

## REZUMAT

# Teza de doctorat „STUDIUL PERFORMANTELOR TERMOGAZODINAMICE ALE EJECTOARELOR SUBSONICE UTILIZATE ÎN AERAJUL MINIER”, elaborată de ing. Ionițescu (Dămian) Măriuca-Nadia, sub conducerea științifică a prof.univ.dr.ing. Radu Sorin-Mihai

## CUPRINS

|  |            |
|--|------------|
| Cuprins.....   | 3          |
| Lista prescurtărilor, lista figurilor, lista tabelelor .....   | 5          |
| Introducere .....  | 13         |
| <b>1 Ecuatiile fundamentale ale termogazodinamicii .....</b>   | <b>19</b>  |
| 1.1 Ecuatia de continuitate .....  | 19         |
| 1.2 Ecuatia conservării energiei .....   | 23         |
| 1.3 Ecuatia conservării cantității de mișcare .....  | 28         |
| 1.4 Ecuatia conservării momentului cantității de mișcare .....   | 29         |
| <b>2 Curgerea gazelor prin ajutaje și difuzoare geometrice .....</b>   | <b>31</b>  |
| 2.1 Ajutajul geometric axial pentru gazul perfect .....  | 31         |
| 2.2 Ajutajul geometric axial, subsonic, pentru gazul perfect .....   | 33         |
| 2.3 Ajutajul geometric subsonic sau supersonic, cu destindere incompletă, pentru gazul perfect .....   | 35         |
| 2.4 Ajutaje geometrice prea lungi sau prea scurte pentru condițiile reale de funcționare (pentru gaze perfecte) .....                            | 40         |
| 2.5 Transformarea energiei cinetice a unui gaz perfect în energie potențială. Difuzorul geometric subsonic .....                                 | 56         |
| 2.6 Pierderi de presiune în difuzorul geometric subsonic .....   | 59         |
| 2.7 Construcția difuzoarelor geometrice subsonice .....  | 64         |
| <b>3 Termogazodinamica jeturilor de gaze .....</b>   | <b>68</b>  |
| 3.1 Mărimile caracteristice ale unui jet de gaz izoterm .....  | 71         |
| 3.2 Mărimile caracteristice ale jetului liber rotund, izoterm .....  | 73         |
| 3.3 Calculul analitic al mărimilor caracteristice ale jetului rotund (axial simetric) .....  | 85         |
| 3.4 Calculul analitic al mărimilor caracteristice ale jetului plan izoterm .....   | 98         |
| 3.5 Caracteristicile jeturilor concurente .....  | 99         |
| 3.6 Jeturi neizoterme cu temperatură puțin diferită de a mediului ambiant .....  | 104        |
| 3.7 Calculul analitic al mărimilor caracteristice ale jetului axial simetric neizoterm cu temperatură puțin diferită de a mediului ambiant ..... | 107        |
| <b>4 Ejectoare .....</b>   | <b>111</b> |
| 4.1 Generalități privind ejectoarele .....   | 111        |
| 4.2 Bilanțul energetic al ejectoarelor .....   | 116        |
| 4.3 Ejectorul subsonic cu gaze perfecte .....  | 120        |
| 4.4 Ejectorul subsonic cu gaze reale .....   | 125        |
| 4.5 Ventejectorul Coandă .....   | 140        |
| 4.5.1 Noțiuni generale despre ejectoarele Coandă .....   | 140        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.5.2    | Cercetări și realizări experimentale privind ventejecția și fluidopropulsia COANDĂ .....  | 143        |
| 4.6      | Tipuri de ejectoare utilizate în minerit .....  | 157        |
| 4.6.1    | Ejectoare de aer - ventejectoare Coandă .....   | 157        |
| 4.6.2    | Pompe cu ejector .....  | 158        |
| <b>5</b> | <b>Experimentări vizând performanțele energetice ale ventejectorului Coandă utilizat în mineritul carbonifer .....</b>  | <b>160</b> |
| 5.1      | Descrierea standului experimental utilizat la determinarea mărimilor cu caracter termogazodinamic și energetic .....  | 160        |
| 5.2      | Dependența performanțelor funcționale, aferente ventejectorului Coandă, de regimul presiunii de alimentare cu energie pneumatică .....  | 166        |
| 5.3      | Bilanțul energetic real orar pentru diferite regimuri de funcționare ale ventejectorului Coandă. Tabele recapitulative și diagrame Sankey .....                                 | 172        |
| 5.3.1    | Presiunea absolută a aerului comprimat $p_{abs} = 5,44$ bar .....   | 172        |
| 5.3.2    | Presiunea absolută a aerului comprimat $p_{abs} = 4,14$ bar .....   | 174        |
| 5.3.3    | Presiunea absolută a aerului comprimat $p_{abs} = 3,44$ bar .....   | 176        |
| 5.3.4    | Presiunea absolută a aerului comprimat $p_{abs} = 2,94$ bar .....   | 178        |
| 5.3.5    | Presiunea absolută a aerului comprimat la sarcina medie $p_{abs} = 3,99$ bar ...  | 180        |
| 5.4      | Interpretarea datelor experimentale și precizarea unor măsuri pentru creșterea performanțelor funcționale și a eficienței energetice pentru ventejectorul Coandă analizat ..... | 182        |
| <b>6</b> | <b>Concluzii. Propuneri .....</b>   | <b>189</b> |
| <b>7</b> | <b>Contribuții personale .....</b>  | <b>192</b> |
|          | <b>Bibliografie .....</b>   | <b>194</b> |

