

**MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ**

TEZĂ DE ABILITARE

DOMENIUL: *INGINERIE MECANICĂ*

Autor: *Prof.univ.dr.ing. Liviu Sevastian BOCÎ*

Universitatea "Aurel Vlaicu" din Arad

2023

**MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ**

**CERCETĂRI PRIVIND DETERMINAREA,
CORELAREA ȘI OPTIMIZAREA
PARAMETRILOR SISTEMELOR DE FRÂNARE
ALE VEHICULELOR FERROVIARE DE MARE
VITEZĂ**

DOMENIUL: *INGINERIE MECANICĂ*

Autor: *Prof.univ.dr.ing. Liviu Sevastian BOCÎ*

Universitatea "Aurel Vlaicu" din Arad

2023

S U M M A R Y

Habilitation Thesis: *Researches on the determination, correlation and optimization of the parameters of the braking systems of the high-speed railways vehicles* presents the main results of the author's scientific and didactic activity, reflecting the concerns for inter and multidisciplinary research of the 30 years of professional and teaching career.

In **the first chapter**: *The synthesis of scientific and professional results*, the most important achievements obtained by the author in the didactic activity and scientific research were presented. During the teaching activity carried out as a holder at the "Aurel Vlaicu" University of Arad, as an associate in other universities of the country (University of Petroșani, University of Craiova) and as a guest professor in universities abroad (Technological Institute of Higher Studies of Monterrey, Mexico City Campus, Department of Mechatronics, August 1 - December 17, 2014; Polytechnic University of Puebla, Mexico, Departments: Mechatronics and Road Vehicles, August 7 - December 23, 2015, and University of Zaragoza, Spain), I have taught disciplines both in the **field** (*Structure and properties of metals; Materials science; Mechanics*), as well as **speciality** (*Automatic brakes; Traction of trains; Calculation and construction of structures of load of railway vehicles; Transport Systems; Railway vehicles with thermal engines; Quality control and assurance*), in **license** study programs and: *Legislation, quality and standardization in transport; Braking systems for high-speed railways vehicles; Quality systems; Road transport; Non-road transport systems*, for students **master's degree**, as well as courses and lectures on the following topic: *The dynamics of the rails; Dynamics of rolling stock; Vehicle - rail interaction; Pantograph - catenary interaction; The problem of wind in high speed railways*, in the **doctoral program**: *New Automotive Technologies*.

All the didactic activity I carried out by approaching modern *teaching - learning - evaluation* methods and taking into account, permanently, the principles of quality assurance in education.

In **the Chapter 2**: *Braking systems used in high-speed railways vehicles*, the results of theoretical and experimental research on *braking systems* used in high-speed railways vehicles to increase their efficiency of rail vehicles are presented. Thus, after a brief presentation of the main trains and high-speed railways networks in the world, the braking systems were analyzed, specifying: *the definition of the braking systems, their functions and classification*, as well as *the conditions imposed on the braking systems for high-speed railways vehicles*.

The main braking systems used in high-speed railways vehicles are *the mechanical system* (shoe brake, disc brake, electromagnetic track brake) and *the electrical system* (rheostatic brake, recuperative brake, Foucault currents brake). Among these brakes were presented in detail the brakes that gave very good results both in tests (on the stand or on the current line) and in operation (shoe brake, disc brake, electromagnetic brake on the rail).

The comparative analysis of the construction solutions of the brakes applied to high-speed rail vehicles was carried out, within the habilitation thesis, on the basis of the following

parameters: *the coefficient of friction between the elements of friction braking systems of braking systems (μ); the absorption coefficient of the kinetic energy of the vehicle (ε_a); braking space (S_f) and deceleration when braking (a_f).* The main conclusion to be drawn from this analysis is *to obtain optimal braking characteristics when stopping high-speed railways vehicles by using simultaneous (common command) or by combining the brakes of mechanical systems (disc brake, electromagnetic rail brake) and electric (rheostatic electric brake or recuperative electric brake).*

