



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI

ȘCOALA DOCTORALĂ

DOMENIUL DE DOCTORAT: MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT

- REZUMAT -

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:

Prof.univ.habil.dr.ing. Popescu Florin Dumitru

STUDENT DOCTORAND:

Ing. Popescu Valentin



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI

ȘCOALA DOCTORALĂ

DOMENIUL DE DOCTORAT: MINE, PETROL ȘI GAZE

**MODELAREA ȘI SIMULAREA REGIMULUI
TERMIC AL FRÂNELOR CU DISCURI LA
FRÂNAREA DE URGENTĂ A INSTALAȚIILOR
DE EXTRACȚIE**

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:

Prof.univ.habil.dr.ing. Popescu Florin Dumitru

STUDENT DOCTORAND:

Ing. Popescu Valentin

CUPRINS

INTRODUCERE

CAPITOLUL 1

PREZENTAREA GENERALĂ A INSTALAȚIILOR DE EXTRACȚIE	12
1.1 Clasificarea și ansamblul constructiv a instalațiilor de extracție	12
1.2 Criteriile de clasificare ale mașinilor de extracție	14
1.3 Sistemul de frânare al mașinilor de extracție	17
1.4 Sistemele de frânare cu saboți și obadă	17
1.5 Sistemele de frânare cu paduri și discuri	19

CAPITOLUL 2

SIMULAREA ȘI MODELAREA NUMERICĂ A CINEMATICII ȘI A DINAMICII INSTALAȚIILOR DE EXTRACȚIE MULTICABLU	21
2.1 Simularea numerică a cinematiei instalațiilor de extracție multicablu cu ajutorul aplicației SOLIDWORKS	21
2.1.1 Crearea modelului ansamblului pentru simularea cinematiei	21
2.1.2 Trasarea tahogramei trapezoidale (tahograma cu trei faze)	24
2.1.3 Trasarea tahogramei cu trei faze pentru acționarea cu motor de curent continuu	25
2.1.4 Trasarea tahogramei în cinci faze cu accelerație variabilă în faza a doua .	26
2.1.5 Trasarea tahogramei parabolice în două faze	26
2.1.6 Trasarea tahogramei sinusoidale în două faze	27
2.1.7 Trasarea tahogramei cu două faze având o variație sinusoidală a accelerației	28
2.1.8 Trasarea tahogramei parabolice cu limitarea vitezei	29
2.1.9 Trasarea tahogramei în șapte faze având accelerații constante	30
2.2 Simularea numerică a cinematiei instalațiilor de extracție multicablu cu ajutorul aplicației COMSOL Multiphysics	31
2.2.1 Trasarea tahogramei trapezoidale pentru acționarea cu motor asincron ...	32
2.2.2 Trasarea tahogramei cu șapte faze cu accelerații constante	33
2.2.3 Trasarea tahogramei parabolice cu limitarea vitezei	36
2.2.4 Trasarea tahogramei cu două faze având variația sinusoidală a accelerației	38
2.2.5 Trasarea tahogramei triunghiulare	39
2.3 Simularea numerică a dinamicii instalațiilor de extracție multicablu cu ajutorul aplicației SOLIDWORKS	42
2.3.1 Calculul forțelor și a puterilor pentru instalațiile de extracție acționate cu motor asincron	43
2.3.2 Calculul forțelor și a puterilor instalațiilor de extracție acționate cu motor de curent continuu	45

2.3.3	Calculul forței și a puterii pentru tahograma cu trei faze având o variație trapezoidală a accelerației	45
2.3.4	Calculul forței și a puterii pentru tahograma sinusoidală în două faze	46
CAPITOLUL 3		
ANALIZA REGIMULUI DINAMIC AL ELEMENTULUI DE EXECUȚIE AL SISTEMULUI DE FRÂNARE CU DISCURI		48
3.1	Prezentarea caracteristicilor tehnice ale mașinii de extracție și a soluției de montare a discurilor de frânare	48
3.1.1	Caracteristicile elementului hidraulic de execuție	49
3.1.2	Acționarea și comanda elementelor de execuție ale sistemului de frânare	51
3.1.3	Forța de apăsare dezvoltată de un element de frânare	54
3.2	Analiza modelului matematic pentru un element de execuție	54
3.3	Calculul parametrilor hidraulici ai elementului de execuție	62
3.4	Analiza regimului tranzitoriu al elementului de execuție	64
CAPITOLUL 4		
NOȚIUNI TEORETICE REFERITOARE LA TRANSFERUL CĂLDURII		72
4.1	Conducția termică	72
4.2	Radiația termică	74
4.3	Transferul căldurii către fluide	75
4.3.1	Convecția naturală	75
4.3.2	Transmisivitatea și puterea specifică considerate mărimi globale	77
4.4	Transferul căldurii între corpuri solide limitate de plane paralele	77
4.5	Regimul termic specific frânelor mașinilor de extracție	79
4.5.1	Considerații teoretice	79
4.5.2	Calculul regimului termic al frânelor prin metode numerice	81
4.5.3	Premize de calcul a regimului termic al sistemului de frânare cu discuri ..	83
4.5.4	Caracteristicile sistemului de frânare	86
CAPITOLUL 5		
SIMULAREA REGIMULUI TERMIC ÎN CAZUL FRÂNĂRII DE URGENȚĂ A INSTALAȚIILOR DE EXTRACȚIE MULTICABLU ECHIPATE CU SISTEME DE FRÂNARE CU DISCURI CU APLICAȚIA SOLIDWORKS		88
5.1	Modelul virtual al roții motoare echipate cu discuri de frânare	88
5.1.1	Realizarea tobei modelului virtual	88
5.1.2	Realizarea discurilor de frânare	90
5.1.3	Construcția ansamblului organului virtual pentru antrenarea cablurilor ..	91
5.2	Simularea regimului termic pentru frânarea de urgență	92
5.2.1	Solicitările termice – stabilirea tipului de simulare	92
5.2.2	Discretizarea organului virtual de antrenare, rezultatele simulării	94

CAPITOLUL 6	
SIMULAREA REGIMULUI TERMIC ÎN CAZUL FRÂNĂRII DE URGENȚĂ A INSTALAȚIILOR DE EXTRACȚIE MULTICABLU ECHIPATE CU SISTEME DE FRÂNARE CU DISCURI CU APLICAȚIA COMSOL	113
6.1 Construirea modelului tobei motoare pentru mașina de extracție MK5x2	113
6.2 Simularea regimului termic al frânelor cu discuri la instalațiile de extracție multicablu în cazul frânării de urgență	114
6.2.1 Parametrii simulării	115
6.2.2 Proprietățile materialelor din care este constituit modelul	117
6.2.3 Geometria cu elemente finite	121
6.3 Rezultatele simulării	122
CONCLUZII	150
ANEXA 1.....	159
BIBLOGRAFIE	161

În procesul de exploatare a substanțelor minerale utile un rol important îl are transportul acestora la suprafața solului. Transportul se efectuează prin puțurile de extracție. Acestea pot fi verticale sau înclinate. Instalațiile de extracție miniere sunt cele care asigură transportul pe puțuri a personalului muncitor, a materialelor și a echipamentelor necesare dislocării.

În general buna funcționare a sistemelor de transport este asigurată și de sistemele de frânare cu care sunt echipate. Acest lucru este valabil și pentru instalațiile de extracție care fac parte din grupul sistemelor de transport pe verticală.

Sistemele de frânare ale mașinilor de extracție au caracteristici care depind de adâncimea și numărul orizonturilor puțului de extracție, de parametrii constructivi și geometrici ai organului de antrenare a cablurilor de extracție și nu în ultimul rând de sarcina transportată.

