

MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ

Ing. BĂDIȚĂ (POPESCU) DORINA

TEZĂ DE DOCTORAT

**CERCETĂRI PRIVIND CREȘTEREA GRADULUI DE
MECANIZARE ÎN PROCESELE TEHNOLOGICE DE
EXECUȚIE A LUCRĂRILOR MINIERE**

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT

Prof.univ.dr.ing. NAN MARIN-SILVIU

PETROȘANI, 2017

CUPRINS

INTRODUCERE	5
CAPITOLUL I CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND CONDIȚIILE DE EXECUȚIE A PUȚULUI DE DEZAERARE NETIȘ DIN CADRUL AMENAJĂRII HIDROTEHNICE RÂUL MARE	7
1.1. Amplasarea incintei puțului de dezaerare	7
1.2. Topografia terenului	10
1.3. Clima și fenomenele naturale specifice zonei	10
1.4. Geologia și seismicitatea	11
1.5. Condiții impuse pentru construcția puțului de dezaerare	12
1.6 Concluzii	14
CAPITOLUL II PROCESUL TEHNOLOGIC DE EXECUȚIE A PUȚULUI DE DEZAERARE NELTIȘ	15
2.1. Tehnologia de săpare a puțului	15
2.2. Calculul parametrilor de perforare împușcare	27
2.3. Aerajul lucrării de săpare a puțului	38
2.4 Concluzii	40
CAPITOLUL III INSTALAȚIA DE EXTRAȚIE UTILIZATĂ PENTRU CREȘTEREA GRADULUI DE MECANIZARE A SĂPĂRII PUȚULUI	42
3.1. Condiții suplimentare privind echiparea instalațiilor de extracție utilizate la săparea puțurilor	42
3.2. Construcția de ansamblu a instalației de extracție utilizată la săparea puțului de dezaerare	43
3.3. Caracteristicile tehnice principale ale instalației de extracție	50
3.4. Alegerea, dimensionarea și stabilirea soluțiilor tehnice pentru subansamblurile componente ale instalației de extracție	52
3.4.1. Alegerea chiblei	52
3.4.2. Alegerea carabinei	53
3.4.3. Alegerea dispozitivului de legare a cablului	54
3.4.4. Calculul și alegerea cablului de extracție	55
3.4.5. Alegerea mașinii de extracție	58
3.4.6. Construcția turnului de extracție și a sistemului de ancorare	60
3.4.7. Construcția și calculul de verificare a moletei de extracție	63
3.4.8. Soluția constructiv-funcțională a sistemului de ghidare a chiblei	67
3.4.9. Construcția instalației pentru susținerea podului mobil	69
3.4.10. Soluția constructiv-funcțională a podului de descărcare	70
3.4.11. Construcția podului de siguranță fix 1 de la gura puțului	73
3.4.12. Construcția podului de siguranță fix 2 amplasat în puț	75
3.4.13. Soluția constructiv-funcțională a podului mobil de lucru	77

3.5. Tehnologia de lansare și montare a podurilor	80
3.6. Concluzii	83
CAPITOLUL IV CINEMATICA ȘI DINAMICA INSTALAȚIEI DE EXTRACȚIE UTILIZATĂ PENTRU SĂPAREA PUȚULUI DE DEZAERARE	
4.1. Considerații generale	85
4.2. Cinematica instalației de extracție	86
4.2.1. Stabilirea datelor de intrare necesare pentru calculul cinematic..	86
4.2.2. Determinarea parametrilor cinematici	87
4.3. Dinamica instalației de extracție	95
4.3.1. Ecuația dinamică generală a instalației de extracție cu chiblă	95
4.3.2. Variația forțelor și a puterilor de acționare	101
4.4. Determinarea încărcării lagărelor molettei de extracție	107
4.5. Concluzii	114
CAPITOLUL V DETERMINAREA SOLICITĂRILOR ȘI DEFORMAȚIILOR ÎN TURNUL INSTALAȚIEI DE EXTRACȚIE.....	
5.1. Considerații generale	116
5.2. Calculul analitic al turnului instalației de extracție	116
5.2.1. Determinarea forțelor ce acționează asupra turnului	118
5.2.2. Stabilirea caracteristicilor geometrice ale secțiunilor critice ale turnului	121
5.2.3. Determinarea încărcării structurii metalice a turnului	125
5.2.4. Determinarea tensiunilor în structura metalică a turnului	130
5.2.5. Determinarea coeficienților de siguranță și interpretarea rezultatelor	133
5.2.6. Verificarea dispozitivului de întindere a cablurilor sistemului de ancorare	133
5.3. Analiza a tensiunilor și deformațiilor în structura metalică a turnului folosind Cosmos Design Star	137
5.4. Analiza pe baza elementului finit a tensiunilor și deformațiilor structurii metalice a turnului folosind Abaqus	143
5.5. Concluzii	156
CAPITOLUL VI CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	
6.1. Concluzii generale	157
6.2. Contribuții personale	163
BIBLIOGRAFIE	165
ANEXA	1/19