Chapter 3: Research on the parameters of the braking systems of high-speed railways vehicles, includes the results of theoretical and experimental research (on stand and on the running line) with respect to the parameters of the braking systems for the industrial and efficient use of high-speed rail vehicles. The main parameters analyzed and calculated theoretically and experimentally are: *the wheel-rail adhesion coefficient in braking (f_a), the coefficient of friction between the elements of the friction couple (μ), the kinetic energy of the rail vehicle at the stop of braking (E_{cf}), the average braking power (P_{mf}) and the average temperature of the friction element surfaces (T_m).*

The existence of the *adherence* allowed movement through the contact between the rolling surfaces of the wheels and the superior parts of the rails (steel on steel), reaching through this system the current world speed record of **574.8 km/h** the **April 3, 2007** by train **V-150**, in one of the sections of the new high-speed train line **Paris - Strasbourg**. To highlight the importance of this physical phenomenon: adherence, within this thesis chapter of habilitation, a summary of the criteria which define the coefficient of adhesion (f_a) was presented, as well as its variations with the speed for each one.

In order to refer to the friction coefficient between the surfaces of the friction elements of two brakes of the mechanical braking system: *the brake shoe* (used as a parking brake for high-speed railways vehicles) and *the disc brake* (main brake), inside of the habilitation thesis, the results of the experimental research carried out by the author using tensometric devices in the current line were presented. Therefore, with the help of these devices, it was possible to determine, dynamically, both the force of pressing the wheels of the shoe (brake shoe) and the friction pads on the brake disc. The friction coefficient values obtained experimentally fall within the limits imposed by the UIC (*International Union of Railways*) through the UIC 541-3 sheet ($\mu = 0.28 \dots 0.46$).

In order to choose a certain type of brake, it is necessary to know the kinetic energy that must be dissipated by the elements of the frictional coupling and the power at a braking stop at high speeds. Thus, after establishing the calculation relationships of the kinetic energy dissipated and the average braking power corresponding to this energy for the disc brake, it was proceeded to the effective calculation of these parameters considering the high speed frame TGV - PSE, equipped with disc brake. Using the values obtained from the calculation, the velocity variations of these parameters were represented for different stopping braking times (t_b).

The surface *temperature* of the friction coupling elements of a brake is one of the important criteria for choosing and using this brake on high-speed rail vehicles. Within the habilitation thesis, this parameter as well as the materials of the elements of the brake disc of the disc brake (friction pad and the brake disc) were given special importance. Thus, after establishing and solving the heat equation (Fourier) for the case of stopping braking, the

method of calculating the average surface temperature of the elements of the Hasselgruber friction couple as well as a critical analysis of this method was presented. The values and the allure of the temperature obtained by this method leads to the conclusion that Hasselgruber considered some of the physical properties of the materials of the frictional elements (*density, specific heat, thermal conductivity*) constant with temperature variation, which was not confirmed by the experimental research of the author of the thesis. In view of these findings, the author of the habilitation thesis completed the method proposed by Hasselgruber considering the temperature variation of the specific heat c_a , c_g and the thermal conductivity λ_d and λ_g of the brake discs (**A** and **B**) and the friction linings (**1** and **2**) used for research. The results obtained, both theoretically and experimentally, are presented synthetically (table with temperature values) and graphically (temperature variation with stopping braking duration) within the thesis.

In **Part II (chapter 4)**: *The plan of the professional teaching and scientific research career development*, presents the main directions and objectives that will be the basis for the development of the teaching and scientific research career.

Part III: *The bibliography* includes the list of bibliographic landmarks, grouped into the author's and general, used during the Researches and the elaboration of the habilitation thesis.

REZUMAT

Teza de abilitare: *Cercetări privind determinarea, corelarea și optimizarea parametrilor sistemelor de frânare ale vehiculelor feroviare de mare viteză*, prezintă principalele rezultate ale activității didactice și de cercetare științifică ale autorului reflectând preocupările pentru cercetarea *inter și multidisciplinară* din cei 30 de ani de carieră profesională și didactică.

