

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA“ DIN TIMISOARA
FACULTATEA DE MECANICA

Ing. LIVIU FLORIN RADULESCU

CONTRIBUTII LA STUDIUL SI CERCETAREA RACIRII
AERULUI DE SUPRAALIMENTARE A MOTOARELOR CU
APRINDERE PRIN COMPRESIE IN PATRU TIMPI

TEZA DE DOCTORAT

613.645
366 B.

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific:
Prof. Dr. Ing. VASILE BERINDEAN

Contributions to the Study and the Research of Supercharged Air Cooling at Four-Stroke Compression-Ignition Engines

Synopsis of the thesis

The cooling technique of the intake air of a three cylinder four-stroke Diesel engine with simulated supercharging is being examined. The theoretical part includes a study of the cycle, heat transfer considerations for a heat exchanger used as an air-to-air intercooler, as well as an evaluation of the losses due to irreversibility. The experimental part includes bench tests on water-to-air heat exchanger aluminum modules in order to determine the most efficient air side geometry, on an air-to-air aluminum intercooler having that geometry, and on the three cylinder four-stroke Diesel engine with simulated supercharging and equipped with the intercooler. The efficiency of the air-to-air cooling and its influence on the criteria of performance of the engine are emphasized.

Contributions à l'étude et à la recherche du refroidissement de l'air de suralimentation des moteurs Diesel en quatre temps

Résumé de la thèse

La technique du refroidissement de l'air utilisé par un moteur Diesel à trois cylindres en quatre temps, dans des conditions de suralimentation simulée, a été mise en examen. La partie théorique inclut l'étude du cycle, des considérations sur le transfert thermique dans un échangeur de chaleur utilisé comme refroidisseur intermédiaire, ainsi qu'une évaluation des pertes dues à l'irréversibilité du processus. La partie expérimentale présente des essais sur banc, effectués sur des modules d'échangeur eau-air en aluminium, afin de déterminer la géométrie la plus efficace du côté de l'air, ainsi que des essais sur un échangeur air-air ayant cette géométrie, et finalement des essais sur le moteur Diesel à trois cylindres en quatre temps, en conditions de suralimentation simulée et équipé du même refroidisseur d'air. L'efficacité du refroidissement air-air et son influence sur les performances du moteur ont été mises en évidence.

Cuprins

	Pag.
Rezumat (în limbile engleză si franceză)	2
Cuprins	3
I. Notatii, simboluri, indici	5
II. Lista prescriptiilor oficiale respectate	9
III. Prefată	10
1 Introducere	12
1.1 Răcirea aerului de supraalimentare; procedee, sisteme, tendinte	12
1.2 Obiectul tezei si metodele de solutionare	16
1.3 Continutul si forma de prezentare a tezei	17
1.4 Contributiile originale ale tezei	18
1.4.1 Contributii teoretice	18
1.4.2 Contributii experimentale	19
2 Studiul monografic critic al literaturii de specialitate în domeniul răcirii aerului de supraalimentare	21
3 Termogazodinamica răcirii aerului de supraalimentare	23
3.1 Ecuatii criteriale ale transmiterii căldurii în răcitorul de aer.	23
3.2 Criterii de similitudine	26
3.3 Evaluarea termodinamică a răcitoarelor	27
3.3.1 Indici de evaluare termodinamică	27
3.3.2 Relatii între indicii de evaluare	29
3.3.3 Corelarea răcitorului de aer cu turbosuflanta	30
3.4 Analiza pierderilor de exergie ale răcitorului	32
3.5 Concluzii	35
4 Studiul ireversibilității proceselor din MAC supraalimentate	37
4.1 Turbosupraalimentarea	37
4.2 Supraalimentarea simulată	43
4.3 Bilantul energetic si cel exergetic	44
4.4 Concluzii	47
5 Metodele de cercetare experimentală	48
5.1 Progtamul de experimentare	48
5.1.1 Răcitorul de aer	48
5.1.2 Motorul	50
5.2 Parametrii măsurati si metodele de măsurare	50
5.2.1 Răcitorul de aer	50
5.2.2 Motorul	54
5.3 Etalonarea aparaturii utilizate	58
5.3.1 Termometre	58
5.3.2 Manometre	59
5.3.3 Debitmetre	59

	Pag.
5.3.4 Echipamentul de frânare	61
5.4 Ansamblul instalației experimentale	62
5.4.1 Răcitorul de aer	62
5.4.2 Motorul	66
5.5 Metodele de stabilire a performanțelor	70
5.5.1 Răcitorul de aer	70
5.5.2 Motorul	71
5.6 Concluzii	73
6 Rezultatele cercetării experimentale	75
6.1 Răcitorul de aer	75
6.1.1 Suprafața de schimb de căldură	75
6.1.2 Schimbătorul de căldură	81
6.1.3 Influența curgerii aerului de răcire și a aerului de supraalimentare asupra efectului de răcire	90
6.1.4 Corelarea funcționării răcitorului cu suflanta	90
6.1.5 Bilanțul energetic al răcitorului	91
6.2 Motorul	91
6.2.1 Caracteristicile motorului	91
7 Concluzii generale	122
7.1 Concluzii asupra cercetărilor teoretice	122
7.2 Concluzii asupra cercetărilor experimentale	123
7.3 Propuneri	125
7.4 Efecte economice	125
Bibliografie	127
Notiță autobiografică	133
Anexe	134

I. Notatii, simboluri, indici

Mai jos sunt prezentate notatiile, simbolurile si indicii cel mai frecvent utilizati în lucrare. Semnificatiile notatiilor nelistate se găsesc în text. Mărimile la care nu s-a specificat unitatea de măsură sunt adimensionale.

