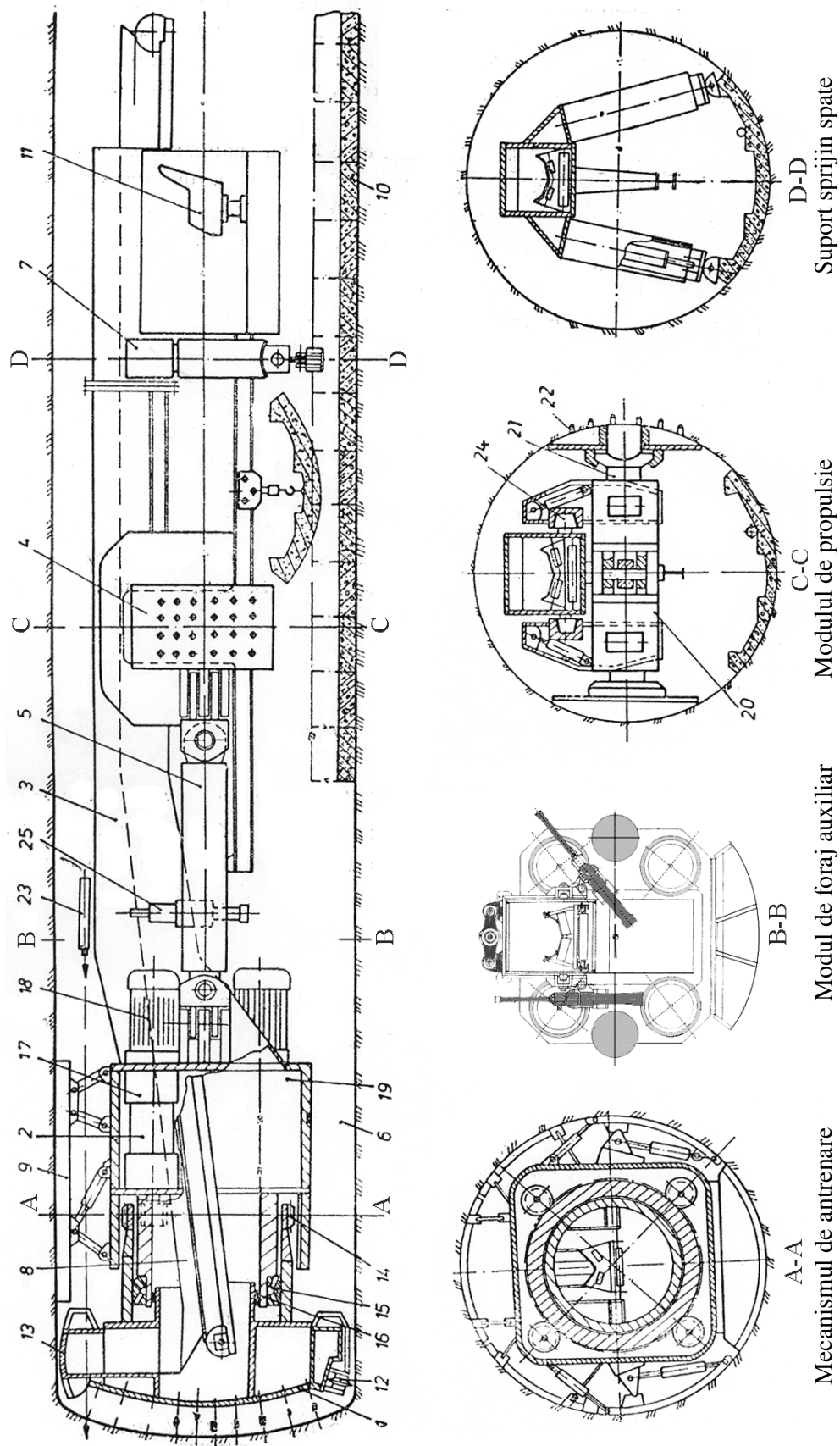


Figura 1. Schema instalației FGO și elementele componente: 1 – capul tăietor; 2 – sistemul de acționare; 3 – grinda principală; 4 – sistemul de ancorare; 5 – sistemul de propulsie; 6 – sistemul de sprijinire și ghidare în față; 7 – sistemul de sprijinire în spate; 8 – bandă transportoare; 9, 10 – sisteme de consolidare; 11 – sisteme de comandă și ghidare; 12 – role disc; 13 – răzuitoare; 14 – coroană dințată; 15 – rulment; 16 – garnitură; 17 – reductor dubluplanetar; 18 – motor electric; 19 – cameră; 20 – suport; 21 – cilindru hidraulic; 22 – scut; 23 – dispozitiv de ghidare cu laser; 24 – canal ghidare; 25 – foreză.

Poziția mașinii poate fi permanent controlată prin dirijarea acesteia folosind un sistem de ghidare cu laser Heliu-Neon, montat pe galerie în spatele instalației și două panouri de referință grilate montate pe părțile din spate și din față a mașinii.

Cintrele de consolidare se montează până în imediata apropiere a capului tăietor astfel încât înaintarea mașinii nu lasă nici o zonă de tavan neconsolidată.

Instalațiile sunt prevăzute cu sistem de foraj auxiliar care execută găuri de ancoră în zona tavanului și de prospectare în frontul de lucru.

Instalațiile sunt de o complexitate deosebită, fiecare subansamblu necesitând dimensiuni minime pentru o mașină (dimensiuni impuse de diametrul galeriei) cu o funcționalitate maximă, deoarece intervenția în galerie este dificilă, datorită spațiului restrâns.

În ansamblu, instalația realizează 20 de mișcări și de aceea fiecare subansamblu și componentă trebuie să aibă un nivel calitativ ridicat pentru a asigura o fiabilitate corespunzătoare acesteia.

Totodată trebuie respectate normele de tehnica securității și medicina muncii în regim de mină și spațiu restrâns.

Instalațiile antigrizotoase au și un sistem de telegrizometrie de protecție.