În această lucrare se urmărește, în principal, conceperea unei instalații de extracție, care prin execuție și utilizare, să conducă la creșterea gradului de mecanizare a lucrărilor de săpare a puțului de dezaerare Netiș din cadrul complexului hidroenergetic Râul Mare. Executarea puțului rezultă din necesitatea măririi capacității de dezaerare a captării secundare Netiș, care introduce în lucrările subterane o cantitate considerabilă de aer, cu consecințe negative asupra curgerii în galeria principală de aducțiune a apei în sala turbinelor

În primul capitol sunt prezentate condițiile generale legate de execuția puțului vertical de dezaerare Netiș, care este amplasat pe malul stâng al râului Netiș, la circa 300 m aval de captarea Netiș, la circa 3,6 km aval de casa vanelor și la circa 14,9 km amonte de racordul galeriei principale de aducțiune cu castelul de echilibru.

Amplasarea puțului de dezaerare, cu un diametru interior final de 2,6 m, este impusă de dispunerea camerei inferioare a aducțiunii secundare Netiș și a galeriei principale de aducțiune, precum și de puțul de dezaerare existent, care este un puț tubat cu diametrul de 245 mm.

Coloana stratigrafică rezultată în urma forajului geologic, precum și lucrările subterane executate, demonstrează existența rocilor cu tărie mare, care impune aplicarea procedurii de perforare pușcare la execuția puțului.

De asemenea, în acest capitol mai sunt prezentate topografia terenului, clima și fenomenele naturale specifice zonei, geologia și seismicitatea, precum și utilitățile necesare pentru executarea puțului. Se remarcă existența unui amplasament de 625 m², limitat de condițiile de teren (versanți, prăpastie), care reprezintă o suprafață mică, cu influențe majore în adoptarea soluției constructive a instalației de extracție.

În capitolul II este prezentată tehnologia de săpare a puțului de dezaerare Netiș.

Puțul vertical de dezaerare Netiș este conceput și realizat la un diametru de săpare de 3100 mm (diametrul exterior al puțului), și un diametru interior final, după betonare, de 2600 mm, cu excepția primilor cinci m care reprezintă gulerul puțului și care au diametrele exterioare de 4100 mm, respectiv 3600 mm. Adâncimea puțului, de la suprafață la camera inferioară a aducțiunii secundare Netiș este de 114 m.

Săparea puțului se realizează descendent, integral, pe toată înălțimea până la joncțiunea cu camera inferioară, concomitent cu susținerea provizorie în cintre, după

care se face betonarea, ascendent până la guler.

Săparea se realizează în funcție de natura și tăria rocilor traversate, prin perforare împușcare pe tronsoane de câte un m , pe porțiunile 3 ... 35 și 42 ... 114 m , și cu ciocane de abataj CA-14 în zona de falie, a cărei interceptare se face la cota 35 m și continuă până la 42 m . Perforarea găurilor se realizează cu perforatorul rotopercutant P-90.

Pentru mecanizarea operației de încărcare a materialului derocat în frontul de lucru, se utilizează încărcătorul pneumatic cu greifer tip KS-3, acționat de un troliu pneumatic tip LPPG, cu ajutorul cărora se realizează o productivitate de 11 m^3/h . Imediat după încărcarea și evacuarea rocii derocate, pereții puțului se asigură cu susținere provizorie din cintre metalice din profil U120, așezate la un m distanță (între axe), care se răpesc la betonare, iar în zona faliei, acestea se dispun în desiş la 0,2 m distanță și pentru siguranță nu se răpesc la betonare.

Susținerea definitivă a puțului se realizează cu beton monolit marca B – 300, betonarea executându-se de jos în sus, de la camera inferioară până la gulerul puțului.