În **primul capitol**: *Sinteza rezultatelor științifice și profesionale*, s-au prezentat cele mai importante realizări obținute de autor în activitatea didactică și de cercetare științifică. Pe parcursul activității didactice desfășurate ca *titular* în cadrul *Universității "Aurel Vlaicu" din Arad*, ca *asociat* în alte universități din țară (*Universitatea din Petroșani, Universitatea din Craiova*) și ca *profesor invitat* în universități din străinătate (*Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Ciudad de México, Departamentul de Mecatronică, 1 august – 17 decembrie 2014, Universidad Politécnica de Puebla, México, departamentele: Mecatronică și Autovehicule rutiere, 7 august – 23 decembrie 2015, și Universidad de Zaragoza, Spania*) am predat discipline atât de domeniu (*Structura și proprietățile metalelor; Știința materoalelor; Mecanică*) cât și de specialitate (*Frâne automate; Tracțiunea trenurilor; Calculul și construcția structurilor portante ale vehiculelor feroviare; Sisteme de transport; Vehicule feroviare cu motoare termice; Controlul și asigurarea calității*, în cadrul programelor de studii de licență și: *Legislație, calitate și standardizare în transporturi; Sisteme de frânare pentru vehicule feroviare de mare viteză; Sisteme de calitate; Transport rutier; Sisteme de transport nerutiere pentru studenții masteranzi precum și cursuri și conferințe pe următoarea tematică: Dinamica căii de rulare; Dinamica materialului rulant; Interacțiunea vehicul-cale; Interacțiunea pantograf – catenară. Problematica vântului în marea viteză feroviară* în cadrul programului de doctorat: *Nuevas Tecnologías en Automoción*).

Toată activitatea didactică am desfășurat-o abordând metode de *predare - învățare – evaluare* moderne și ținând cont, în permanență, de principiile asigurării calității în educație.

În **capitolul 2**: *Sisteme de frânare utilizate pe vehiculele feroviare de mare viteză*, se prezintă rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale asupra *sistemelor de frânare utilizate pe vehiculele feroviare de mare viteză* în vederea măririi eficacității acestora. Astfel, după o scurtă prezentare a principalelor trenuri și rețele feroviare de mare viteză din lume. s-au analizat sistemele de frânare precizându-se: *definirea sistemelor de frânare, funcțiile și clasificarea acestora* precum și *condițiile impuse sistemelor de frânare pentru vehiculele feroviare de mare viteză*.

Principalele sisteme de frânare utilizate pe vehiculele feroviare de mare viteză sunt *sistemul mecanic* (frâna cu saboți, frâna cu disc, frâna electromagnetică pe șină) și *sistemul electric* (frâna reostatică, frâna recuperativă, frâna cu curenți Foucault). Dintre aceste frâne s-au prezentat detaliat frânele care au dat rezultate foarte bune atât la încercări (pe stand sau în

linie curentă), cât și în exploatare (frâna cu saboți, frâna cu disc, frâna electromagnetică pe șină).

Analiza comparativă a soluțiilor constructive de frâne aplicate la vehiculele feroviare de mare viteză s-a făcut, în cadrul tezei de abilitare, pe baza următorilor parametri: *coeficientul de frecare dintre elementele cuplelor de frecare ale sistemelor de frânare (μ); coeficientul de absorbție (ε_a) a energiei cinetice a vehiculului (ε); spațiul de frânare (S_f) și decelerația la frânare (a_f).* Principala concluzie care se desprind din această analiză este *obținerea unor caracteristici de frânare optime la frânarea de oprire a vehiculele feroviare de mare viteză prin utilizarea simultană (comandă comună) sau combinarea frânelor sistemelor mecanic (frâna cu disc, frâna electromagnetică pe șină) și electric (frâna dinamică reostatică sau recuperativă).*

Capitolul 3: Cercetări privind parametrii sistemelor de frânare ale vehiculelor feroviare de mare viteză, cuprinde rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale (pe stand și în linie curentă) privind parametrii sistemelor de frânare pentru utilizarea industrială și eficiență a vehiculelor feroviare de mare viteză. Principalii parametri analizați și calculați teoretic și determinați experimental sunt: *coeficientul de aderență roată-șină la frânare (f_a), coeficientul de frecare dintre elementele cuplei de frecare (μ), energia cinetică a vehiculului feroviar la frânarea de oprire (E_{cf}), puterea medie de frânare (P_{mf}) și temperatura medie a suprafețelor elementelor cuplei de frecare (T_m).*

Existența aderenței a permis realizarea deplasării prin contactul dintre suprafețele de rulare ale roților și ciupercile șinelor (oțel pe oțel) atingându-se prin intermediul acestui sistem recordul mondial actual de viteză de **574,8 km/h** în data de **3 aprilie 2007** de trenul (automotorul) **V-150**, pe unul din tronsoanele noii linii feroviare de mare viteză **Paris – Strasbourg**. Pentru a scoate în evidență importanța pe care o are acest fenomen fizic – aderența, în cadrul acestui capitol al tezei de abilitare s-au prezentat o sinteză a criteriilor de definire a coeficientului de aderență (f_a) precum și variațiile acestuia cu viteza pentru fiecare dintre aceste criterii.