3. CALCULUL PARAMETRILOR MECANICI AI REGIMULUI DE FORAJ

Indiferent de metoda de foraj, avansarea sapei, iar în cazul de față avansarea mașinii, se realizează prin impactul de daltă dat de rolele capului tăietor asupra rocii din frontul de lucru, fenomen numit penetrația sapei.

Acesta este caracterizat în mod determinant, de influența unor factori definiți prin efectele pe care le generează. În general penetrația sapei, ca impact de daltă este rezultată din combinarea forței de formare a impactului (apăsarea pe rolă) și mișcarea de rotație a rolei (provenită din turația capului tăietor).

Forța de apăsare pe capul tăietor, turația capului tăietor și momentul dezvoltat de capul tăietor sunt principalii parametri mecanici ai regimului de foraj.

3.1 APĂSAREA PE CAPUL TĂIETOR

Apăsarea pe capul tăietor este parametrul care dimensionează echipamentele unei instalații de forat galerii orizontale sub aspectele ce vizează solicitările maxime de tracțiune și torsiune la care sunt supuse acestea.

Apăsarea pe sapă variază în funcție de teoria rocilor traversate, fiind direct proporțională cu creșterea acesteia. Forța de apăsare pe capul tăietor se determină cu relația:

$$F_s = F_{cp} - \sum_i F_{fi} - F_{tes} \quad (1)$$

unde:

F_{cp} este forța dezvoltată de cei doi cilindri hidraulici de propulsie;

$\sum_i F_{fi}$ – suma forțelor de frecare dintre pereții galeriei și suportii tavan centrali și laterali ai instalației

$$\sum_i F_{fi} = F_{f1} + F_{f2} + F_{f3} \quad (2)$$

în care:

F_{f1} este forța de frecare ce ia naștere între suportul tavan central și pereții galeriei (fig. 2);

F_{f2} – forța de frecare ce ia naștere între suportii laterali și pereții galeriei (fig. 3) ;

F_{f3} – forța de frecare ce ia naștere între împingători laterali și pereții galeriei (fig. 4);

F_{tes} – forța de tractare a echipamentului spate.