Schema de amplasare a găurilor de mină, numărul, lungimea, și gradul de încărcare a acestora, cantitatea de exploziv pentru fiecare gaură, precum și pentru un salt, se stabilesc în funcție de caracteristicile rocilor din frontul de lucru, de mărimea secțiunii transversale suprafeței în săpare și de caracteristicile explozibilului utilizat.

Calculul parametrilor de împușcare s-a realizat pentru patru situații distincte, delimitate de coeficientul de tărie a rocilor și suprafața secțiunii de săpare. La săparea puțului de dezaerare se folosește împușcarea cu sâmbure piramidal concentric, găurile de rupere și profilare fiind amplasate concentric în jurul găurilor de sâmbure.

Determinarea parametrilor de împușcare presupune calculul pentru: consumul specific de exploziv; numărul total de găuri de mină pe un salt; lungimile găurilor de sâmbure, rupere și profilare; diametrul unei găuri; diametrele cercurilor pentru cele trei tipuri de găuri; numărul de găuri pentru fiecare cerc; cantitatea de exploziv pe tipuri de găuri; coeficienții de încărcare a găurilor; cantitatea reală de exploziv pe gaură și pe ciclu de săpare.

În capitolul III este prezentată instalația de extracție echipată cu chiblă, utilizată pentru creșterea gradului de mecanizare a lucrărilor de săpare a puțului de dezaerare

Netiș, în strânsă legătură cu asigurarea condițiilor de siguranță în lucru, impuse de normele de securitate a muncii, care sunt foarte restrictive pentru execuția lucrărilor de acest gen.

Instalația de extracție utilizată pentru săparea puțului vertical de dezaerare Netiș reprezintă o instalație secundară, echipată cu chiblă, cu un singur cablu de extracție, neechilibrată, cu organ de înfășurare a cablului cu rază constantă sub formă de tobă, cu mașina de extracție amplasată pe sol, cu acționare cu motor asincron și cu turn de extracție metalic ancorat prin cabluri, fără contrafort.

Sunt prezentate instalația de extracție în ansamblu, precum și principalele subansambluri componente, fiecare construcție fiind însoțită de justificarea alegerii și de calculul de verificare, în funcție de condițiile specifice regăsite la săparea puțului.

Comparativ cu o instalație de extracție clasică echipată cu colivii sau schip, utilizată pentru transportul de materiale sau personal, la instalația pentru săparea puțului de dezaerare apar o serie de particularități constructiv-funcționale care sunt determinate de:

- necesitatea utilizării a trei poduri, două de siguranță fixe, unul la gura puțului și al doilea la o adâncime de 20 m, și a unui pod mobil de siguranță și de lucru, care urmărește frontul de lucru la o distanță de 25 m;

- suprafața de teren avută la dispoziție pentru montarea unei instalații de extracție clasice este mică, având în vedere dispunerea ei în zona montană, fiind impusă de dispunerea galeriei de aducțiune din subteran, motiv pentru care s-a adoptat soluția de ancorare a turnului cu două cabluri, renunțându-se la contraforturile clasice;

- instalația de extracție utilizată pentru săparea puțului reprezintă o instalație provizorie, ea se demontează după finalizarea lucrărilor, motiv pentru care se urmărește utilizarea de elemente și subansambluri tipizate, reutilizarea subansamblurilor și componentelor existente folosite la alte lucrări (turn, mașină de extracție, cabluri, chiblă, molete, dispozitiv de legare a cablului, carabină, trolii, generator de curent, compresor, ventilator etc.), care sunt disponibile, și care în prealabil sunt verificate, așa după cum este cazul cablului de extracție care trebuie să fie însoțit, foarte strict, de buletinul de analiză și de precizarea condițiilor de utilizare anterioară.

Cinematica instalației de extracție cu chiblă utilizată pentru mecanizarea săpării puțurilor este influențată în cea mai mare parte de soluția constructivă de ansamblu a instalației, în principal de existența podurilor de lucru și siguranță prin care chibla trebuie să treacă cu viteză redusă ($0,5 \text{ m/s}$), de modalitatea de acționare cu troliu cu o singură tobă, astfel încât la cursa ascendentă a chiblei cablu se înfășoară pe tobă, cursa descendentă realizându-se sub greutate proprie, precum și de modalitatea de descărcare a chiblei, care trebuie supraînălțată deasupra podului de descărcare aflat la 8 m deasupra nivelului solului, pentru asigurarea legăturii pentru răsturnare, urmată de manevre de golire și re poziționare a acesteia.