Scopul acestei teze constă în studierea unor soluții de înlocuire a ventilatoarelor pneumatice/electropneumatice din aerajul unor zone cu potențial exploziv, atenția concentrându-se pe exploatarea carbonifere subterane. Soluțiile vizate se referă la sisteme de vehiculare a aerului fără piese în mișcare (capabile să declanșeze scânteii prin frecare). Întrucât ejectoarele pneumatice au deja o tradiție în mineritul carbonifer, în cadrul prezentei lucrări am încercat, pe baza informațiilor din literatura de specialitate, să fundamentez analitic procesele din ejectoarele subsonice și să verific experimental, din punct de vedere al performanțelor energetice, o aplicație mai puțin utilizată la ora actuală referindu-mă la ventejectorul bazat pe efectul Coandă.

Pentru determinarea valorilor mărimilor măsurabile direct, necesare calculării elementelor de bilanț energetic și performanțelor energetice, am conceput și realizat un stand de laborator adaptat tipului de ventejector Coandă pe care l-am avut la dispoziție.

Principalele mărimi măsurate cu ajutorul standului realizat sunt:

- presiunea barometrică (barometru aneroid);
- temperatura aerului din laborator (aparatură multifuncțional Volcraft);

- umiditatea relativă a aerului din laborator (psihrometrul Assmann, aparatul multifunctional Volcraft);
- temperatura aerului comprimat (termometru cu mercur);
- presiunea aerului comprimat (manometru cu tub Bourdon);
- diferența de presiune (manometru diferențial) la diafragma montată pe circuitul de alimentare cu aer comprimat;
- viteza aerului la aspirarea ventejectorului Coandă (anemometru cu cupe);
- diferența de presiune (manometru diferențial) la tubul Pitot-Prandtl montat pe refularea aerului din ventejectorul Coandă;
- temperatura;
- presiunea statică;
- presiunea totală;
- presiunea dinamică;
- viteza și debitul de aer vehiculat pe conducta de transport a aerului refulat de ventejectorul Coandă (tubul Pitot-Prandtl cuplat la aparatul Testo care transmite datele la laptop).

Pe baza datelor achiziționate cu ajutorul sistemului de măsurare am calculat:

- masa specifică pentru aerul atmosferic și aerul comprimat;
- debitul de aer aspirat de ventejectorul Coandă;
- debitul de aer refulat de ventejectorul Coandă;
- debitul de aer comprimat utilizat;
- factorul de antrenare al ventejectorului Coandă;
- puterea curentului de aer comprimat;
- puterea curentului de aer refulat de ventejectorul Coandă;
- randamentul energetic al ventejectorului Coandă;
- consumul specific de energie pneumatică al ventejectorului Coandă;
- energia utilizată;
- energia valorificată util;
- pierderea de energie în procesul de amestecare a fluidului motor cu fluidul ejectat;
- pierderea de energie în confuzor;
- pierderea de energie în difuzor;
- pierderea liniară de energie.