Există două tipuri de sisteme de frânare ale mașinilor de extracție și anume:

- sisteme de frânare cu discuri și paduri;
- sisteme de frânare cu obadă și saboți de frânare.

Sistemele de frânare ale mașinilor de extracție acționează fie pentru reducerea vitezei de transport atunci când trebuie respectați o serie de parametrii tehnologici de exploatare, situație în care avem de-a face cu frânarea de manevră, fie pentru oprirea bruscă a transportului atunci când apare o situație critică, caz în care avem de-a face cu frânarea de siguranță sau de urgență.

Pentru ambele sisteme de frânare enumerate mai sus frânarea de urgență se produce automat atunci când:

- s-a depășit viteza maximă de extracție cu 15%;
- s-a depășit spațiul de supraînălțare a vaselor de extracție;
- s-a declanșat protecția electrică la scurtcircuit sau la suprasarcină.

Datorită frecării atât frânarea de manevră cât și cea de urgență determină creșterea temperaturii elementelor componente ale sistemului de frânare. Aici ne referim la temperatura padurilor și discurilor de frânare sau la temperatura obadei și a saboților.

În timpul frânării energia cinetică a maselor în mișcare se transformă în căldură. O creștere exagerată a temperaturii elementelor sistemului de frânare poate conduce la diminuarea performanțelor de frânare determinată de uzura prematură a obadei sau discului și respectiv a saboților sau padurilor.

Încălzirea frânelor sistemelor de transport a fost studiată prin metode teoretice și analitice, experimentale și prin metode numerice de calcul atunci când s-a făcut apel la metoda elementelor finite [1], [20], [54].

Evoluția tehnicii de calcul și apariția unor aplicații orientate spre simularea prin metode numerice atât a regimului termic cât și a celui mecanic au permis o abordare preponderentă a studiului regimului termic a sistemelor de frânare cu ajutorul metodei elementului finit.

O aplicație bazată pe analiza cu elemente finite frecvent utilizată este COMSOL Multiphysics. Aceasta are încorporat un modul orientat spre transferul căldurii. Din acest motiv foarte mulți autori au făcut apel la acest soft pentru simularea transferului căldurii în

general și pentru studiul transferului căldurii în cazul sistemelor de frânare în particular [43], [44]. De asemenea aplicația permite prin modulul său de studiu al mecanicii solidului determinarea deformărilor care sunt produse de regimul termic.

Aplicația ANSYS a fost de asemenea utilizată de alți autori pentru studiul regimului termic și a deformărilor corespunzătoare pentru sistemele de frânare ale mijloacelor de transport [6], [7].

Aplicația SOLIDWORKS a fost utilizată pentru determinarea regimului termic generat la frânarea instalațiilor de extracție cu sisteme de frânare cu discuri și paduri [43].

Indiferent de aplicația utilizată, cea mai mare parte a cercetărilor referitoare la regimul termic al sistemelor de frânare se referă la vehiculele feroviare și rutiere. Acestea au dimensiuni reduse și au viteze mari de rotație care sunt specifice acestor tipuri de mijloace de transport.

În teza de doctorat intitulată *Modelarea și simularea regimului termic al frânelor cu discuri la frânarea de urgență a instalațiilor de extracție* este abordată problematica regimului termic pentru sisteme de frânare de dimensiuni mari la care componentele pasive (discul sau obada de frânare) au viteze mici de rotație.

Pentru atingerea scopului enunțat în titlul Tezei de doctorat s-a construit un model virtual al sistemului de frânare cu discuri al mașinii de extracție MK5x2 la scara 1:1. Modelul a fost analizat din punct de vedere al regimului termic la frânarea de siguranță în aplicațiile SOLIDWORKS și COMSOL Multiphysics.

În urma cercetărilor au fost obținute rezultate care pot conduce la creșterea performanțelor, scăderea costurilor înregistrate în timpul exploatării precum și la creșterea capacității de transport și a fiabilității instalațiilor de extracție. Experiența câștigată în urma efectuării studiilor de modelare și simulare pentru sistemele de frânare specifice mașinilor de extracție poate constitui un sprijin real în proiectarea și fabricarea sistemelor de frânare industriale în general.

Metoda de cercetare adoptată în teză utilizează modele flexibile pentru studiul regimului termic al sistemelor de frânare. Acestea pot fi adaptate cu ușurință la situații concrete care sunt specifice exploatării mașinilor de extracție.

Teza de doctorat este structurată în șase capitole, introducere, concluzii și contribuții personale și o anexă.

Capitolul 1 se intitulează *PREZENTAREA GENERALĂ A INSTALAȚIILOR DE EXTRACȚIE*. În cadrul acestui capitol am descris caracteristicile principale ale instalațiilor de extracție și am prezentat criteriile de clasificare ale acestora. Principalele criterii se referă la poziția puțului de extracție, tipul vasului de transport, destinația instalațiilor, gradul de echilibrare, numărul cablurilor de extracție, geometria tobei de antrenare a cablurilor de extracție, locul de amplasare al mașinii de extracție față de turnul de extracție și tipul acționării electrice.

De asemenea s-au prezentat cele două tipuri de bază ale organelor de antrenare ale cablurilor de extracție și anume cu tobe și cu roată motoare sau de fricțiune.

La finalul capitolului sunt prezentate caracteristicile funcționale ale sistemelor de frânare cu saboți și obadă precum și a celor cu discuri și paduri.

Capitolul 2 al tezei se intitulează *SIMULAREA ȘI MODELAREA NUMERICĂ A CINEMATII ȘI A DINAMICII INSTALAȚIILOR DE EXTRAȚIE MULTICABLU*. Așa cum arată și titlul acestui capitol abordarea cinematicii și dinamicii s-a realizat prin metode numerice. În acest sens au fost utilizate cele două aplicații cu ajutorul cărora s-a efectuat și studiul regimului termic al sistemului de frânare cu discuri la frânarea de urgență. Este vorba de softurile SOLIDWORKS și COMSOL Multiphysics. Pentru simularea în aplicația SOLIDWORKS s-a creat un model virtual al unei instalații de extracție cu roată de fricțiune, multicablu echilibrată dinamic. Pentru diverse forme ale tahogramelor de extracție s-a impus variația prin puncte sau prin expresii matematice a accelerației iar prin integrarea numerică a acestora a rezultat graficul de variație a vitezei. Principiul de calcul este similar celui utilizat în studiul prin metode analitice a cinematicii. Cu aplicația COMSOL Multiphysics s-a pornit de la premiza cunoașterii formei tahogramei. Aceasta a fost descrisă prin expresii matematice pentru diverse intervale de timp corespunzătoare procesului de transport. Definind accelerația ca derivată în raport cu timpul a vitezei prin derivare numerică a fost obținută forma de variație a accelerației pentru diverse tahograme de extracție. Analiza dinamicii prin metode numerice a fost abordată în aplicația SOLIDWORKS pe același model virtual folosit la studiul cinematicii pornind de la impunerea variației accelerațiilor și determinând variația vitezei, forței și a puterii. În studiul dinamicii instalației de extracție s-a ținut cont că aceasta este echilibrată iar acțiunea dinamică a masei utile transportate s-a materializat prin impunerea accelerației gravitaționale care acționează asupra întregului model virtual.