Tahograma este complicată, fiind constituită din șapte trepte, cu spații și timpuri mici, ceea ce îngreunează considerabil manevrarea pe traseul de transport, întrucât intervin multe intervale de accelerare și frânare. Datorită acestei configurații a tahogramei crește importanța indicatoarelor de nivel existente pe traseul de transport, care semnalizează poziția chiblei în puț, sau chiar oprirea instalației în caz de avarie.

Pentru trasarea tahogramei reale este utilizat calculul tabelar iterativ specific utilitarului informatic Excel, care permite inclusiv reprezentări grafice de acuratețe, influențate de baza de timp folosită de $0,005 \text{ s}$.

Dinamica instalației de extracție cu chiblă presupune determinarea ecuației dinamice generale, precum și stabilirea variației forțelor reduse la periferia organului de înfășurare a cablului și a puterilor necesare de acționare.

Ecuația dinamică generală a instalației cu chiblă, dedusă pe baza forțelor statice, dinamice și de frecare, diferă în esență față de o instalație clasică cu schip sau colivii, datorită, în principal, specificității antrenării tobei motoare, la care motorul de acționare efectuează lucru mecanic numai la cursa ascendentă, la cursa descendentă acesta lucrând în regim de frânare. Ecuația dinamică stabilește forța din cablu de extracție în funcție poziția vasului de extracție în puț, masele elementelor instalației și a materialului transportat aflate în mișcare, precum și a accelerațiilor de pornire și frânare.

În capitolul V este efectuat calculul de verificare a structurii metalice a turnului metalic al instalației de extracție, atât prin calcul analitic, cât și prin metoda elementului finit.

Structura metalică a turnului de extracție este modelată ca un cadru plan, care reprezintă un sistem static simplu nedeterminat, încărcat cu forțele tehnologice ce apar în cablu de extracție și cu forțele masice date de greutatea turnului.

Forțele tehnologice maxime, aplicate în centrul de simetrie a moletei de extracție sunt calculate pentru două situații, un prim caz, pentru transportul cu chibla a rocii sau materialelor, iar al doilea, pentru lansarea sau scoaterea podului mobil de lucru. Având în vedere importanța instalației, normele de securitate impun un coeficient de siguranță de peste 3, mai ales că se efectuează și transport de personal, astfel încât în calcule se adoptă un coeficient dinamic de 1,6 cu care se multiplică modulul forțelor tehnologice utilizate în calculul structurii metalice.

Greutatea turnului este definită de vectorul orientat după axa z , având modulul ca sumă a greutăților elementelor componente, iar punctul de aplicație calculat în funcție de centrele de greutate a elementelor componente.

Prin rezolvarea sistemului static simplu nedeterminat utilizând procedeul Mohr-Maxwell-Veresciaghin se determină forțele axiale, forțele tăietoare și momentele încovoietoare pe întreg conturul cadrului, precum și forțele introduse în cablurile de ancorare. Determinarea încărcărilor pe conturul cadrului s-a efectuat pentru diferite puncte de amplasare a legăturilor cablurilor de ancorare de structura metalică a turnului, ajungându-se la concluzia că încărcările scad odată cu creșterea înălțimii de ancorare.

Caracteristicile geometrice ale secțiunilor critice a structurii metalice a turnului se obțin prin utilizarea utilitarului Solid Edge, care permite citirea directă a momentelor de inerție și a modulelor de rezistență față de axele orizontale x și y , precum și aria secțiunilor și distanțele maxime până la fibra medie.

Cunoscând încărcările și caracteristicile geometrice ale secțiunilor critice, prin aplicarea teoriilor specifice solicitărilor compuse se determină tensiunile în structura metalică a turnului, și implicit coeficienții de siguranță. Calculele efectuate arată valori ale coeficienților de siguranță la valori peste valorile admisibile, chiar foarte mari pentru cazul transportului materialului cu chibla, care este cazul cel mai frecvent întâlnit pe durata de utilizare a instalației, ceea ce demonstrează că turnul este supradimensionat.. Calculele efectuate arată că platforma superioară a turnului pe care

se montează moleta de extracție și cele patru molette de conducere a cablurilor de ghidare a chiblei, nu rezistă dacă este confecționat din OL 37, ca restul turnului, fiind necesar să se adopte un oțel superior, OL52, evident pentru cazul în care solicitările sunt determinate de lansarea podului mobil.

Tensiunile maxime în structura de rezistență a turnului apar în zona platformei superioare, acest lucru fiind demonstrat și prin aplicarea metodelor de studiu a solicitărilor și deformațiilor cu ajutorul elementelor finite folosind utilitarele Cosmos Design Star și Abaqus.