Notatii

A	arie în general, în $[m^2]$; aria suprafeței de schimb de căldură
A_1	aria secțiunii libere de curgere, în $[m^2]$
a	grosimea plăcii care separă cele două fluide în schimbătorul de căldură, în $[m]$
C	fluxul capacității termice, în $[W/K]$
c	consumul specific de combustibil, în $[kg/J, g/kWh, g/(CP \cdot h)]$
c_p	capacitatea termică masică la presiune constantă, în $[J/(kg \cdot K)]$
d	diametru, în general, în $[m]$
d_h	diametrul hidraulic al canalului de curgere, în $[m]$
D	diametrul interior al conductei pr care se instalează dispozitivul pentru măsurarea debitului, în $[m]$
e	baza logaritmilor naturali
E	exergia, în $[J]$
f	factorul de eficiență al proceselor termogazodinamice în motor
H_i	puterea calorifică inferioară a combustibilului, în $[J/kg]$
j	numărul lui Colburn
k	coeficientul de transfer termic total, în $[W/(m^2 \cdot K)]$
l	lungimea neîntreruptă a canalului de curgere, în $[m]$
L_{min}	aerul minim necesar arderii, în $[kg/kg]$
m	masa, în general, în $[kg]$
m	debit masic, în $[kg/s]$
m'_{acr}	cantitatea totală de aer care urmează să participe la procesele de baleiaj și de ardere, în $[kg/ciclu]$
m_s	indicele politropic de comprimare în suflantă
\dot{m}	densitatea de debit masic, în $[kg/(m^2 \cdot s)]$
\tilde{m}_c	doza de combustibil, în $[kg/ciclu]$
n	turația, în $[rot/s, rot/min]$
\bar{n}	turația medie, în $[rot/s, rot/min]$
Nu	numărul lui Nusselt

p	presiunea, în [Pa , bar]
P_e	presiunea medie efectivă, în [Pa , bar]
P	puterea, în [W , CP]
P_e	puterea efectivă, în [W , CP]
Pr	numărul lui Prandtl
Q	căldură în general, în [J]
\dot{Q}	flux de căldură, în [W]
R	constanta caracteristică a gazului ideal, în [J/(kg·K)]
r_h	raza hidraulică a canalului de curgere, în [m]
Re	numărul lui Reynolds
S	entropia, în [J/K]
s	entropia masică, în [J/(kg·K)]
St	numărul lui Stanton
t	temperatura Celsius în general, în [°C]
T	temperatura termodinamică în general, în [K]
v	volumul masic, în [m ³ /kg]
w	viteza de curgere, în [m/s]

Simboluri

α	coeficientul de convecție termică, în [W/(m ² ·K)]; coeficientul de debit al diafragmei
β	raportul diametrelor la dispozitivul de măsurare a debitului cu diafragma
γ	coeficient de dilatare, în [1/°C]
δ_p	raportul de creștere a volumului în arderea izobară, $\delta_p = V_z / V_y$ (fig. 4.1)
Δ	variație, în general
ε	raportul de comprimare nominal al motorului, $\varepsilon = V_a / V_c$ (fig. 4.1); coeficientul de detentă al diafragmei de măsurare a debitului
η	randament, în general; viscozitatea dinamică, în [Pa·s]
η_i	randamentul indicat
η_m	randamentul mecanic
η_v	gradul de umplere
η_0	randamentul peretelui nervurat
η_p	parametru adimensional definit prin relația (3.31)
θ	raportul temperaturilor la intrarea în răcitor

θ_c	factorul exergetic de temperatură
κ	exponentul adiabatic (indicele izoentropic); parametru adimensional al schimbătorului de căldură definit prin rel. (3.4)
λ	coeficientul excesului de aer; conductivitatea termică a materialului schimbătorului de căldură, în [W/(m·K)]
μ	raportul fluxurilor capacităților calorice ale fluidelor în schimbătorul de căldură
ν	viscozitatea cinematică, în [m ² /s]
π	numărul $\pi \cong 3,1416$; raport de presiuni, în general; raport de supraalimentare definit prin relația (5.16)
π	pierdere relativă de exergie, pentru 1 kg de combustibil, în [J/kg]
π_S	raportul de comprimare în suflantă, $\pi_S = p_S / p_0$ (fig. 4.1)
π_v	raportul de creștere a presiunii în arderea izocoră, $\pi_v = p_y / p_c$ (fig. 4.1)
Π_{ir}	pierdere de exergie provocată de ireversibilitatea proceselor (exceptând laminarea), în [J]; $\Pi_{ir,ba}$ - de admisie-baleiaj; $\Pi_{ir,S}$ - de comprimare a aerului în suflantă; $\Pi_{ir,T}$ - de destindere a gazelor în turbină; $\Pi_{ir,e}$ - de evacuare a gazelor din motor; $\Pi_{ir\Delta T,eb}$ - de transfer termic la diferență finită variabilă de temperatură între gazele evacuate din motor și aerul de baleiaj
Π_l	pierdere de exergie cauzată de ireversibilitatea laminării fluidului de lucru, în [J]; $\Pi_{la,S}$ - la aspiratia aerului în suflantă; $\Pi_{l,R}$ - în răcitorul de aer; $\Pi_{la,M}$ - la admisia aerului în motor; $\Pi_{le,M}$ - la evacuarea gazelor din motor; $\Pi_{le,T}$ - la evacuarea din turbină
$\dot{\Pi}$	fluxul pierderii de exergie, în [W]
ρ	densitate, în general, în [kg/m ³]
τ	raport de temperaturi, în general
τ_a	raportul temperaturilor aerului la admisia în cilindru, $\tau_a = T_a / T_2$ (fig. 4.1)
φ	coeficientul de baleiaj al cilindrului, $\varphi = m'_{aer} / m_{aer}$ umiditatea relativă a aerului
ϕ	eficiența schimbătorului de căldură
ψ	coeficientul pierderilor relative de presiune
—	valoare raportată (de exemplu $\overline{\Delta p}$)
const	valoare constantă
·	flux (derivata mărimii respective în raport cu timpul)

Indici

1	se referă la fluidul având fluxul capacității termice minim (aer cald)
2	se referă la fluidul având fluxul capacității termice maxim (aer rece)
'	se referă la starea de la intrarea în răcitor
"	se referă la starea de la ieșirea din răcitor
a	aer
ar	ardere

c	se referă la fluidul cald
cl	ciclu
e	evacuare; efectiv
eb	se referă la procesele de evacuare și baleiaj
E	exergetic
ir	ireversibilitate
l	se referă la procesul de laminare
m	mediu; mecanic
M	motor
max	maxim
p	perete; izobar
Q	căldură
r	se referă la fluidul rece
R	se referă la (iar pentru mărimile de stare – la condițiile de la ieșire din) răcitor
s	supraalimentare
S	se referă la (iar pentru mărimile de stare – la condițiile de la ieșire din) suflantă
T	turbină
v	izocor
w	apă