Capitolul 3 intitulat *ANALIZA REGIMULUI DINAMIC AL ELEMENTULUI DE EXECUȚIE AL SISTEMULUI DE FRÂNARE CU DISCURI* prezintă la debutul său principalele caracteristici tehnice ale mașinii de extracție MK5x2 precum și soluția de montare a discurilor de frânare. În continuare sunt prezentate caracteristicile elementului hidraulic de execuție care reprezintă partea activă a sistemului de frânare precum și modalitatea de comandă a elementelor hidraulice. De asemenea a fost determinată forța de frânare corespunzătoare. Pentru elementul de execuție care se consideră cuplat la un distribuitor proporțional a fost stabilit modelul matematic. Modelul matematic a stat la baza analizei din punct de vedere al teoriei sistemelor a elementului de execuție. A fost determinată în funcție de frecvență pentru cilindrul hidraulic dependența dintre poziția acestuia și deplasarea sertarului distribuitorului. De asemenea au fost determinate caracteristicile hidraulice ale elementului de execuție. Pe baza acestora a fost studiat regimul tranzitoriu al elementului de execuție. S-a determinat variația în funcție de timp a presiunii. S-a trasat curba locului de transfer prin intermediul unui program scris în limbaj Visual Basic precum și în aplicația Excel.

Capitolul 4 se intitulează *NOȚIUNI TEORETICE REFERITOARE LA TRANSFERUL CĂLDURII*. La începutul acestui capitol sunt prezentate elemente cu caracter teoretic cu privire la transferul căldurii prin conducție, convecție și radiație. La baza încălzirii sistemelor de frânare stă fenomenul de frecare. Acesta se manifestă între elementele pasive și active. La oprirea mașinii de extracție prin frânarea de urgență sau prin frânarea de manevră energia cinetică din momentul începerii frânării se transformă în căldură. Deci în

ambele situații aceeași energie mecanică este convertită în energie termică. La frânarea de siguranță timpul în care se produce oprirea mașinii de extracție este mult mai redus decât cel corespunzător frânării de manevră. În consecință puterea termică va fi mult mai mare la frânarea de siguranță. În aceste condiții și temperatura elementelor de frânare va fi mai mare la frânarea de siguranță.

În acest capitol am întocmit o schemă logică cu caracter secvențial destinată analizei regimului termic al frânelor în general. Schema este aplicabilă metodelor de calcul cu elemente finite. Aceasta poate fi implementată în orice aplicație de modelare și simulare care are în componența sa module de calcul ale transferului de căldură precum și module de calcul ale mecanicii solidului.

Am determinat valorile parametrilor care constituie date de intrare ale simulării. În acest sens s-a calculat energia cinetică maximă a maselor aflate în mișcare de translație și de rotație. Au fost luate în calcul un număr de patru variante de calcul corespunzătoare decelerațiilor cuprinse în intervalul $[3, 4,5] \text{ m/s}^2$. Astfel au putut fi calculate valorile timpilor de oprire, puterii totale și a celei de frânare pentru fiecare valoare a decelerației pentru un singur disc de frânare.

Capitolul se încheie cu prezentarea parametrilor geometrici ai instalației de extracție precum și a celor corespunzatori sistemului de frânare a mașinii de extracție MK5x2.

Capitolul 5 se intitulează *SIMULAREA CU APLICAȚIA SOLIDWORKS A REGIMULUI TERMIC ÎN CAZUL FRÂNĂRII DE SIGURANȚĂ A INSTALAȚIILOR DE EXTRACȚIE MULTICABLU ECHIPATE CU SISTEME DE FRÂNARE CU DISCURI*. La debutul capitolului a fost prezentat modul de realizare a modelului virtual al tobei de acționare în aplicația SOLIDWORKS. Modelul virtual este un ansamblu. Acesta are în componența sa patru părți. Între aceste părți au fost impuse legături geometrice standard de coincidență și de concentricitate. Modelul are la bază dimensiunile tobei de acționare a mașinii MK5x2 și a fost realizat la scara 1:1. Simularea regimului termic este realizată în funcție de timp, pasul de incrementare a acestuia fiind de 0,1 secunde. Pe suprafața discului de frânare a fost stabilită zona de contact a acestuia cu padurile. Puterea de frecare calculată în capitolul precedent pentru cele patru valori ale decelerației se aplică acestei zone fiind implementată prin puncte în raport cu timpul. În această zonă va avea loc transformarea energiei cinetice în căldură. Utilizând biblioteca de materiale a aplicației SOLIDWORKS, părților componente ale ansamblului le-au fost atribuite caracteristicile corespunzătoare materialelor utilizate. Efectuarea calculelor a condus la determinarea spațio-temporală a temperaturii discului de frânare. Deoarece valoarea de $4,5 \text{ m/s}^2$ a accelerației de frânare conduce la valorile cele mai ridicate ale temperaturii s-a considerat că pentru această valoare este indicat să se determine variația gradientului și a fluxului căldurii.

Aplicația SOLIDWORKS permite simularea mecanică de tip static atunci când modelul este supus unei solicitări termice. Astfel au fost determinate tensiunile von Mises precum și deformările suferite de modelul virtual pentru valoarea maximă a temperaturii discului de frânare.

Capitolul 6 se intitulează *SIMULAREA CU APLICAȚIA COMSOL A REGIMULUI TERMIC ÎN CAZUL FRÂNĂRII DE SIGURANȚĂ A INSTALAȚIILOR DE EXTRACȚIE MULTICABLU ECHIPATE CU SISTEME DE FRÂNARE CU DISCURI*.

Analiza rezultatelor obținute în Capitolul 5 referitoare la simularea regimului termic al frânelor cu disc ale instalațiilor de extracție cu ajutorul aplicației SOLIDWORKS a evidențiat că frânarea de urgență conduce la încălzirea semnificativă a discurilor de frânare în timp ce regimul termic al tobei nu se modifică. Această observație a determinat conceperea unui model virtual simplificat. Modelul este un ansamblu care este alcătuit din discul de frânare, suportul discului de frânare și din patru perechi de paduri de frânare. Adoptarea acestui model virtual simplificat va conduce la diminuarea efortului de calcul din aplicația COMSOL.

Modelul geometric a fost realizat în aplicația SOLIDWORKS. Utilizând link-ul dinamic dintre aplicația COMSOL și aplicația SOLIDWORKS modelul geometric a fost transmis în aplicația COMSOL.

Ca și în cazul prezentat în Capitolul 5 au fost urmați pașii descriși în schema logică structurală de simulare a regimului termic. Pentru început au fost definiți parametrii simulării. A fost descrisă variația vitezei în funcție de timp. Prin derivarea numerică a vitezei în raport cu timpul s-a obținut variația accelerației de frânare. Pe graficul de variație a vitezei momentele de timp semnificative sunt legate de începerea procesului de simulare, cuplarea frânei de siguranță și oprirea mașinii de extracție precum și momentul terminării simulării.

Referitor la proprietățile materialelor din care sunt alcătuite părțile componente ale modelului virtual precizăm că au fost utilizate aceleași materiale ca în cazul Capitolului 5. Din punct de vedere al proprietăților materialelor, noutatea din acest capitol este dată de prezența în model a padurilor de frânare. Acestea li s-au atribuit proprietățile caracteristice specifice materialelor de fricțiune.

În urma simulării, pentru început a fost determinată variația spațio-temporală a temperaturii discului de frânare. Aceasta a scos în evidență versatilitatea aplicației COMSOL de a evidenția pe suprafața de frecare a padurilor cu discul de frânare, variația în spațiu a temperaturii pentru un anumit moment de timp.

Au fost trasate graficele de variație în funcție de timp ale temperaturii și gradientului acesteia. De asemenea a fost trasată diagrama de variație în timp a fluxului de căldură. Utilizând modulul de mecanică a solidului au fost determinate variația spațio-temporală a tensiunilor von Mises precum și a deformărilor datorate regimului termic.

Pentru evidențierea proporției dintre căldura generată și căldura disipată au fost calculate integralele în raport cu timpul corespunzătoare căldurii produse și căldurii disipate. Comparativ variația acestor două mărimi a fost prezentată grafic prin două diagrame realizate la scară logaritmică.