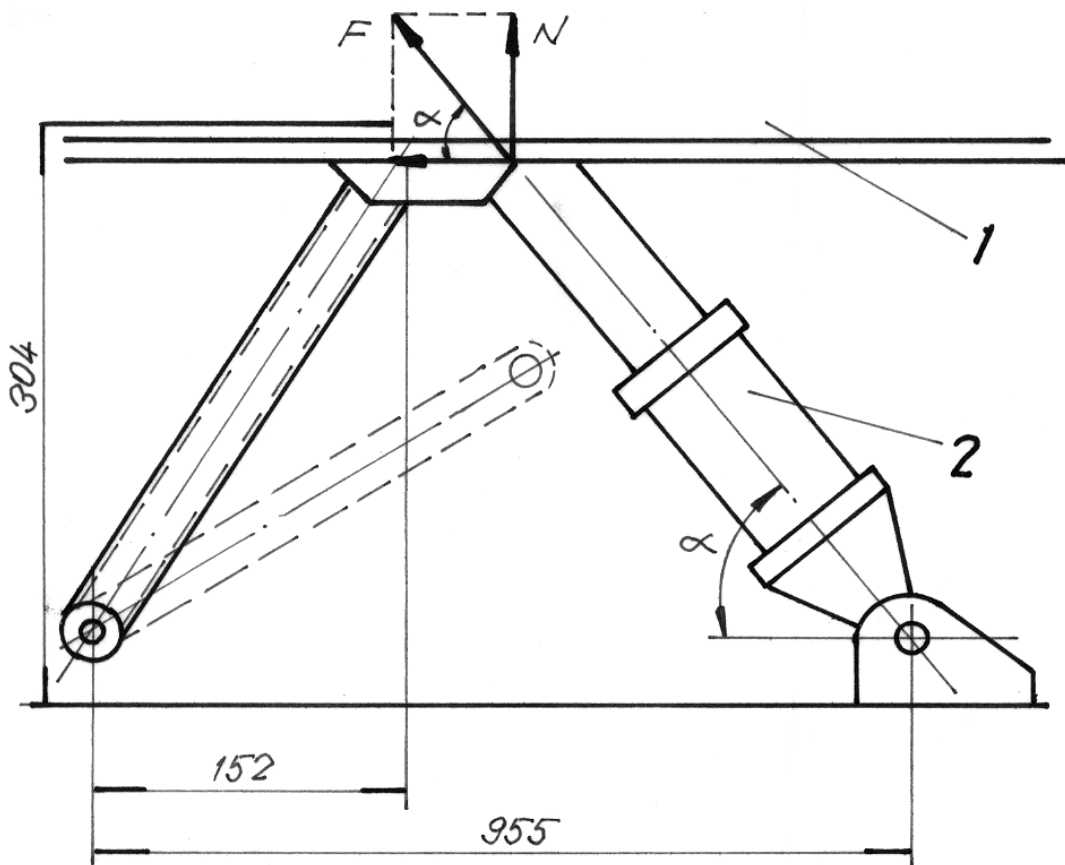


Figura 2. Schema de calcul pentru determinarea forței de frecare dintre suportul tavan central și pereții galeriei: 1– suport tavan central; 2 – cilindru hidraulic; F – forța dezvoltată de cilindru hidraulic; N – forța normală.