II. Lista prescriptiilor oficiale respectate

- * * *** *Sistemul international de unități (SI).* Editura Academiei RSR, Bucuresti, 1989.
- STAS 737/2-82 *Unități derivate adoptate de Conferinta Generală de Măsură și Greutăți (CGPM).*
- STAS 737/10-87 *Unități ale mărimilor caracteristice fenomenelor calorice.*
- STAS 737/13-82 *Unități ale mărimilor caracteristice chimiei fizice și fizicii moleculare.*
- STAS 1254-77 *Semne și simboluri matematice.*
- STAS 1647-85 *Căldura. Terminologie și simboluri.*
- STAS 1665-75 *Stare normală și volum normal.*
- STAS 2018-80 *Densitatea și viscozitatea apei.*
- STAS 2644-73 *Instalații termoenergetice. Semne convenționale.*
- STAS 5745-83 *Motoare cu ardere internă cu piston, cu mișcare alternativă. Clasificare și terminologie.*
- STAS 6635-82 *Motoare cu ardere internă pentru vehicule rutiere și tractoare agricole. Reguli și metode de încercare pe banc.*
- STAS 7347/1-83 *Determinarea debitelor fluidelor în sisteme de curgere sub presiune. Metoda micșorării locale a secțiunii de curgere. Măsurarea cu diafragme și ajutaje.*
- STAS 8421-82 *Termocupluri tehnice. Condiții tehnice generale de calitate.*
- STAS 9446-85 *Reguli de utilizare a unităților de măsură legale care nu fac parte din sistemul international de unități SI.*
- STAS 9762-74 *Parametri fizici adimensionali.*
- STAS 10085/2-86 *Unități de măsură legale care nu fac parte din sistemul international de unități SI. Factori de conversiune.*
- STAS 10093/2-85 *Mărimi și unități de măsură. Terminologie.*
- STAS R 12091-82 *Măsurarea debitelor fluidelor. Calculul erorii limită de măsurare a debitelor.*

III. Prefață

Sporirea continuă a nevoilor industriei, transportului și agriculturii a impus crearea de unități de forță tot mai mari, fapt pentru care creșterea puterii motoarelor constituie o preocupare constantă a tehnicii. Supraalimentarea este una din soluțiile avute în vedere. Creșterea puterii motoarelor prin supraalimentare este însă limitată, una din limite fiind încărcarea termică. Răcirea aerului de supraalimentare constituie procedeul aplicat pentru reducerea încălcării termice. Acest procedeu este utilizat din ce în ce mai mult și la motoarele de automobil, unde se folosesc răcitoare aer-aer din aliaje usoare.

În România nu se construiesc încă astfel de răcitoare pentru industria automobilului, dar dezvoltarea economică va transforma această problemă într-una de actualitate. Din acest punct de vedere lucrarea de față are un caracter de pionierat.

Prin tematica abordată și prin orientarea cercetării teza aduce contribuții la analiza eficienței răcirii aerului de supraalimentare, la stabilirea unor ecuații care descriu comportarea termică și aerodinamică a unor suprafețe compacte de schimb de căldură, și la determinarea efectelor răcirii intermediare asupra unui motor Diesel de tractor de putere mică.

Lucrarea reprezintă sinteza activității desfășurate în domeniul schimbului de căldură și al motoarelor cu ardere internă, pe o perioadă de aproape 10 ani, când am funcționat ca și cadru didactic la Catedra de Termotehnică și Mașini Termice a Facultății de Mecanică din Timișoara. Cu toate că cercetările prezentate au un pronunțat caracter propriu, nimic nu ar s-ar fi putut realiza fără ajutorul substanțial al multor persoane cărora li se cuvine recunoștință.

Folosesc acest prilej pentru a aduce mulțumiri d-lui Prof. dr. ing. Vasile Berindean pentru răbdarea, atenta îndrumare și sprijinul acordat de-a lungul anilor, în calitate de conducător științific, la orientarea cercetării, selectarea materialului bibliografic și desfășurarea studiului experimental.

Multumesc colegilor și colaboratorilor mei cei mai apropiați conf. dr. ing. I. Laza și conf. dr. ing. M. Nagi împreună cu care am petrecut multe ore în laborator, la masa de lucru și în fața calculatorului, cercetând schimbătoarele de căldură.

Multumesc de asemenea colegului conf. dr. Ing. Paul Dan Oprisa-Stănescu pentru ajutorul acordat la prelucrarea valorilor măsurate și depanarea programelor de calcul.

Multumesc d-lui prof. dr. ing. H. Theil care mi-a pus la dispoziție Laboratorul de utilaje termice pentru studierea modulelor de schimbător de căldură apă-aer.

Mulumiri se cuvin de asemenea domnilor: ing. A. Micu-Frank - pentru bibliografia pusă la dispozitie si traducerile din limba germană -, s.l. ing. A. Ferencz - pentru ajutorul deosebit acordat cu aparatura de măsurare si materialul bibliografic – si regretatului s.l. ing. M. Popa pentru ajutorul dat la efectuarea măsurătorilor pe motor.

Mulumesc de asemenea regretatului prof. D. Negru si d-lui prof. dr. ing. V.D. Negrea – fostul si, respectiv, actualul sef de catedră – pentru sprijinul acordat de-a lungul anilor, încurajările si insistenta de a nu abandona acest proiect.

Se cuvine menționată contribuția personalului tehnic de la laboratoarele de termotehnică, utilaje termice si motoare cu ardere internă – E. Portscher, M. Rohanka, I. Bild, M. Toartă, S. Marin, E. Momirov, G. Brăteanu – căroro le multumesc pentru munca depusă la amenajarea standurilor de încercare, întreținerea echipamentului și etalonarea aparatului.

Mulumesc colectivului dela I.U.T. Bistrita pentru constructia răcitorului de aer.

Adresez multumiri, de asemenea, celorlalti membri ai Catedrei de Termotehnică si Masini Termice precum si studentilor care, într-un fel sau altul, m-au ajutat să realizez această lucrare. Ea este un omagiu pe care îl aduc dascălilor mei, ca demni reprezentanti ai Scolii Politehnice timisorene.

1. Introducere

1.1 Răcirea aerului de supraalimentare; procedee, sisteme, tendințe

Supraalimentarea, ca mijloc de sporire a puterii motoarelor cu aprindere prin comprimare (MAC), conduce la o creștere a presiunii gazelor și a căldurii evacuate din sistemul de răcire, deci la o creștere a solicitărilor mecanice [30] și termice. Mărirea puterii motoarelor prin supraalimentare este, de aceea, limitată, una din limite constituind-o tocmai încărcarea termică. Utilizarea răcirii aerului admis în motor reprezintă, începând de la un anumit grad de supraalimentare, o condiție sine qua non, un prim pas încă demult făcut în vederea limitării solicitărilor termice. Este de remarcat faptul că răcirea aerului de supraalimentare este folosită din ce în ce mai mult și la motoarele de automobil, cu toate că la acestea eliminarea căldurii din aerul de supraalimentare este legată de cheltuieli suplimentare în comparație cu motoarele staționare sau navale.