Luând în considerare conținutul, abordarea precum și de relevanța rezultatelor cercetării efectuate consider că prezenta Teză de doctorat poate contribui la dezvoltarea cunoașterii referitoare la studiul prin modelare și simulare a încălzirii sistemelor de frânare aferente instalațiilor industriale de dimensiuni mari.

În urma cercetărilor efectuate în această Teză s-a ajuns la concluzia că frânele mașinilor de extracție au un rol determinant în funcționarea sigură a acestora. Prin funcționarea sigură a instalațiilor de extracție din punct de vedere al sistemelor de frânare se înțelege respectarea tahogramelor prestabilite și oprirea imediată a transportului fără intervenție umană la apariția situațiilor de avarie. Reducerea vitezei de transport în scopul respectării unei tahograme impuse se face prin acționarea frânei de manevră iar oprirea imediată la apariția unei situații de avarie presupune frânarea de siguranță sau de urgență și imobilizarea vaselor de extracție pe puț. Afirmările de mai sus se referă atât la sistemele de frânare cu discuri și paduri cât și la cele cu obadă și saboți.

Fenomenul de frecare care apare între elementele pasive și elementele active care compun sistemele de frânare determină fenomenul de frânare a mașinii de extracție. Ca urmare a frânării energia cinetică totală se transformă în energie termică. Această transformare determină creșterea temperaturii elementelor din care este compusă frâna. Depășirea limitei admisibile a temperaturii duce la reducerea coeficientului de frânare și implicit a performanțelor sistemului de frânare.

În situația în care creșterea temperaturii nu depășește limita admisă a materialelor componente ale sistemului de frânare se consideră că regimul termic este satisfăcător.

Fenomenul de încălzire a sistemelor de frânare este specific tuturor mijloacelor de transport care au sisteme de frânare bazate pe frecarea dintre elementele pasive și active componente. Această situație a determinat extinderea literaturii specifice și a publicisticii în reviste de specialitate precum și creșterea volumului studiilor de cercetare din acest domeniu. Încălzirea sistemelor de frânare a fost studiată experimental în laboratoare, prin metode teoretice precum și prin metode numerice.

Autorii studiilor care au abordat metodele numerice pentru determinarea încălzirii sistemelor de frânare au utilizat diverse aplicații informatice cum sunt: COMSOL Multiphysics, ANSYS, Nastran, SOLIDWORKS, Catia sau Autodesk Inventor.

Consultarea literaturii de specialitate arată că studiile efectuate în domeniul încălzirii sistemelor de frânare au fost orientate preponderent către mijloacele de transport feroviare și auto. Aceste mijloace de transport au raze mici de rotație ceea ce determină viteze unghiulare ridicate.

S-a constatat că regimul termic corespunzător frânelor care intră în componența mașinilor de extracție a fost mai puțin tratat comparativ cu cel corespunzător transportului feroviar și auto. La mașinile de extracție razele de rotație ale elementelor pasive ale sistemelor de frânare sunt de dimensiuni mari care determină viteze de rotație reduse.

Având în vedere că problematica regimului termic al frânelor cu discuri ale mașinilor de extracție este puțin tratată în literatura de specialitate se poate concluziona că tematica abordată în această teză de doctorat este oportună și bine venită.

Capitolul 1 al tezei scoate în evidență faptul că instalațiile de extracție pot fi clasificate în funcție de o multitudine de criterii. Aceste criterii sunt determinate de elementele componente ale instalației de extracție și de caracteristicile funcționale ale acestora. Legat de sistemele de frânare se poate concluziona că acestea pot fi cu discuri și paduri sau cu obade și saboți.

În Capitolul 2 al tezei a fost prezentată prin metode numerice utilizând aplicațiile SOLIDWORKS și COMSOL Multiphysics cinematica și dinamica instalațiilor de extracție. Astfel din punct de vedere al cinematicii analiza tahogramelor trasate cu ajutorul celor două aplicații conduce la concluzia că acestea au forme diversificate. Numărul fazelor tahogramelor este determinat pentru eliminarea vârfurilor puterii sau pentru diminuarea sarcinilor dinamice din procesul de transport la deplasarea schipurilor și coliviilor basculante în zona ghidajelor. Determinarea tahogramelor optime presupune un volum mare de calcul. Din acest motiv utilizarea metodelor de calcul numeric reprezintă soluția optimă pentru atingerea acestui obiectiv. Trasarea tahogramelor cu ajutorul aplicațiilor SOLIDWORKS și COMSOL se aliniază tendinței actuale de proiectare și simulare asistată de calculator. Aplicația SOLIDWORKS permite atașarea unui actuator unui ansamblu care reprezintă un anumit tip de instalație de extracție. Actuatorului i se pot impune diverse forme de variație în timp a accelerației care vor imprima o mișcare conformă. Fie că este vorba de aplicația SOLIDWORKS sau de aplicația COMSOL rezultatele obținute sunt comparabile cu cele care corespund metodelor de calcul analitic. Din punct de vedere al dinamicii determinarea valorilor și a diagramelor de variație ale forțelor la periferia tobei și a puterii cu aplicația SOLIDWORKS constituie o modalitate eficientă de simulare asistată de calculator a funcționării instalațiilor de extracție. Ca și în cazul cinematicii, la baza simulării a stat un model CAD reprezentat de un ansamblu. Tobei de antrenare a cablurilor i s-a atașat un actuator căruia i s-au impus diferite forme de variație a accelerației, fie prin puncte fie prin expresii matematice și logice. Simularea masei utile transportate s-a realizat prin introducerea accelerației gravitaționale care acționează asupra întregului ansamblu. Comparând rezultatele obținute în urma simulărilor cu cele corespunzătoare calculului analogic se constată că din punct de vedere al formei, diagramele sunt identice. Se poate astfel trage concluzia că atât aplicația SOLIDWORKS cât și aplicația COMSOL sunt instrumente puternice de proiectare și simulare.

În Capitolul 3 al tezei s-a realizat studiul comportării în regim dinamic al elementului de execuție al sistemului de frânare cu disc. Având în vedere faptul că în timpul fiecărei curse de extracție apar mai multe operații de frânare – defrânare, atât în timpul perioadelor de accelerare cât și a celor de decelerare, elementele hidraulice de frânare funcționează aproape permanent în regim tranzitoriu. Din acest motiv a fost necesară realizarea analizei comportării în regim dinamic a elementului de execuție al frânei. În acest sens s-a studiat modelul matematic pentru un element de execuție care este cuplat la un distribuitor proporțional și s-au determinat ecuațiile specifice funcționării. De asemenea au fost calculate constantele de timp, funcția de transfer, gradul de amortizare precum și factorii de amplificare. Au fost determinați și parametrii hidraulici corespunzători. Utilizând criteriul de stabilitate Nyquist a fost trasat graficul locului de transfer pe baza coordonatelor calculate. Deoarece graficul locului de transfer nu înconjoară punctul de coordonate $(-1,0)$ s-a concluzionat că sistemul se comportă stabil în regim tranzitoriu.

În Capitolul 4 s-a arătat că din punct de vedere mecanic unul dintre fenomenele fizice care determină supraîncălzirea este frecarea. Astfel operația de frânare a unui utilaj bazându-se pe frecare generează o cantitate de căldură prin creșterea temperaturii elementelor sistemelor de frânare. În aceste condiții apare necesitatea determinării cantității de căldură dezvoltate dar și a celei transferate. În cazul frânării, calculul cantității de căldură dezvoltate nu este o problemă dificilă. Dificultatea apare la calculul fluxului termic care se transferă deoarece acest transfer se realizează concomitent prin convecție și radiație cu mediul înconjurător și prin conducție atunci când transferul căldurii are loc între elementele solide ale sistemului de frânare.