Utilizarea unei discretizări mai fine, prin luarea în considerare a profilelor L160 și L100, a ecliselor, a bridelor de legătură dintre tronsoane și a elementelor de legătură, rezultă o structură formată dintr-un număr foarte mare de noduri și elemente, care nu poate fi prelucrată cu un calculator uzual. Modelarea cu ajutorul acestui program s-a realizat pentru primul tronson al turnului, încărcat cu sarcinile reale, date de forțele tehnologice aplicate la lansarea podului mobil, forțele din cabluri pentru aceeași situație, precum și greutatea turnului. Modelarea efectuată arată că eforturile maxime apar în zona de încastrare în fundație, însă valorile sunt sub cele admisibile.

În urma elaborării prezentei lucrări s-au desprins o serie de contribuții personale cu caracter original, care vor fi prezentate în continuare.

1. Conceperea unei instalații de extracție secundare, echipată cu chiblă, cu un singur cablu de extracție, neechilibrată, cu organ de înfășurare a cablului cu rază constantă sub formă de tobă, cu mașina de extracție amplasată pe sol, cu acționare cu motor asincron și cu turn de extracție metalic ancorat prin cabluri, fără contrafort, instalație care este utilizată pentru creșterea gradului de mecanizare a săpării puțului Netiș. Complexitatea instalației rezultă din condițiile montane dificile în care aceasta este amplasată și exploatată, cu respectarea întocmai a condițiilor de asigurare a siguranței în funcționare.
2. Studiul cinematicii instalației de extracție care are ca rezultat stabilirea tahogramei de deplasare a chiblei, și care prezintă multe particularități datorită soluției constructive a instalației de extracție, prin existența celor trei poduri de siguranță și lucru prin care se limitează viteza și accelerația. Tahograma diferă considerabil față de aceea a unei instalații clasice de

transport pe verticală, tratarea acesteia ne fiind regăsită în literatura de specialitate.

3. Studiul dinamicii instalației de extracție, care, de asemenea diferă esențial față de o instalație clasică, datorită particularităților constructive a acționării. Studiul dinamicii presupune stabilirea ecuației dinamice generale specifică instalației echipată cu vas de extracție sub formă de chiblă, a variației forțelor din cablu reduse la periferia organului de înfășurare și a variației puterii de acționare, la care se adaugă variația unghiului de deviere laterală a cablului la înfășurarea pe toba motoare, precum și valoarea forțelor axiale ce acționează asupra lagărelor moletei de extracție.
4. Stabilirea parametrilor de împușcare pentru cele patru tronsoane regăsite la săparea puțului, definite de coeficientul de tărie a rocilor și de suprafața secțiunii de săpare.
5. Analiza încărcării turnului de extracție modelat ca un cadru plan simplu static nedeterminat, care permite determinarea forțelor tehnologice aplicate în centrul moletei de extracție, a greutateii turnului și a punctului de aplicație a acestei forțe, a forțelor introduse în cablurile de ancorare a turnului, precum și a încărcărilor pe contur date de forțele tăietoare, forțele axiale și momentele încovoietoare. Toate aceste mărimi sunt stabilite pentru două situații distincte, la deplasarea chiblei la transportul materialului în timpul procesului de săpare a puțului, respectiv la lansarea podului mobil de protecție și lucru.
6. Verificarea structurii de rezistență a turnului pe baza încărcărilor stabilite și a caracteristicilor secțiunilor critice obținute în urma modelării turnului utilizând utilitarul Solid Edge, care presupune determinarea tensiunilor în turn, împreună cu coeficienții de siguranță aferenți.
7. Verificarea rezistenței structurii metalice a turnului de extracție utilizând metoda elementului finit, utilizând două programe, Cosmos Design Star, respectiv Abaqus, și compararea rezultatelor pentru cele două situații.
8. Utilizarea programului de calcul Mathcad pentru efectuarea calculelor structurii metalice a turnului, ceea ce a permis modelarea ușoară și precisă a

diferitelor variante de soluții tehnice luate în studiu.

9. Utilizarea utilitarului Excel pentru calculul tabelar a parametrilor cinematici și dinamici ai instalației de extracție, inclusiv pentru trasarea diagramelor de variației a acestor parametrii.
10. Utilizarea sistemului de proiectare asistată de calculator Solid Edge pentru modelarea 3D a molei și a turnului de extracție.