La motoarele supraalimentate răcirea aerului admis în motor este mijlocul cel mai important și cel mai simplu de creștere a puterii, mijloc ce devine cu atât mai eficient cu cât gradul de comprimare este mai ridicat. Datorită reducerii pierderilor de căldură și a îmbunătățirii randamentului mecanic — putere mai mare fără creșterea nivelului de presiuni —, răcirea aerului de supraalimentare reprezintă și un mijloc de scădere a consumului specific de combustibil. Se reduc, de asemenea, emisiile poluante [24, 87].

Răcirea aerului de supraalimentare se poate face în trei moduri:

- cu ajutorul schimbătoarelor de căldură, mediul răcitor fiind apa sau aerul;
- prin destindere în cilindru (răcire termodinamică), sau
- cu ajutorul unei mașini frigorifice.

Alegerea modului de răcire adecvat depinde de cazul concret al tipului de motor la care acesta se aplică. Dintre procedeele studiate până în prezent, cel mai ieftin este cel care utilizează răcirea aerului în schimbătoare de căldură, folosit de altfel ca procedeu de bază. Scăderea temperaturii aerului prin mijloace speciale (răcire termodinamică sau cu mașină frigorifică) sub valoarea ce poate fi atinsă în răcitoarele obișnuite constituie o metodă suplimentară indicată numai pentru situații deosebite.

Răcirea aerului în schimbătoare de căldură poate fi, în funcție de amplasarea răcitorului R :

- finală, la intrarea în motor (fig. 1.1);
- intermediară, între compresoare, când motorul este prevăzut cu două compresoare sau cu un compresor cu mai multe etaje (C_1 și C_2 , fig. 1.2);

– mixtă, când se prevede atât un schimbător de căldură intermediar (R_1) cât și unul final (R_2 , fig. 1.3).

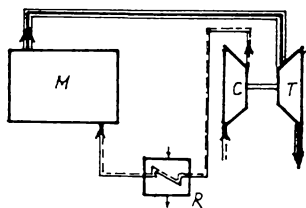


Fig. 1.1 Răcire finală

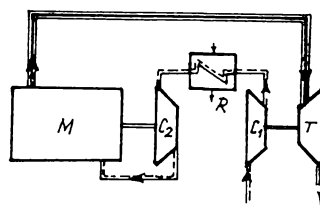


Fig. 1.2 Răcire intermediară

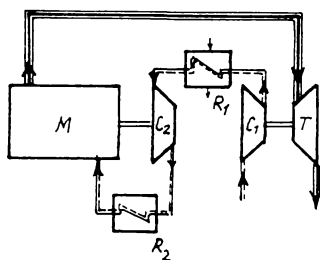


Fig. 1.3 Răcire mixtă

Cazul prezentat în fig. 1.1 este cel mai des întâlnit la motoarele cu aprindere prin comprimare supraalimentate și este cunoscut în literatura de specialitate și sub denumirea de „răcire intermediară” (intercooling) pentru a indica plasarea răcitorului de aer între suflantă și motor.

Fluidul răcitor utilizat în schimbătoarele de căldură poate fi apa sau aerul. Răcirea cu apă se utilizează în general la motoarele navale, feroviare și staționare, iar răcirea cu aer la motoarele de tracțiune rutieră.

Se apreciază că răcirea aerului în schimbătoare de căldură devine rentabilă dacă se asigură o răcire de minimum 20°C .

Răcirea cu apă. Utilizând ca mediu de răcire apa la temperatura ambiantă, răcirea aerului de supraalimentare este utilă începând de la raportul de supraalimentare 1,5; la rapoarte de supraalimentare de peste 2,0 răcirea aerului devine obligatorie [37]. Apa de

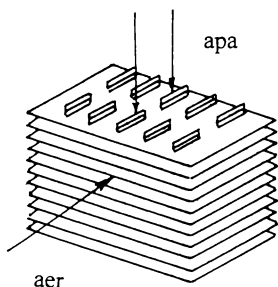


Fig. 1.4 Modul de răcitor cu tuburi nervurate

tuburi nervurate (fig. 1.4). Tuburile plate se introduc prin orificiile practicate în nervurile continue de care se fixează apoi prin brazare. Aceste schimbătoare de căldură au indici de compactitate ridicati ($600 \dots 900 \text{ m}^2/\text{m}^3$) și coeficienți de frecare scăzuti ($c_f = 0,03 \dots 0,065$ pentru $Re = 500 \dots 5300$).

Răcirea cu aer. La MAC moderne rapide de mare putere, pentru tractiune terestră, răcitoarele apă-aer au fost înlocuite în mare măsură cu răcitoare aer-aer [54, 80]. Răcire aerului de supraalimentare direct cu aer ambiant a dus, cu ajutorul noilor tehnologii de prelucrare a metalelor usoare, la instalatii de răcire foarte simple [46, 47, 59, 70, 72, 81, 87, 88, 89, 90, 92].

Aerul de supraalimentare se poate răci, în general, până la o temperatură cu cea 20°C peste temperatura aerului ambiant, nivel la care se ajunge utilizând schimbătoare de căldură în curent încrucisat. Acestea se asază cel mai frecvent în fata radiatorului motorului și conduc la căderi de presiune de maximum 10 mbar. La o presiune de supraalimentare de 2,1 bar se apreciază ca permisă o cădere de presiune de partea aerului de supraalimentare de 30 mbar [60].

Schimbătoarele de căldură aer-aer care prezintă cea mai mare suprafață de schimb de căldură în unitatea de volum sunt cele cu plăci aripate. Suprafața primară de transmitere a căldurii la un astfel de schimbător (fig. 1.5) se compune din planuri paralele multiple, fixate de aripioare prin brazare; spatiul interior al fiecărei perechi de plăci constituie un drum pentru aer. Drumurile, alternante, sunt legate în paralel la colectoare adecvate. Se obtine în felul acesta o

răcire trebuie să intre în schimbător la o temperatură cu cel puțin $30 \dots 35^\circ\text{C}$ mai scăzută decât temperatura de iesire a aerului, căderea de temperatură de partea apei fiind de până la $10 \dots 15^\circ\text{C}$ [10].

Se apreciază că trecerea prin schimbătorul de căldură este însoțită de o scădere a presiunii aerului de supraalimentare de $0,2 \dots 0,3$ bar [10].

Pentru răcirea aerului cu apă se recomandă schimbătoare de căldură compacte cu

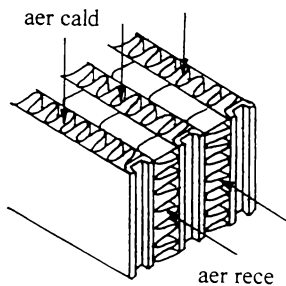


Fig. 1.5 Modul de răcitor aer-aer cu plăci nervurate

structură rigidă și ușoară. Spațiul dintre plăci poate fi redus la valoarea cea mai favorabilă de fiecare parte a schimbătorului și aceasta fără ca cele două părți să se influențeze reciproc. Aceste schimbătoare de căldură compacte (1200...1800 m²/m³) au eficiențe ce pot depăși 90 %.