În timpul procesului de frânare pierderea de energie cinetică se transformă în căldură care determină creșterea temperaturii părților pasive și active ale frânei. Indiferent că oprirea mașinii de extracție se face prin frânarea de manevră sau prin cea de siguranță cantitatea de căldură degajată va fi identică. Deoarece durata frânării de urgență este mult mai scurtă decât cea în care are loc frânarea de manevră rezultă că puterea termică este mai mare în cazul frânării de siguranță. Acest aspect permite să se tragă concluzia că încălzirea padurilor și a discurilor de frânare la frânarea de siguranță va fi mai mare comparativ cu cea de manevră. Dacă la nivelul suprafețelor de frecare are loc o creștere peste anumite limite a temperaturii atunci condițiile de funcționare ale sistemului de frânare se înrăutățesc. Totodată apare uzura excesivă a padurilor de frânare și diminuarea coeficientului de frecare. Astfel se mai poate concluziona că supratemperatura care apare

la nivelul elementelor sistemelor de frânare este dependentă de raportul dintre căldura degajată și căldura evacuată.

Părțile active ale frânelor sunt realizate din materiale rele conductoare de căldură. Materialele de acest tip au coeficienți de conductibilitate termică redusă, valorile fiind cu două ordine de mărime mai reduse în comparație cu coeficienții de conductibilitate termică ai materialele care alcătuiesc părțile pasive. Acest aspect permite să se considere că evacuarea căldurii are loc preponderent prin părțile pasive. Rolul părților active este neglijabil.

Evacuarea căldurii degajate prin convecție este în funcție de mărimea ariilor de contact cu aerul și de viteza de rotație a acestora. Având suprafețe mai mari dar și viteză de rotație, părțile pasive ale frânelor au o contribuție importantă comparativ cu părțile active în fenomenul de evacuare a căldurii prin convecție și convecție forțată. Diminuarea vitezei în timpul frânării face ca schimbul de căldură prin convecție forțată să nu fie constant.

Evaluarea încălzirii elementelor sistemelor de frânare este concludentă în condiții grele de frânare. Acestea corespund frânării de urgență. Prin compararea valorilor temperaturilor obținute cu cele admise de materialele din care sunt construite sistemele de frânare se pot trage concluzii referitoare la condițiile de frânare impuse, aici referindu-ne la decelerații admisibile.

Așa cum am mai amintit există un număr mare de aplicații informatice care au implementate module destinate simulării regimului termic. Am considerat că indiferent de aplicația cu care se realizează analiza regimului termic aceasta trebuie să parcurgă o serie de pași. În acest sens am propus o schemă logică structurală de simulare a regimului termic.

În Capitolul 5 pentru început a fost construit modelul virtual al roții motoare cu ajutorul aplicației SOLIDWORKS. Acesta reprezintă la scara 1:1 sistemul de frânare al unei mașini de extracție MK5x2 căruia i-au fost adaptate două discuri de frânare. Din punctul de vedere al softului de modelare și simulare modelul realizat este un ansamblu constituit din patru părți: toba modelului, axul de rotație și cele două discuri de frânare.

Utilizând aplicația SOLIDWORKS la alcătuirea modelului virtual al roții motoare s-a

ajuns la concluzia că softul oferă facilități de realizare a geometriilor CAD. Totodată SOLIDWORKS permite exportul acestor geometrii într-o gamă variată de tipuri de fișiere. Această observație conduce la concluzia că aplicația poate transmite geometrii CAD altor softuri care au module specifice destinate simulării proceselor termice mai puternice dar la

care realizarea geometriilor CAD este greoaie. Din această categorie face parte și aplicația COMSOL Multiphysics. Aceasta oferă posibilitatea realizării unui link dinamic care permite importul modelelor geometrice din alte softuri printre care se află și SOLIDWORKS.

Pentru accelerațiile de frânare care au valorile de $4,5 \text{ m/s}^2$, 4 m/s^2 , $3,5 \text{ m/s}^2$ și 3 m/s^2 , utilizând schema structurală corespunzătoare simulării regimului termic s-au efectuat calculele pentru determinarea distribuției spațio-temporale a temperaturii în cazul frânării de siguranță. Frânarea a avut loc atunci când viteza de transport a înregistrat valoarea maximă de 14 m/s .

Analizând distribuția temperaturii pe suprafața discului de frânare la decelerația de $4,5 \text{ m/s}^2$ se constată că temperatura maximă a discului este de $125,33 \text{ }^\circ\text{C}$. Această temperatură este atinsă la iterația 14 a simulării, adică la $0,7$ secunde de la începerea procesului de frânare.

Pentru punctul de pe suprafața discului de frânare cu temperatura cea mai ridicată s-a determinat variația în timp a temperaturii. Analiza diagramei de variație în funcție de timp a temperaturii acestui punct este crescătoare de la momentul aplicării frânei de siguranță atingând valoarea maximă în punctul de coordonate ($0,7 \text{ s}$, $125,33 \text{ }^\circ\text{C}$). Datorită diminuării puterii termice valoarea temperaturii punctului de maxim începe să scadă în raport cu timpul.

O imagine concludentă referitoare la distribuția temperaturii la nivelul discului de frânare s-a obținut prin secționarea organului de antrenare a cablurilor de extracție.

Pentru determinarea variației temperaturii pe o direcție radială am construit o linie de tăiere pe suprafața discului de frânare. Astfel pentru nodurile care aparțin acestei linii de tăiere am determinat variația temperaturii de-a lungul înălțimii discului. În aplicația Excel am trasat graficul variației temperaturii precum și Polinomul Lagrange de interpolare. Astfel putem ajunge la concluzia că temperatura discului în zona de contact a acestuia cu umărul tobei la același moment de timp are valori mai mici decât temperatura discului din partea exterioară. Tot în aplicația Excel au fost trasate comparativ graficele de variație ale temperaturii pentru accelerațiile de frânare de $4,5 \text{ m/s}^2$, 4 m/s^2 , $3,5 \text{ m/s}^2$ și 3 m/s^2 . Prin analiza diagramelor rezultă că timpul după care valoarea temperaturii discului de frânare ajunge la valoarea maximă este același pentru toate cele patru valori ale accelerației de frânare. Analiza celor patru diagrame conduce la concluzia că temperatura maximă de $124,33 \text{ }^\circ\text{C}$ corespunde accelerației de frânare de $4,5 \text{ m/s}^2$. De asemenea se observă că temperatura

discului de frânare nu depășește limita de 327 °C de la care capacitatea de frânare începe să scadă.

Simularea unui studiu static a solicitărilor mecanice datorate dilatării materialelor ca urmare a solicitării termice în urma frânării de siguranță a permis calculul tensiunii von Mises precum și calculul deformărilor părților componente ale modelului virtual. Rezultatele obținute conduc la concluzia că valoarea maximă a tensiunii von Mises este inferioară valorii tensiunii de curgere corespunzătoare materialului discului.

Calcululele au fost efectuate pornind de la ipoteza transmiterii uniforme a puterii de frânare pe suprafața de contact dintre discul de frânare și paduri. În realitate această putere se transferă doar prin suprafața efectivă de contact disc – pad la un moment dat, locul de contact fiind în funcție de rotația organului de antrenare a cablurilor. Din această cauză ipoteza simplificatoare nu permite evidențierea în rezultatele obținute a momentelor corespunzătoare intrării și ieșirii unui punct de pe suprafața discului de frânare sub padurile de frânare.