Calculule performanțelor cantitative și calitative semnificative le-am realizat pe baza unui program întocmit în MathCad.

În **Capitolul 1** am prezentat ecuațiile fundamentale ale termogazodinamicii: ecuația de continuitate, ecuația conservării energiei, ecuația conservării cantității de mișcare, ecuația conservării momentului cantității de mișcare, relații care guvernează procesele din ejectoarele pneumatice.

**Capitolul 2** include elemente constructive și funcționale referitoare la procesele aferente curgerii gazelor prin principalele componente ale ejectoarelor pneumatice: ajutorajul geometric axial pentru gazul perfect, ajutorajul geometric axial subsonic pentru gazul perfect, ajutorajul geometric subsonic sau supersonic cu destindere incompletă pentru gazul perfect, ajutoraje geometrice prea lungi sau prea scurte pentru condițiile reale de funcționare, transformarea energiei cinetice a unui gaz perfect în energie potențială la difuzorul geometric subsonic, pierderi de presiune în difuzorul geometric subsonic, construcția difuzoarelor geometrice subsonice.

**Capitolul 3** este axat pe aspectele analitice ale mărimilor caracteristice aferente jeturilor de gaze în funcție de procesele termogazodinamice: mărimile caracteristice ale unui jet de gaz izoterm, mărimile caracteristice ale jetului liber rotund – izoterm, calculul analitic al mărimilor caracteristice ale jetului rotund (axial simetric), calculul analitic al mărimilor caracteristice ale jetului plan izoterm, caracteristicile jeturilor concurente, jeturi neizoterme cu temperatură puțin diferită de a mediului ambiant, calculul analitic al mărimilor caracteristice ale jetului axial simetric neizoterm cu temperatură puțin diferită de a mediului ambiant.

**Capitolul 4** descrie aspectele constructive, funcționale și de performanță pentru ejectoarele cu gaze: generalități privind ejectoarele, bilanțul energetic al ejectoarelor, ejectorul subsonic cu gaze perfecte, ejectorul subsonic cu gaze reale, ventejectorul Coandă, tipuri de ejectoare utilizate în minierit.

**Capitolul 5** cuprinde partea experimentală și originală a tezei referindu-se la experimentările vizând performanțele energetice ale ventejectorului Coandă utilizat în minieritul carbonifer: descrierea standului experimental utilizat la determinarea mărimilor cu caracter termogazodinamic și energetic, dependența performanțelor funcționale, aferente ventejectorului Coandă, de regimul presiunii de alimentare cu energie pneumatică, bilanțul energetic real orar pentru diferite regimuri de funcționare ale ventejectorului Coandă – tabele recapitulative și diagrame Sankey, interpretarea datelor experimentale și

precizarea unor măsuri pentru creșterea performanțelor funcționale și a eficienței energetice pentru ventejectorul Coandă analizat.

În **Capitolul 6** sunt prezentate concluziile și propunerile rezultate în urma studiului efectuat:

- debitul de aer refulat de ventejectorul Coandă crește cu presiunea aerului comprimat după o curbă polinomială concavă de gradul 3;
- debitul de aer aspirat de ventejectorul Coandă crește cu presiunea aerului comprimat după o curbă polinomială concavă de gradul 3;
- debitul de aer comprimat utilizat de ventejectorul Coandă crește cu presiunea aerului comprimat după o curbă logaritmică;
- factorul de antrenare al ventejectorului Coandă scade la creșterea presiunii aerului comprimat după o curbă polinomială convexă de gradul 2;
- puterea disponibilă a aerului comprimat crește liniar cu presiunea;
- puterea utilă a curentului de aer vehiculat de ventejectorul Coandă crește liniar cu presiunea;
- randamentul energetic al ventejectorului Coandă scade la creșterea presiunii aerului comprimat după o curbă convexă;
- consumul specific de energie al ventejectorului Coandă crește la creșterea presiunii aerului comprimat după o curbă logaritmică de formă concavă;
- valoarea cantitativă a pierderilor energetice în ventejectorul Coandă crește liniar cu presiunea;
- valoarea procentuală a pierderilor energetice în ventejectorul Coandă crește liniar cu presiunea aerului comprimat în intervalul 3–3,5 bar, crește după o curbă de formă concavă în intervalul 3,5–4 bar și devine constantă invariabilă în funcție de presiune în intervalul 4–5,5 bar;
- valoarea cantitativă a energiei pneumatice utilizate în ventejectorul Coandă crește liniar cu presiunea aerului comprimat;
- valoarea cantitativă a energiei valorificate în ventejectorul Coandă crește liniar cu presiunea aerului comprimat;
- scăderea procentuală a energiei utile din ventejector în funcție de presiunea aerului comprimat este descrisă printr-o curbă polinomială de gradul 2;
- determinările experimentale evidențiază faptul că variațiile puterii aerului comprimat și a puterii aerului vehiculat de ventejector în funcție de presiunea aerului comprimat sunt crescătoare, dar ecartul dintre ele se majorează cu creșterea presiunii;