Tab. 1.1 Răcitoare de supraalimentare; valori comparative

Parametrul	Valori relative [%]	
	răcitoare apă-aer	răcitoare aer-aer
Volum	100	70
Masă	100	90
Putere ventilator	100	45
Cădere de presiune aer	100	3...5
Eficiență	100	110...120

Avantajele esențiale ale schimbătoarelor de căldură aer-aer în raport cu cele apă-aer (cf. și tab. 1.1) sunt:

- efect de răcire mai bun la o construcție de volum și greutate mai mică;
- putere mai mică a suflantei;
- absența unui circuit separat de răcire;
- siguranță mai mare în funcționare;
- construcție compactă, ușor de înlocuit.

Odată cu dezvoltarea tehnologiilor de brazare, aliajele de aluminiu au început să câștige tot mai mult teren în industria automobilului, ajungând să înlocuiască treptat pe cele de cupru. Fată de acestea, aliajele de aluminiu prezintă unele avantaje incontestabile, ca:

- densitate de cca 3 ori mai mică;
- pret de cost cu 25...30 % mai scăzut;
- temperatură de brazare cu 250...300°C mai scăzută;
- rezistentă sporită la coroziune (obținută prin procedeul de brazare Nocolok)

[48];

- fluxuri de brazare mai puțin poluante.

Deși răcirea aerului de supraalimentare este legată și de o serie de dezavantaje ca: sporirea greutateii și volumului motorului și introducerea de rezistențe hidraulice – respectiv aerodinamice – suplimentare, acestea sunt departe de a anula efectele pozitive ale răcirii aerului înainte de admisia în cilindru.

1.2 Obiectul tezei si metodele de solutionare

Obiectul prezentei lucrări îl constituie studiul teoretic și experimental al răcirii aerului de supraalimentare la MAC în patru timpi. Studiul îmbracă atât aspecte teoretice cât și experimentale.

Scopul studiului teoretic este de a stabili, pe cale analitică, influența răcirii aerului de supraalimentare. Partea teoretică cuprinde:

- un studiu al ciclului motorului Diesel supraalimentat, cu răcire intermediară, cu punerea în evidență a efectelor răcirii aerului;
- un studiu al indicilor de evaluare termodinamică a schimbătorului de căldură ca răcitor de aer de supraalimentare, în vederea corelării răcitorului de aer cu suflanta.

Studiul teoretic este completat de o analiză exergetică a fenomenelor termice.

Scopul cercetării experimentale este de a stabili influența răcirii aerului de supraalimentare, utilizând un schimbător de căldură aer-aer, asupra performanțelor unui MAC în patru timpi. Pentru aceasta a fost proiectat un schimbător de căldură aer-aer cu plăci din aluminiu în construcție brazată, care a fost instalat pe motor alături de radiator. Partea experimentală cuprinde:

- stabilirea performanțelor termice ale răcitorului de aer; în această fază se urmărește determinarea comportării răcitorului la diferite regimuri de funcționare în vederea stabilirii ecuației criteriale a schimbului de căldură, precum și a pierderilor aerodinamice;
- încercarea motorului echipat cu răcitorul de aer; în această fază se urmărește stabilirea influenței răcirii aerului de supraalimentare – utilizând schimbătorul de căldură aer-aer – asupra indicilor de performanță ai motorului.

În cadrul primei faze a cercetării experimentale s-a urmărit – pe de o parte – determinarea celei mai eficiente structuri a suprafeței de schimb de căldură de partea aerului disponibile pentru studiu și – pe de altă parte – cercetarea comportării la scară reală a răcitorului de aer dotat cu suprafața de schimb de căldură determinată prin studiul anterior.

Pentru punerea în evidență a efectelor răcirii aerului de supraalimentare s-au făcut măsurători pe un motor D 115. Pentru acest motor s-a ridicat caracteristica de regulator în următoarele situații:

- motor cu aspirație naturală;
- motor supraalimentat;
- motor supraalimentat, cu răcirea aerului de supraalimentare.

Soluția tehnică adoptată în vederea supraalimentării motorului este supraalimentarea simulată; în acest caz nu se utilizează energia gazelor de ardere, aerul comprimat necesar fiind furnizat de un agregat separat. Această soluție, impusă de condițiile și dotarea Laboratorului de motoare cu ardere internă, este destinată în exclusivitate cercetării experimentale a influenței răcirii aerului de supraalimentare asupra unor parametri funcționali ai motorului, caz în care nu se pune problema găsirii unei soluții optime de supraalimentare.

1.3 Conținutul și forma de prezentare a tezei

Lucrarea este structurată pe 7 capitole care cuprind rezultatele studiului teoretic și experimental. În primul capitol se face o prezentare generală a lucrării și se descriu contribuțiile personale ale autorului. Capitolul al doilea cuprinde un studiu monografic al literaturii cercetate. În capitolul al treilea sunt prezentate ecuațiile generale ale transferului de căldură utilizate, indicii de evaluare a schimbătorului de căldură ca parte componentă a agregatului motor, precum și o analiză a pierderilor de exergie în răcitor. Capitolul al patrulea cuprinde un studiu al ciclului teoretic al MAC supraalimentat, cu răcire intermediară, bazat pe un model original, de complexitate medie, dar suficient de precis pentru a pune în evidență influența răcirii intermediare. Capitolul al cincilea prezintă metodele de cercetare experimentală a răcitorului de aer și a motorului, instalațiile folosite în acest scop, parametrii măsurați și metodele de măsurare, precum și etalonarea aparaturii utilizate. În capitolul al șaselea sunt cuprinse rezultatele cercetărilor experimentale efectuate asupra răcitorului și motorului, diagramele și tabelele care cuprind valorile mărimilor măsurate și calculate. În capitolul al șaptelea sunt scoase în evidență concluziile generale ale lucrării. Acestea sunt urmate de lista bibliografică și de o notită autobiografică. În anexă sunt prezentate programele de calcul folosite pentru studiul teoretic și pentru prelucrarea datelor experimentale, precum și rezultatele tipărite la rularea acestor programe.

Lucrarea este redactată utilizând pachetul de programe de aplicații „Works for Windows” produs de firma Microsoft. Deoarece aceste aplicații cât și limbajul de programare QBasic folosesc sistemul englez de scriere a numerelor, în unele cazuri nu a putut fi evitată folosirea punctului zecimal în locul virgulei zecimale. Tipărirea s-a făcut cu o imprimantă Hewlett Packard DeskJet 600.