Organul de antrenare a cablurilor instalațiilor de extracție are dimensiuni mari comparativ cu cele caracteristice ale sistemelor de frânare ale vehiculelor rutiere sau feroviare. La instalațiile de extracție numărul de treceri ale discului de frânare sub paduri este redus având o viteză unghiulară mică, astfel încât contribuția inerției termice la uniformizarea variației temperaturii în timpul frânării de urgență este redusă.

Cele arătate mai sus conduc la concluzia că se impune ca studiul regimului termic al sistemelor de frânare cu discuri ale instalațiilor de extracție să fie abordate și cu alte instrumente de simulare.

În prima parte a Capitolului 6 pe baza analizei rezultatelor obținute prin simularea regimului termic al frânelor cu disc ale instalațiilor de extracție cu ajutorul aplicației SOLIDWORKS a rezultat că frânarea de urgență conduce la încălzirea semnificativă a discurilor de frânare în timp ce regimul termic al tobei nu se modifică. Din acest motiv în cadrul capitolului s-a adoptat un model virtual simplificat de studiu al regimului termic la frânarea de urgență în vederea utilizării lui în aplicația COMSOL Multiphysics. Modelul virtual este un ansamblu în componența căruia intră trei părți: suportul discului de frânare, discul de frânare și padurile de frânare.

Prezența padurilor joacă un rol important în analiza temporală a temperaturii discului de frânare la frânarea de urgență, permițând evidențierea momentelor în care discul trece pe sub paduri, putându-se astfel evidenția regimul tranzitoriu de variație a temperaturii.

În urma efectuării calculelor se poate concluziona că temperatura nu este constantă la un anumit moment de timp, aceasta depinzând de poziția discului de frânare față de paduri. Se observă că există diferențe ale valorilor temperaturii de pe suprafața circulară de contact dintre discul de frânare și paduri. Astfel urmărind sensul de rotație înainte ca discul să pătrundă sub primul pad dintr-o pereche, temperatura acestuia este relativ scăzută. După ieșirea discului de sub acest pad temperatura crește iar astfel încălzit discul pătrunde sub cel de-al doilea pad. La ieșire temperatura este superioară celeia avute la ieșirea de sub primul pad. Urmând sensul de rotație discul se răcește până în momentul de timp în care acesta pătrunde sub primul pad din cea de-a doua pereche.

Variația temperaturii discului de frânare în funcție de timp indică o valoare maximă a acesteia de 97°C care se atinge la momentul de timp $t = 3,7$ secunde. Valoarea maximă corespunde punctului central de sub cel de-al doilea pad. Se observă de asemenea că creșterea temperaturii nu este constantă fiind în trepte. Prezența treptelor pe diagrama de variație a temperaturii se datorează trecerilor succesive ale discului de frânare pe sub paduri. Procesul de răcire corespunzător punctului central de sub al doilea pad este uniform după oprirea mașinii de extracție.

Prin construirea unui segment de dreaptă de tăiere pe lățimea discului de frânare am obținut o suprafață de extrudare în care se va trasa profilul variației temperaturii discului de frânare în raport cu timpul de-a lungul segmentului de dreaptă. Astfel a rezultat o imagine tridimensională a profilului temperaturii.

Pentru trasarea profilului 3D a temperaturii de-a lungul unui cerc care trece prin centrele padurilor s-a construit o curbă parametrică circulară de tăiere. Această curbă parametrică stă la baza generării unei suprafețe de extrudare. Analiza suprafeței extrudate permite identificarea momentelor de timp când are loc trecerea discului de frânare pe sub paduri.

Imaginea raportului existent între căldura generată și căldura disipată a fost obținută prin integrarea în funcție de timp a căldurii produse și a căldurii disipate. Disiparea căldurii în aer prin convecție este proporțională cu viteza de rotație a discului de frânare și cu mărimea suprafeței de disipare. Se poate concluziona că intensitatea căldurii de convecție în perioada de frânare nu este influențată semnificativ de diminuarea suprafeței de disipare ca urmare a contactului dintre discul de frânare și paduri.

Trasarea graficelor de variație în timp ale fluxului convectiv de căldură pentru punctele centrale de sub o pereche de paduri conduce la concluzia că fluxul de căldură convectivă este nul pentru direcția transversală a discului pentru ambele puncte de tăiere.

Trasarea pentru aceleași puncte a graficelor de variație a fluxului de căldură conductivă conduce la concluzia că pentru direcția transversală a discului de frânare fluxul conductiv de căldură este cu un ordin de mărime mai mare decât cel rezultat pentru celelalte două direcții.

Au fost trasate comparativ diagramele variației temperaturilor corespunzătoare celor patru valori ale accelerației de frânare. Analiza acestor grafice conduce la concluzia că valoarea maximă a temperaturii și momentul în care aceasta este atinsă depinde de valoarea decelerației. Astfel cea mai mare valoare a temperaturii se atinge pentru decelerația de $4,5 \text{ m/s}^2$ în timp ce valoarea minimă a acesteia corespunde decelerației de 3 m/s^2 . Totodată timpul scurs până la atingerea valorii maxime a temperaturii corespunzătoare accelerației de frânare de $4,5 \text{ m/s}^2$ este mai mic decât cel corespunzător decelerației de 3 m/s^2 . Această observație conduce la concluzia că regimul termic la frânarea de urgență este mai intens cu cât decelerația are valori mai mari. Au fost trasate diagramele de variație în timp la scară logaritmică ale căldurii produse în timpul frânării de urgență pentru accelerațiile de 3 m/s^2 și $4,5 \text{ m/s}^2$ precum și diagramele la scară logaritmică ale căldurii cedate pentru aceleași valori ale decelerației. Referitor la diagramele căldurii produse se poate concluziona că acestea sunt aproape identice. Decelerația de $4,5 \text{ m/s}^2$ determină o creștere mai mare a căldurii produse în comparație cu cea de 3 m/s^2 în prima parte a intervalului de timp care corespunde opririi instalației de extracție. La limita timpului de simulare de 6 secunde cele două grafice se suprapun. Aceasta înseamnă că pentru ambele decelerații pentru care au fost trasate diagramele căldurii produse, fracțiunea prestabilită din energia cinetică s-a transformat complet în căldură până la finalul simulării.

Totodată se poate concluziona că pentru decelerația de $4,5 \text{ m/s}^2$ datorită creșterii mai mari a căldurii produse în prima parte a procesului de frânare căldura cedată este mai mare ca cea corespunzătoare decelerației de 3 m/s^2 . Deoarece timpul de oprire efectivă la decelerația de 3 m/s^2 este mai mare ca cel corespunzător accelerației de frânare de $4,5 \text{ m/s}^2$ are loc în continuare cedarea căldurii prin convecție forțată datorată vitezei de rotație a tobei de antrenare.

Așa cum am precizat încălzirea elementelor componente ale frânelor cu discuri ca urmare a frânării de urgență conduce la apariția tensiunilor mecanice. Aceste tensiuni apar deoarece coeficienții de dilatare termică sunt diferiți pentru materialele care intră în componența modelului care a fost supus simulării. Au fost prezentate de asemenea rezultatele obținute pentru deformări și tensiunea von Mises corespunzătoare momentului

de timp 3,7 secunde. În aceste condiții s-a ajuns la concluzia că valorile tensiunii von Mises nu depășesc limita de curgere a materialelor care compun modelul virtual.