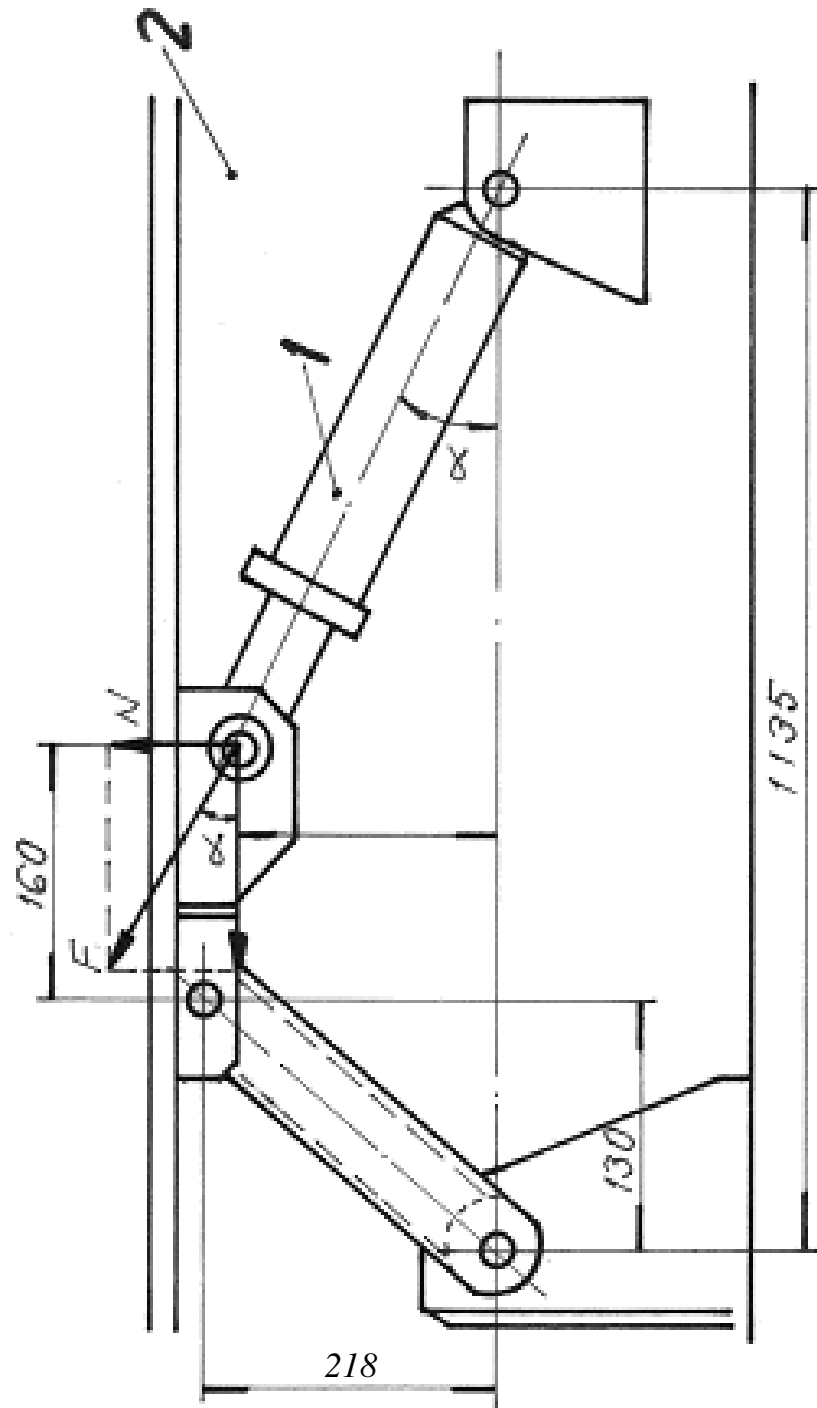


Figura 3. Schema de calcul pentru determinarea forței de frecare dintre suportul lateral și pereții galeriei: 1 – cilindru hidraulic; 2 – suport lateral.