1.4 Contributiile originale ale tezei

1.4.1 Contributii teoretice

a) Studiul teoretic al efectului răcirii aerului de supraalimentare asupra lucrului mecanic al motorului, schimbului de căldură și asupra randamentului indicat s-a realizat cu ajutorul calculului ciclului. În acest scop s-a conceput un program de calcul original pentru determinarea mărimilor de stare în punctele caracteristice ale ciclului și ale articulelor de bilant energetic și exergetic [65]. Calculul s-a făcut cu „gaze reale” – adică gaze care satisfac ecuația caracteristică a gazelor perfecte și la care se ia în considerare variația capacității calorice specifice cu temperatura, – ținându-se seama de schimbul de căldură cu mediul de răcire. Pentru a evita complicarea calculelor, s-au făcut unele simplificări în sensul neglijării unor aspecte ale comportării reale a gazelor: astfel nu s-a ținut seama de posibilele pierderi de presiune în conducte și de faptul că vaporii de apă conținuți în aer își schimbă starea de agregare. De asemenea, metoda folosită utilizează coeficienți a căror alegere corectă este o problemă de experiență personală și de existența datelor respective. Deși se bazează pe unele ipoteze simplificatoare, calculele efectuate pentru a pune în evidență influența variației temperaturii aerului de supraalimentare au dat valori comparabile cu cele rezultate din măsurători. Tendința diferitelor curbe de variație a mărimilor caracteristice a fost bine cuprinsă în calcule, cu mici diferențe ale valorilor absolute datorate unor inevitabile deosebiri între condițiile de calcul și cele de încercare (cap. 4).

b) Lucrarea prezintă, de asemenea, sinteza unui studiu mai complex [43,44,45] al răcirii intermediare și al evaluării termodinamice a răcitoarelor de aer de supraalimentare. Se introduc astfel trei criterii noi de evaluare a comportării răcitorului și suflantei: $\overline{\Delta\rho}$ - creșterea relativă a densității aerului $\overline{\Delta\rho_{\Delta T1}}$ - gradientul creșterii relative a densității aerului, și θ - raportul temperaturii fluidelor la intrarea în răcitor. Introducerea criteriilor de evaluare termodinamică $\overline{\Delta\rho}$ și $\overline{\Delta\rho_{\Delta T1}}$ permite aprecierea cantitativă a răcirii aerului de supraalimentare și a efectelor acesteia asupra indicilor de performanță ai motorului (cap. 3).

c) Lucrarea cuprinde un număr de 14 programe originale de calcul scrise în limbaj BASIC, inițial pentru diferite microcalculatoare: PRAE 1000, Sinclair ZX Spectrum, Amstrad 2061 și IBM PC. Cu ocazia redactării acestei lucrări, programele de calcul au fost transcrise în limbajul QBasic v.1.1 al cărui interpretor face parte din pachetul standard de software al calculatoarelor IBM PC. Aceste programe sunt:

- programele CITMACS1.BAS si CITMACS2.BAS pentru calculul ciclului teoretic al MAC supraalimentat, cu răcire intermediară, pentru cazurile $q_a = \text{const}$ si respectiv $\lambda = \text{const}$;
- programul DIAFRAG.BAS pentru calculul debitelor de fluid (aer, metan, abur) măsurate cu diafragma simplă standardizată;
- programul POLINOM.BAS pentru calculul coeficientilor polinomului de aproximare a unei functii $y = y (x)$ prin metoda regresiei polinomiale;
- programul ARIPA.BAS pentru calculul mărimilor geometrice caracteristice transferului termic pentru un schimbător de căldură apă-aer cu plăci;
- programul SCARAP.BAS pentru calculul termic al schimbătorului de căldură apă-aer cu determinarea valorilor criteriului lui Colburn, j;
- programul CF.BAS pentru calculul coeficientului de frecare c_f la curgerea aerului, pe baza ecuatiei lui Fanning;
- programul MCMMP.BAS pentru calculul coeficientilor A si B ai unei functii de forma $y = A \cdot x^B$ folosind metoda celor mai mici pătrate;
- programul SCAR23.BAS pentru calculul de verificare al schimbătorului de căldură aer-aer si compararea valorilor calculate cu cele măsurate pe stand;
- programul SCAR35.BAS pentru calculul coeficientilor k si α pe baza determinărilor experimentale;
- programul SCAR34.BAS si SCAR34A.BAS pentru calculul indicilor de evaluare termodinamică ai răcitorului de aer pe baza determinărilor experimentale;
- programul SCAR36.BAS pentru calculul bilantului exergetic al răcitorului de aer;
- programul BIL.BAS pentru calculul bilantului termic al motorului.

1.4.2 Contributii experimentale

a) Instalatii, dispozitive

- Pentru măsurarea temperaturii s-au folosit si un număr de 16 termocupluri de tip Cu-Constantan confectionate de autor, din fire cu $\varnothing 0,1$ mm sudate în baie de mercur (cap. 5.2.1).
- Pentru determinarea câmpului de temperaturi la iesirea aerului rece din schimbătorul de căldură s-a utilizat un suport de tip grătar din sipci subtiri de lemn pentru sustinerea bateriei de 16 termocupluri (cap. 5.4.1).

– Pentru răcirea aerului de supraalimentare s-a proiectat un schimbător de căldură aer-aer, cu plăci, din aluminiu (cap. 6.1.2) care a fost construit și încercat.

b) Metodica cercetărilor

Pentru asigurarea unor determinări corecte, aparatura de măsurare a fost în prealabil etalonată. Termocuplurile Cu-Constantan industriale și cele confecționate de autor au fost etalonate folosind instalația descrisă în cap. 5.3.1. Pe baza valorilor determinate experimental, utilizând metoda regresiei polinomiale, s-au stabilit valorile coeficienților polinomului ce descrie dependența funcțională temperatură - t.t.e.m.

c) Rezultate experimentale

– În cadrul cercetărilor experimentale au fost stabilite dependențele funcționale $j = j(Re)$ și $c_f = c_f(Re)$ pentru cinci suprafețe de schimb de căldură cu plăci cu aripioare ondulate continue (cap. 6.1.1).

– Au fost determinate caracteristicile termogazodinamice ale răcitorului de aer, precum și indicii de evaluare termodinamică pentru regimurile de funcționare uzuale (cap. 6.1.2).

– Au fost determinate performanțele motorului D 115 cu aspirație naturală, pentru care s-au întocmit bilanțuri energetice și s-au ridicat caracteristici de regulator (cap. 6.2).