Voi prezenta în continuare o serie de contribuții personale aduse la realizarea studiului din această Teză de doctorat după cum urmează:

- realizarea unei analize teoretice bazată pe o vastă documentare privind transferul de căldură prin modalitățile fundamentale reprezentate de procesele de radiație, convecție și conducție,;
- realizarea unui studiu bine documentat și aprofundat al regimului termic la care sunt supuse frânele mașinilor de extracție;
- întocmirea schemei logice structurale destinată analizei prin metode informatice avansate de modelare și simulare pentru studiul regimului termic al sistemelor de frânare bazate pe frecarea elementelor componente care constituie părți esențiale ale mijloacelor de transport în general și ale celor care intră în componența mașinilor de extracție în particular;
- construirea în softul SOLIDWORKS a modelului virtual la scara 1:1 al tobei de antrenare a cablurilor de extracție pentru mașina de extracție multicablu MK5x2;
- simularea regimului termic în raport cu timpul pentru frânele cu discuri ale mașinii de extracție MK5x2 la declanșarea frânării de siguranță, prin intermediul softului SOLIDWORKS;
- construirea în softul SOLIDWORKS a modelului virtual simplificat la scara 1:1 al tobei de antrenare corespunzător mașinii de extracție multicablu MK5x2;
- simularea regimului termic în raport cu timpul pentru frânele cu discuri ale mașinii de extracție multicablu MK5x2 la declanșarea frânării de siguranță, prin intermediul softului COMSOL Multiphysics;
- fundamentarea unor principii teoretice și aplicative care pot fi folosite în vederea studierii regimului termic al diverselor sisteme de frânare cu discuri.

O direcție de cercetare care poate fi dezvoltată în viitor ar putea avea ca obiectiv realizarea unui studiu referitor la oboseala discurilor de frânare care apare în urma funcționării ciclice a instalațiilor de extracție.

BIBLIOGRAFIE

1. Ammarullah, M.I., Afif, I.Y., Maula, M.I., Winarni, T.I., Tauviquirrahman, M., Akbar, I., Basri, H., van der Heide, E., Jamari, J. *Tresca Stress Simulation of Metal-on-Metal Total Hip Arthroplasty during Normal Walking Activity*, Materials 2021, 14, 7554. <https://doi.org/10.3390/ma14247554>;
2. Andraș, A (Andras, Andrei), Brinaș, I (Brinaș, Ildiko), Radu, SM (Radu, Sorin Mihai), Popescu, FD (Popescu, Florin Dumitru), Popescu, V (**Popescu, Valentin**), Budilică, DI (Budilică (Andrei), Daniela-Ioana), *INVESTIGATION OF THE THERMAL BEHAVIOUR FOR THE DISC-PAD ASSEMBLY OF A MINE HOIST BRAKE USING COMSOL MULTIPHYSICS*, ACTA TECHNICA NAPOCENSIS SERIES-APPLIED MATHEMATICS MECHANICS AND ENGINEERING, Volume 64, Issue 2, Page 227-234, **WOS:000684576900004**;
3. Andraș, A (Andraș, Andrei); Radu, SM (Radu, Sorin Mihai); Brinas, I (Brinaș, Ildiko); Popescu, FD (Popescu, Florin Dumitru); Budilică, DI (Budilică, Daniela Ioana); Korozsi, EB (Korozsi, Eva Biro), *Prediction of Material Failure Time for a Bucket Wheel Excavator Boom Using Computer Simulation*, MATERIALS, Q1, Volume:14, Issue: 24, Article Number:7897, DOI:10.3390/ma14247897, Published:DEC 2021, WOS:000738459300000;
4. Bashir, M., Qayoum, A., Saleem, S. *Analysis of frictional heating and thermal expansion in a disc brake using COMSOL*, J. Phys. Conf. Ser. 2019, 1240, 012094, doi:10.1088/1742-6596/1240/1/012094;
5. Belhocine, A., Abdullah, O.I. *A thermomechanical model for the analysis of disc brake using the finite element method in frictional contact*, J. Therm. Stresses 2019, 43, 305–420;
6. Belhocine, A., Abu Bakar, A.R., Bouchetara, M. *Thermal and structural analysis of disc brake assembly during single stop braking event*, Aust. J. Mech. Eng. 2016, 14, 26–38;
7. Belhocine, A., Abu Bakar, A. R., Abdullah, O. I. *Structural and Contact Analysis of Disc Brake Assembly During Single Stop Braking Event*, Trans. Indian Inst. Met. 2014, 68(3), 403–410. doi:10.1007/s12666-014-0468-6;
8. Brădeanu, N. *Instalații de extracție miniere*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1964;

9. Butnaru, S., Mogan, G., *ANALIZA CU ELEMENTE FINITE ÎN INGINERIA MECANICĂ, Aplicații practice în ANSYS*, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2014;
10. Cozma, B.Z., ș.a. *Concepția și proiectarea asistată de calculator a utilajului minier*, Editura Universitas, Petroșani, 2019;
11. Cuciureanu, C., Mateescu, D. *Ascensoare electrice*, Editura Tehnică, București. 1985;
12. Dimirache, G., Zamfir, V., *Ingineria sistemelor mecanice*, Editura Focus, Petrosani 2002;
13. Fransua, A., *Mașini și sisteme de acționări electrice – Probleme fundamentale*, Editura tehnică, București, 1978;
14. Grecea, D.N, *Studiul posibilităților de modernizare a conducerii și monitorizării sistemelor miniere de extragere*, Teză de doctorat, Universitatea din Petroșani, 2017;
15. Hamrin, H., Htrulid, W., Bullock, R. *Underground mining methods and applications*, Underground mining methods: Engineering fundamentals and international case studies, 2001; pp. 3-14;
16. *Heat Generation in a Disc Brake Solved with COMSOL Multiphysics 4.3a*, Available online: <https://cdn.comsol.com/wordpress/2013/02/Step-by-step-guide-for-modeling-heat-generation-in-a-disc-brake.pdf>;
17. *Heat Generation in a Disc Brake Created in COMSOL Multiphysics 5.6*, Available online: https://www.comsol.com/model/download/818061/models.heat.brake_disc.pdf;
18. Iliș, N., Magyari, A., Adam, D., Popescu, F. *Control system for the operational parameters of the multirope hoisting installations*, Proceedings of the 6th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection (MPES), OSTRAVA, CZECH REPUBLIC, SEP 03-06, 1997, WOS:000072399700109;
19. Iliș, N., *Mașini miniere, exemple de calcul*, Editura Tehnică București, 1993;
20. Jian, Q., Shui, Y. *Numerical and experimental analysis of transient temperature field of ventilated disc brake under the condition of hard braking*, Int. J. Therm. Sci. 2017, 122, 115–123;
21. Kurowski, P.,M., *Engineering Analysis with SOLIDWORKS® Simulation 2015*;
22. LAURA COJANU, **VALENTIN POPESCU**, CONSTANTIN LAURENȚIU BRÎNAȘ, FLORIN DUMITRU POPESCU, *MODELING AND SIMULATION OF*