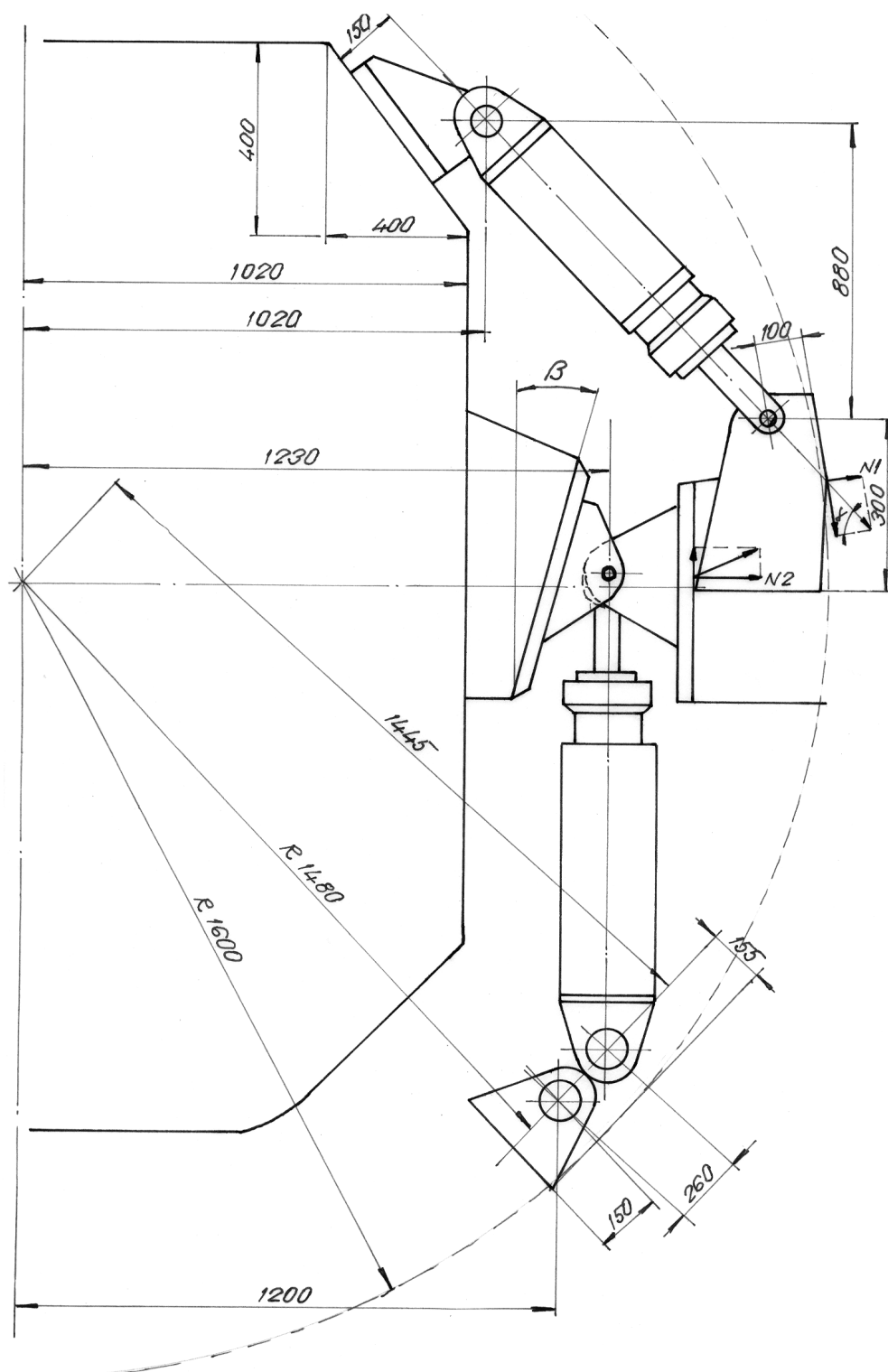


Figura 4. Schema de calcul pentru determinarea forței de frecare dintre împingătorii laterali și pereții galeriei.