Pentru coeficientul de frecare dintre suprafețele elementelor cuplei de frecare pentru două frâne ale sistemului mecanic de frânare: *frâna cu saboți* (utilizată ca frână de staționare în cazul vehiculelor feroviare de mare viteză) și *frâna cu disc* (frână principală), în cadrul tezei de abilitare s-au prezentat rezultatele cercetărilor experimentale efectuate de autor utilizând dispozitive tensometrice în linie curentă. Astfel, cu ajutorul acestor dispozitive s-au putut determina, în regim dinamic, atât forța de apăsare a saboților pe roți (frâna cu saboți) și a garniturilor de frecare pe discul de frână. Valorile coeficientului de frecare obținute experimental se încadrează în limitele impuse de UIC (*Union Internayonale des Chemins de Fer, International Union of Railways*) prin fișa UIC 541-3 ($\mu = 0,28 \dots 0,46$).

Pentru alegerea unui anumit tip de frână este necesar să se cunoască energia cinetică care trebuie disipată de către elementele cuplei de frecare și puterea la o frânare de oprire de la viteze mari. Astfel, după stabilirea relațiilor de calcul ale energiei cinetice disipate și ale puterii medii de frânare corespunzătoare acestei energii pentru frâna cu disc, s-a trecut la calculul efectiv al acestor parametri considerându-se rama de mare viteză TGV – PSE, echipată cu frână cu disc. Cu ajutorul valorilor obținute din calcul s-au reprezentat variațiile cu viteza a acestor parametri pentru diferite durate ale frânării de oprire (t_b).

Temperatura suprafeței elementelor cuplei de frecare ale unei frâne este unul dintre criteriile importante de alegere și utilizare a acestei frâne pe vehiculele feroviare de mare

viteză. În cadrul tezei de abilitare s-a acordat o importanță deosebită acestui parametru precum și materialelor elementelor cuplei de frecare ale frânei cu disc (garnitura de frecare și discul de frână). Astfel, după stabilirea și rezolvarea ecuației căldurii (Fourier) pentru cazul frânării de oprire, s-a prezentat metoda de calcul a temperaturii medii a suprafeței elementelor cuplei de frecare a lui Hasselgruber precum și o analiză critică a acestei metode. Valorile și alura temperaturii obținute prin această metodă conduce la concluzia că Hasselgruber a considerat unele dintre proprietățile fizice ale materialelor elementelor cuplei de frecare (*densitatea, căldura specifică, conductivitatea termică*) constante la variația temperaturii, fapt care nu s-a confirmat prin cercetările experimentale ale autorului tezei de abilitare. Ținând seama de aceste constatări, autorul tezei de abilitare a completat metoda propusă de Hasselgruber considerând variația cu temperatura a căldurii specifice c_d , c_g și a conductivității termice λ_d și λ_g ale discurilor de frână (**A** și **B**) și garniturilor de frecare (**1** și **2**) utilizate pentru cercetare. Rezultatele obținute, atât teoretic cât și experimental, sunt prezentate în cadrul tezei de abilitare sintetic (tabel cu valorile temperaturii) și grafic (variația temperaturii cu durata frânării de oprire).

În **Partea a II a (capitolul 4): Planul de dezvoltare a carierei profesionale didactice și de cercetare științifică**, se prezintă principalele direcții și obiective care vor constitui baza pentru dezvoltarea carierei didactice și de cercetare științifică.

Partea a III a: Bibliografia, cuprinde lista reperelor bibliografice, grupate în proprii și generale, utilizate pe parcursul cercetărilor efectuate și elaborării tezei de abilitare.