○ observația de mai sus este corelată cu variația randamentului energetic al ventejectorului în funcție de presiunea aerului comprimat care scade pe măsură ce presiunea aerului comprimat crește;

○ cele două observații referitoare la puteri și randamente sunt confirmate și de tabelele recapitulative, respectiv de diagramele Sankey prin care sunt evidențiate: energiile utilizate, componentele utile și pierderile aferente;

○ aspectul energetic important, evidențiat prin analiza puterilor, energiilor și randamentelor se referă la faptul că la putere maximă randamentul este inferior randamentului maxim, iar la randament maxim puterea este mai redusă față de puterea maximă.

Validarea teoretică a ultimului aspect precizat anterior se poate realiza pe baza unor noțiuni de termodinamică endoreversibilă, prezentate succint în acest capitol.

În **Capitolul 7** sunt prezentate contribuțiile personale pe care le-am sintetizat astfel:

- am analizat o documentație de sinteză în domeniul analitic și experimental referitor la ejectoare în general și la ventejectoare Coandă în special;
- am proiectat și am realizat un stand de laborator util în simularea efectului Coandă pentru ventejectoarele pneumatice utilizate în sistemul de aeraj minier;
- am proiectat și am realizat un model experimental pentru care am măsurat parametrii termogazodinamici (temperaturi, presiuni, umiditate relativă, viteze), necesari stabilirii performanțelor energetice ale ventejectorului Coandă analizat;
- am proiectat un plan de experimente care să evidențieze influența unor parametri gazodinamici asupra performanțelor energetice ale ventejectorului Coandă analizat.

Pe baza datelor experimentale obținute în urma măsurărilor pe stand, a prelucrării lor, a calculelor analitice și a corelării rezultatelor cu informațiile din fluxul documentar al domeniului, am fost în măsură să evidențieze următoarele aspecte cantitative și calitative referitoare la: debitul de aer refulat de ventejectorul Coandă, debitul de aer aspirat de ventejectorul Coandă, debitul de aer comprimat utilizat de ventejectorul Coandă, factorul de antrenare al ventejectorului Coandă, puterea disponibilă a aerului comprimat, puterea utilă a curentului de aer vehiculat, randamentul energetic al ventejectorului Coandă, consumul specific de energie al ventejectorului Coandă, valoarea cantitativă și procentuală a pierderilor energetice.

Informațiile referitoare la puteri și randamente mi-au permis să realizez bilanțuri energetice evidențind energiile utilizate, componentele utile și pierderile aferente, incluse în tabele recapitulative și vizualizate cu ajutorul diagramelor Sankey.

Aspectul energetic important, evidențiat prin analiza puterilor, energiilor și randamentelor se referă la faptul că la putere maximă randamentul este inferior randamentului maxim, iar la randament maxim puterea este mai redusă față de puterea maximă.

Utilizând noțiuni de termodinamică endoreversibilă am demonstrat experimental că, în cazul instalațiilor energetice, nu pot fi atinse simultan randamente maxime și puteri maxime.

La finalul tezei este atașată bibliografia referitoare la principalele lucrări de specialitate din fluxul informațional aferent domeniului de studiu abordat în teză.

**Data:** 19.05.2017

**Doctorand,**  
**Ing. IONIȚESCU (DĂMIAN)**  
**MĂRIUCA-NADIA**