3.2 TURAȚIA CAPULUI TĂIETOR

Capul tăietor are fața frontală formată dintr-o placă sferică (bombată), cu rază mare de curbură pe care sunt fixate, pe suporturi demontabile, un număr de role. Sapa este un disc tăietor continuu, cu diametrul D_f și cu unghi de înclinare al fețelor $\alpha = 60^\circ$. Distribuția discurilor tăietoare pe fața scutului trebuie să îndeplinească trei condiții:

- să asigure concentricitatea galeriei; această condiție se realizează prin patru discuri dispuse pe periferia scutului și decalate la 90° ;
- să nu se creeze miez la mijlocul galeriei; această condiție se realizează prin așezarea a patru discuri cu axele în prelungire pe un diametru în poziție centrală;
- să nu se creeze coroane de teren cu lățimi prea mari; această condiție se realizează prin distribuirea discurilor în așa fel încât între șanțurile formate de un disc în rotire să nu rămână spații cu lățimi prea mari. Aceste spații depind de tăria rocii; mai mici pentru roci tari (15...17 mm). Diametrul unei role în formă de disc rezultă din încărcarea admisibilă a ei. Viteza discului trebuie să fie în general mai mică de 2,5m/s.

Rolele unei sape cu diametru mare sunt supuse la turații diferite, turații ce cresc pe măsura creșterii diametrului pe care sunt amplasate pe fața sapei.

Turația unei role $n_{1,2,\dots,9}$, amplasate pe diametrul $D_{s1,2,3,\dots,9}$, se calculează cu expresia:

$$n_{1,2,\dots,9} = n \frac{D_{s1,2,3,\dots,9}}{D_{s1}}, \quad (3)$$

unde D_{s1} este diametrul corespunzător turației n a sapei. Această variație de turație a rolor combinată cu apăsarea pe sapă (considerată constantă pe fiecare rolă) conduce la uzuri diferite ale acestora, accentuate la rolele de pe diametrul exterior. Pornind de la acest aspect firma Huges Tool Co.- SUA, recomandă ca viteza periferică a unei role să fie limitată la maximum 90 m/min.

Ținând cont de aceasta turația corpului tăietor se poate determina cu relația:

$$n = \frac{90}{D_s}, \quad (4)$$

unde D_s este diametrul capului tăietor exprimat în metri.

Pentru reducerea atât a uzurii lagărelor rolor cât și a uzurii rolor în terenuri abrazive, se recomandă următoarea relație:

$$n = \frac{36,5}{D_s}. \quad (5)$$

Turația minimă admisibilă se determină din relația:

$$n = \frac{36,5}{2D_s}. \quad (6)$$

Această variație a turației este în funcție de apăsarea pe sapă, deci și de tăria rocilor traversate, respectiv de tipul constructiv al sapei (ambele coroborate cu puterea instalată pentru acționarea capului tăietor).

3.3 MOMENTUL DEZVOLTAT DE CAPUL TĂIETOR

Pornind de la puterea necesară pentru săparea unei unități de volum de rocă cu o anumită valoare a vitezei de avansare, diferite firme exprimă momentul de torsiune printr-o expresie empirică de forma:

$$M_t = C_u k D_s^{2.5} w^{1.5}, \quad (7)$$

unde:

C_u este o constantă în funcție de unitățile de măsură ;

k – coeficientul de forabilitate a rocilor ;

D_s – diametrul sapei;

w – apăsarea specifică pe sapă.

La capetele tăietoare ce folosesc role disc, pentru calculul momentului de torsiune se poate utiliza expresia:

$$M_t = 29,5 D_s F_s^{1.5} k, \quad [\text{kN}\cdot\text{m}] \quad (8)$$

unde:

D_s este diametrul sapei, [m];

F_s – apăsarea pe sapă, [kN];

k – coeficientul de forabilitate a rocilor.