– Au fost determinate performanțele motorului D 115 supraalimentat, pentru care s-au întocmit bilanțuri energetice și s-au ridicat caracteristici de regulator (cap. 6.2).

– Au fost determinate performanțele motorului D 115 supraalimentat, cu răcire intermediară, pentru care s-au întocmit, de asemenea, bilanțuri energetice și s-au ridicat caracteristici de regulator (cap. 6.2).

2 Studiul monografic critic al literaturii de specialitate consultate în domeniul răcirii aerului de supraalimentare

Literatura de specialitate în domeniul supraalimentării cu răcire intermediară a MAC conține studii teoretice și experimentale.

Studiul teoretic al efectului răcirii aerului de supraalimentare asupra parametrilor de funcționare ai motorului s-a realizat cu ajutorul calculului ciclului [28, 29, 61, 62, 86]. În acest scop au fost extrase și folosite în calcule date constructive și rezultate ale măsurătorilor de la motoare existente. Calculul ciclului s-a făcut cu luarea în considerare a comportării reale a gazelor, ținându-se seama de schimbul de căldură cu mediul de răcire. Prin metoda de calcul folosită în lucrările citate a fost posibil să se determine parametrii reali ai ciclului. Calculul proceselor ce se desfășoară în cilindru, inclusiv procesul de schimbare a încărcăturii fiind foarte laborios, s-a efectuat cu ajutorul calculatorului electronic.

Cercetările teoretice au dat de asemenea indicații cu privire la oportunitatea aplicării diverselor metode de răcire a aerului de supraalimentare. Aceste cercetări nu sunt însă însoțite și de o analiză exergetică a proceselor termice.

Solicitările mecanice ale motorului au fost apreciate urmărind variația presiunii gazelor în cilindru și, în special, valoarea presiunii maxime de ardere.

Solicitările termice au fost apreciate prin temperatura suprafetelor care mărginesc camera de ardere și a gazelor de ardere înaintea turbinei.

Variantele constructive de instalații de supraalimentare cu răcirea aerului realizate pe plan mondial au o mare diversitate și ele au fost elaborate pe baza unui studiu teoretic prealabil și apoi aplicate în practică - în funcție de destinația motorului - folosind din plin experiența firmelor specializate în producerea elementelor componente (turbosuflete, schimbătoare de căldură, etc.) ceea ce a influențat deosebit de favorabil rezultatele încercărilor [9, 15, 30, 34, 35, 37, 42,43, 47, 48, 50, 51, 55, 56, 57, 60, 72, 73, 74, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 93].

Interesante și detaliate metode de calcul ale răcitoarelor de aer se găsesc în lucrările [52, 53, 71], iar în lucrările [58, 59] se prezintă studii de optimizare a instalațiilor de răcire.

În urma prelucrării statistice ale rezultatelor experimentale s-au putut trage unele concluzii generale. Astfel, se admite că, la menținerea constantă a presiunii de supraalimentare și reducerea temperaturii aerului de supraalimentare cu 10°C, densitatea crește cu cca 3 %, ceea ce conduce - menținând neschimbați coeficientul excesului de aer și consumul specific de combustibil - la o creștere a puterii cu 3 %. Deoarece la

temperaturi mai joase consumul de combustibil se reduce – după valori găsite empiric – cu cca 0,5 % la fiecare scădere a temperaturii aerului cu 10°C – majorarea puterii atinge aproximativ 3,5 % în condițiile menținerii unei valori constante a coeficientului excesului de aer [9, 35, 37].

Scăderea temperaturii aerului de supraalimentare cu 1°C conduce, păstrând neschimbată puterea, la scăderea temperaturii maxime de ardere cu cca 3°C [35].

Pentru solicitare termică neschimbată, caracterizată prin temperaturile unor piese din zona camerei de ardere, prin reducerea temperaturii aerului de supraalimentare este uneori posibilă o majorare mai importantă a puterii decât cea care corespunde unui exces de aer constant. Astfel, de exemplu, prin măsurarea temperaturii pistonului unui motor monocilindric experimental [37] în funcție de temperatura aerului la intrare la o putere constantă – pe de o parte – iar pe de altă parte în funcție de putere la o temperatură constantă a aerului la intrare, a rezultat că, pentru o temperatură a aerului mai mică cu 10°C, este posibilă o majorare de putere cu 5 %, la aceeași temperatură a pistonului.

Căldura totală evacuată din motor, la o putere constantă, nu crește prin introducerea răcirii aerului de supraalimentare, modificându-se numai distribuția fluxurilor disipate prin agenții de răcire [10, 15, 37]. În plus, răcirea aerului de supraalimentare conduce la reducerea noxelor poluante din gazele de evacuare [37, 80, 87].

Literatura de specialitate studiată nu prezintă detalii asupra tehnicii de experimentare folosite pentru schimbătoarele de căldură aer-aer. Lucrarea de referință în domeniul schimbătoarelor de căldură compacte rămâne și astăzi [19].

Marile firme producătoare de schimbătoare de căldură pentru automobile (Behr, B&W, Nippondenso, Valeo, s.a.) oferă la ora actuală aproape în exclusivitate răcitoare de aer din aluminiu, în special datorită densității sale mai scăzute decât a cuprului sau alamei.

3 Termogazodinamica răcirii aerului de supraalimentare

3.1 Ecuatii criteriale ale transmiterii căldurii în răcitorul de aer

Ecuatia generală a fluxului de căldură de la fluidul cald la fluidul rece într-un schimbător de căldură poate fi scrisă sub forma

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta t_m = k \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (3.1)$$

sau, utilizând funcția de eficiență ϕ a schimbătorului de căldură

$$\dot{Q} = \dot{C}_1 \phi (t_1' - t_2') = \dot{C}_1 \phi (T_1' - T_2') \quad (3.1')$$

în care atât Δt_m cât și ϕ depind de sensul de curgere al ambelor fluide prin schimbător. Prin convenție, indicele 1 s-a atribuit fluidului care are cea mai mică valoare a fluxului capacității calorice C . Metoda funcției ϕ – de preferat în cazul rezolvării unor probleme legate de proiectarea schimbătoarelor de căldură – utilizează mărimile adimensionale ϕ , μ și κ , definite după cum urmează:

$$\phi = \frac{t_1' - t_1''}{t_1' - t_2'} = \frac{T_1' - T_1''}{T_1' - T_2'} \quad (3.2)$$

$$\mu = \frac{\dot{C}_1}{\dot{C}_2} = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_1''} = \frac{T_2'' - T_2'}{T_1' - T_1''} \quad (3.3)$$

$$\kappa = \frac{k \cdot A}{\dot{C}_1} = \frac{t_1' - t_1''}{\Delta t_m} = \frac{T_1' - T_1''}{\Delta T_m} \quad (3.4)$$