- A TWIN SCREW COMPRESSOR OPERATION*, Annals of the University of Petroșani, Mechanical Engineering, 26 (2024);
23. Limpert, R. *Brake Design and Safety*, 3rd ed.; SAE International: Warrendale PA, USA, 2011, doi:10.4271/r-398;
24. Magyari, A. *Instalații mecanice miniere*, Editura Tehnică, București, 1990;
25. Marian, I. *Transport minier*, E.D.P., București, 1965;
26. Marian, I. *Utilaje de încărcare și transport minier*, Editura Tehnică, București, 1991;
27. Mereș, N., ș.a., *Instalații de extracție, pompe, ventilatoare și compresoare în industria minieră*, Editura Tehnică, București, 1971;
28. Naji, M., Al-Nimr, M., Masoud, S. *Transient thermal behavior of a cylindrical brake system*, J Heat Mass Transf 2000, 36 ,45–49;
29. Palaghian, L., *Siguranță, durabilitate și fiabilitate la oboseală*, Editura Tehnică, București, 2007;
30. Popescu, F.D. *Aplicații industriale ale tehnicii de calcul*, Editura AGIR, București, 2009;
31. Popescu, F.D., Mitran, I. *The analysis of vertical transport installations considering the theory automatic systems*, Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on SYSTEM SCIENCE and SIMULATION in ENGINEERING (ICOSSE '09), University of Genova, Genova, Italy October 17-19, 2009, ISSN: 1790-2769, ISBN: 978-960-474-131-1, WOS:000276623100020;
32. Popescu, F.D. *Instalații de transport pe verticală*, Editura Focus, Petroșani, 2010;
33. Popescu, F.D., Dimirache, G. *Instalații de transport pe verticală –Calcul de verificare și dimensionare*, Editura Focus, Petroșani, 2011;
34. Popescu, F.D., Radu, S.M. *Vertical hoist systems, New trends optimizations*, LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken Germany, 2013;
35. Popescu, F.D. *Minimising the actuating power of vertical transport installations by optimisation of dynamic and kinematics parameters*, INTERNATIONAL JOURNAL OF MECHANICS, Issue 3, Volume 7, 2013, pp.262...276;
36. Popescu, F.D. *Dynamic and kinematics parameters optimisation of vertical transport installations*, Proceedings of the 12th International Conference on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases (AIKED '13), Cambridge, UK February 20-22, 2013;

37. Popescu, F.D. *SIMULAREA ȘI MODELAREA FORȚELOR ȘI PUTERILOR LA INSTALAȚIILE DE EXTRACȚIE MULTICABLU ECHILIBRATE STATIC CU AJUTORUL SOLIDWORKS®*, Revista Minelor, Vol.21, Nr.4/2015, pp.24...33;
38. Popescu, F.D. *STUDIUL CINEMATII INSTALAȚIILOR DE EXTRACȚIE MULTICABLU ECHILIBRATE STATIC CU AJUTORUL SOLIDWORKS®*, Revista Minelor, Vol.22, Nr.2/2016, pp.31...36;
39. Popescu F, ș.a. *The method of minimizing the calculated power of vertical transport installations*, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, ISBN 978-619-7105-00-1 / ISSN 1314-2704, 29 June - 5 July, 2017, Vol. 17, Issue 13, 901-908 pp, DOI: 10.5593/sgem2017/13/S03.114;
40. Popescu, F.D., ș.a. *New Trends To Optimize The Operating Parameters Of Vertical Transport Installations*, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-00-1 / ISSN 1314-2704, 29 June - 5 July, 2017, Vol. 17, Issue 13, 581-590 pp, DOI: 10.5593/sgem2017/13/S03.074;
41. Popescu, F. D., ș.a. *Infografică, modelare și simulare asistată de calculator*, Editura Universitas, Petroșani, 2020;
42. Popescu, F. D., ș.a. *Infografică, modelare și simulare asistată de calculator – format electronic*, Editura Universitas, Petroșani, 2020;
43. Popescu, F.D., Radu, S.M., Andras, A., Brinas, I., *Numerical Modeling of Mine Hoist Disc Brake Temperature for Safer Operation*, Sustainability 2021, 13(5), 2874, WOS:000628676400001;
44. Popescu, FD (Popescu, Florin Dumitru); Radu, SM (Radu, Sorin Mihai); Andraș, A (Andraș, Andrei); Brinaș, I (Brinaș, Ildiko); Budilică, DI (Budilică, Daniela Ioana); **Popescu, V (Popescu, Valentin)**, *Comparative Analysis of Mine Shaft Hoisting Systems' Brake Temperature Using Finite Element Analysis (FEA)*, MATERIALS, Volume15, Issue 9, Article Number 3363, DOI10.3390/ma15093363, **Q1**, Published: MAY 2022, **WOS:000800732600001**;
45. Radu S. M., ș.a. *Transport și instalații miniere*, Editura Universitas, Petroșani, 2018;
46. Radu S. M., ș.a. *Transport și instalații miniere – varianta electronică*, Editura Universitas, Petroșani, 2018;
47. Radu S.M., ș.a. *Mining Transportation and Equipment*, LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken Germany, 2018;

48. Singh, H., Shergill, H. *Thermal Analysis of Disc Brake Using Comsol*, Int. J. Emerg. Technol. 2012, 3, 84–88;
49. Talati, F., Jalalifar, S. *Analysis of heat conduction in a disc brake system*, Heat Mass Transfer 2009, 45, 1047–1059, doi:10.1007/s00231-009-0476-y;
50. Tsai, H.L., Teo, H.G., Gau, C., Jeng, S.T., Lee, C.C., Lin, S.W., Lin, S.C. *Transient Thermal Analysis of a Disk Brake System*, In Proceedings of the 14th National Computational Fluid Dynamics Conference, New Taipei City, Taiwan, 27–29 August 2007;
51. Tunsoiu, G., *Acționări electrice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982;
52. **VALENTIN POPESCU**, LAURA COJANU, FLORIN DUMITRU POPESCU, *ANALYSIS OF THE DYNAMIC REGIME OF THE ACTUATING ELEMENT IN DISC BRAKES OF MINE HOISTING SYSTEMS*, Annals of the University of Petroșani, Mechanical Engineering, 26 (2024);
53. Yevtushenko, A., Kuciej, M., Grzes, P., Wasilewski, P. *Comparative Analysis of Temperature Fields in Railway Solid and Ventilated Brake Discs*, Materials 2021, 14, 7804, <https://doi.org/10.3390/ma14247804>;
54. Yevtushenko, A.A., Kuciej, M. *One-dimensional thermal problem of friction during braking: The history of development and actual state*, Int. J. Heat Mass Transf. 2012, 55, 4148–4153;
55. Yevtushenko, A.A., Kuciej, M.; Topczewska, K. *Effect of the temporal profile of the friction power on temperature of a pad-disc brake system*, J. Theoret. Appl. Mech. 2019, 57, 461–473;
56. Zabolotny, K., Zhupiev, O., Molodchenko, A. *Analysis of current trends development of mining hoist design engineering*, în: New developments in mining engineering 2015: Theoretical and practical solutions of mineral resources mining;
57. Zamfir, V., Dimirache, G. *Teoria mecanismelor pentru sisteme automate și roboți industriali: Notițe de curs*, Editat la Universitatea din Petroșani, 1996;
58. Contract nr.219 APSP din 18.07.2012, *Studiul posibilităților de îmbunătățire constructiv-funcțională a frânelor instalațiilor de extracție din cadrul C.N.H. Petroșani, cu privire specială la instalațiile multicablu cu schip*, încheiat între Compania Națională a Huilei S.A. Petroșani ca autoritate contractantă și S.C. Incerc Proiect S.A. Timișoara ca prestator;
59. Contract nr. 151 ASL/2008, *Studiul posibilităților de perfecționare a sistemelor de urmărire și control a parametrilor instalațiilor de extracție miniere din cadrul*

C.N.H. Petroșani, între Institutul de Cercetări și Proiectări Miniere S.A. Petroșani ca prestator și C.N.H. Petroșani ca beneficiar;

60. Contract nr.212 din 30.11.2009, *Studiul posibilităților de optimizare a parametrilor de funcționare ai instalațiilor de extracție din cadrul C.N.H Petroșani în vederea minimizării puterii de acționare și a consumului de energie*, încheiat între Compania Națională a Huilei S.A. Petroșani ca autoritate contractantă și S.C. Incerc Proiect S.A. Timișoara ca prestator;
61. Contract nr.153 ASL din 27.08.2008, *Studiul posibilităților de prelungire a duratei de funcționare a cablurilor de extracție miniere prin soluții constructive și de control, la unitățile miniere din cadrul C.N.H. Petroșani*, încheiat între S.C. INCERC PROIECT S.A. Timișoara ca prestator și C.N.H. Petroșani ca beneficiar.