4. APLICATIE NUMERICĂ

Instalația FGO 32 are următoarele caracteristici:

Diametrul de săpare, $D_s = 3,2$ m; numărul de role ale capului tăietor, $n_r = 26$ (4×12 inch + 22×14 inch); puterea de antrenare a capului tăietor, 4×90 kW; raportul de reducere al turației motoarelor electrice, $i = 27$; apăsarea pe rolă, $F_r = 140$ kN; sistemul de evacuare a detritusului, patru cupe perimetrare de $0,09$ m³; capacitatea de evacuare a detritusului, 70 m³/oră; sistemul de umectare a frontului de lucru, 7 duze; momentul maxim la capul tăietor, $M_{tM} = 400$ kN·m; apăsarea maximă pe capul tăietor, $F_{sM} = 678$ kN; puterea instalată, $P_i = 1200$ kW; cursa pentru un pas forat, $S = 1,2$ m; raza minimă de curbură, $r_m = 150$ m; lungimea instalației, $l = 12$ m (fără instalația de evacuare a detritusului); masa instalației, $m \cong 140$ tone; coeficientul de frecare dintre rocă și oțel, $\mu = 0,4$; forța de tractare a echipamentului spate, $F_{tes} = 400$ kN; coeficientul de forabilitate în roci tari, $k = 8 \cdot 10^{-5}$.

O serie de elemente pentru calculul lui F_s au fost determinate experimental pe instalația FGO 32 la T.A.G.C.H. Criș-Someș, brigada Colibița:

- presiunea de lucru în cilindrii hidraulici de propulsie,
 $p_{ip} = (6..7)$ MPa;
- presiunea de lucru în cilindrul hidraulic suport tavan central,
 $p_1 = (5..6)$ MPa;
- presiunea de lucru în cilindrul hidraulic suport tavan lateral,
 $p_2 = (5..6)$ MPa;

- presiunea de lucru în cilindrul hidraulic lateral de împingere,

$$p_3 = (5...7) \text{ MPa.}$$

În urma calculelor au rezultat următoarele valori pentru parametrii regimului de foraj:

$$F_{cp} = 1759,2 \text{ KN}; F_{f1} = 19,2 \text{ KN}; F_{f2} = 27,0 \text{ KN}; F_{f3} = 140,2; F_s = 1172,8 \text{ KN}; n = 9 \text{ rot/min};$$

$$M_t = 303,8 \text{ KN}\cdot\text{m.}$$

5. CONCLUZII

Instalațiile de forat galerii orizontale asigură o calitate superioară galeriilor realizate.

Poziția mașinii poate fi controlată permanent prin dirijarea acesteia folosind un sistem de ghidare cu laser Heliu-Neon.

Prin complexitatea lor și tehnologia de execuție, acestor instalații li se asigură o fiabilitate corespunzătoare.

Relația de calcul a momentului de torsiune de la capul tăietor are un anumit grad de aproximare datorită absenței unor măsurători directe în șantier.

BIBLIOGRAFIE

[1] **Costin, I.**, Utilaj petrolier – Elemente de calcul, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1986.

[2] **Iordache, G.** s.a., Forarea sondelor cu diametre mari; Editura Tehnică, București, 1983.

[3] **Radu, L.**, Instalația de forat orizontal galerii de diametru mare, Sesiune jubiliară „50 de ani de activitate cercetare – proiectare în domeniul utilajului petrolier și al armăturilor industriale,” 16-17 septembrie, 2004, Ploiești.

[4] **Săvulescu, P. Pană, I.**, Dinamica instalațiilor de forat galerii orizontale, Buletinul Universității Petrol-Gaze din Ploiești, vol. XLVIII, nr. (1995-1998), Ploiești, 1998.

[5] **Săvulescu, P., Pană, I.**, Aspecte ale dinamicii instalațiilor de forat galerii orizontale, vol. II. Mecanică, „25 de ani de învățământ tehnic arădean”, 30-31 septembrie 1997, Arad.

[6] ***** Documentație IPCUP Ploiești.