Cele trei mărimi sunt legate printr-o relație criterială de forma:

$$\phi = \phi(\mu, \kappa) \quad (3.5)$$

a cărei expresie matematică depinde de schema de curgere a fluidelor prin schimbător [74]. Astfel, pentru schema de curgere în curent încrucișat – utilizată în cazul răcitoarelor de aer de supraalimentare – relația (3.5) capătă, pentru cazul ambelor fluide neamestecate [74], forma:

$$\phi = \frac{1}{\kappa \mu} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \left[1 - e^{-\kappa} \sum_{m=0}^n \frac{\kappa^m}{m!} \right] \left[1 - e^{-\kappa \mu} \sum_{m=0}^n \frac{(\kappa \mu)^m}{m!} \right] \right\} \quad (3.6)$$

(unde m și n sunt două numere întregi pozitive), pentru cazul fluidului 1 neamestecat, forma:

$$\phi = \frac{1 - e^{-\mu(1 - e^{-\kappa})}}{\mu} \quad (3.7)$$

iar pentru cazul fluidului 2 neamestecat, forma:

$$\phi = 1 - e^{-\frac{1}{\mu}(1 - e^{-\mu\kappa})} \quad (3.8)$$

În privința ecuației (3.6), se consideră calculele ca oferind o precizie suficientă dacă însumarea se face până la termenul de ordinul $n = 16$ [75].

De asemenea, pentru situațiile în care $\mu \leq 0,2$, în cazul concret al schimbătoarelor de căldură aer-aer, se poate utiliza în locul ecuației (3.6) una din ecuațiile (3.7) și (3.8), fără a se comite erori inacceptabile. Această simplificare prezintă avantajul de a ușura substanțial munca de programare și de a mări viteza de calcul în special în situațiile în care ecuațiile de tip (3.5) trebuie explicitate sub forma:

$$\kappa = \kappa(\phi, \mu) \quad (3.5')$$

Scriind expresia coeficientului k pentru suprafața de schimb de căldură oferită fluidului 1, se obține:

$$\frac{1}{k_1} = \frac{1}{\eta_{01} \alpha_1} + \frac{a}{\frac{A_{per}}{A_1} \lambda} + \frac{1}{\frac{A_2}{A_1} \eta_{02} \alpha_2} \quad (3.9)$$

iar pentru suprafața oferită fluidului 2, rezultă:

$$\frac{1}{k_2} = \frac{1}{\eta_{02} \alpha_2} + \frac{a}{\frac{A_{per}}{A_2} \lambda} + \frac{1}{\frac{A_1}{A_2} \eta_{01} \alpha_1} \quad (3.10)$$

unde A_{per} reprezintă aria suprafeței peretelui intermediar [10]. Între coeficienții k_1 și k_2 există relația de legătură

$$k_1 A_1 = k_2 A_2 \quad (3.11)$$

Produsele din relația (3.11) depind, prin urmare, de termenii sumelor din relațiile (3.9) și (3.10) care, la rândul lor, depind de răcitorul însuși:

– de mărimile ariilor A_1 – de partea fluidului cald (aerul de supraalimentare) – și A_2 – de partea fluidului rece (aerul de răcire);

- de mărimile coeficientilor de convecție termică α_1 și α_2 ;
- de raportul a/λ între grosimea și conductivitatea peretelui intermediar.

În cazul răcitoarelor de aer de construcție compactă, cu plăci, fabricate din aliaje de aluminiu, datorită rezistenței termice foarte mici a peretelui intermediar, termenul a/λ poate fi neglijat [19]. Relațiile (3.9) și (3.10) capătă, astfel, forma simplificată:

$$\frac{1}{k_1} = \frac{1}{\eta_{01} \alpha_1} + \frac{1}{\frac{A_2}{A_1} \eta_{02} \alpha_2} \quad (3.9')$$

$$\frac{1}{k_2} = \frac{1}{\eta_{02} \alpha_2} + \frac{1}{\frac{A_1}{A_2} \eta_{01} \alpha_1} \quad (3.10')$$

În cazul răcitoarelor aer-aer, datorită valorilor apropiate ale coeficienților de convecție α_1 și α_2 , se impune ca și ariile suprafețelor A_1 și A_2 să aibă valori aproximativ egale [70].

Datorită imposibilității de a integra ecuațiile diferențiale ale mișcării fluidelor și ale schimbului de căldură, în studiul termodinamic al comportării schimbătoarelor de căldură se utilizează ecuații criteriale.

Astfel, pentru calculul coeficientului de convecție la curgerea turbulentă a lichidelor în interiorul tuburilor cu pereți netezi se recomandă următoarele relații:

- după [40], relația

$$Nu_w = 0,012 (Re_w^{0,87} - 280) Pr_w^{0,4} \left[1 + \left(\frac{4 r_{hw}}{l_w} \right)^{2/3} \right] \left(\frac{Pr_w}{Pr_p} \right)^{0,11} \quad (3.12)$$

valabilă pentru $2300 < Re_w < 10^6$ și $1,5 < Pr_w < 500$;

- după [38], relația Dittus-Boelter:

$$Nu_w = 0,023 (Re_w^{0,8} \cdot Pr_w^{0,3}) \quad (3.13)$$

- după [5], relația lui Colburn:

$$Nu_w = 0,023 Re_w \cdot Pr_w^{0,33} \left[1 + (d_{hw} / l_w)^{0,7} \right] \quad (3.14)$$

- după [38], relația lui Petuhov:

$$Nu_w = (f/8) \cdot Re_w \cdot Pr_w / \left[1,07 + 12,7 (f/8)^{0,5} (Pr_w^{0,667} - 1) \right] (\eta_w / \eta_{perete}) \quad (3.15)$$

unde

$$f = (1,82 \cdot \lg Re_w - 1,64)^{-2}$$

– după [14]:

$$Nu_w = 0,021 Re_w^{0,8} \cdot Pr_w^{0,43} (Pr_w / Pr_{\text{perete}})^{0,25} \quad (3.16)$$

Pentru suprafețe de schimb de căldură nervurate – precum cele utilizate la răcitoarele aer-aer – nu s-au putut stabili însă relații general valabile. Un calcul precis se poate face numai în condițiile existenței datelor experimentale pentru tipul de suprafață utilizată. În astfel de situații, valoarea medie a coeficientului de convecție termică α_a se reprezintă în funcție de Re_a prin intermediul criteriului Colburn, j [22,27]:

$$j_a = j_a (Re_a) \quad (3.17)$$

Relația de dependență este prezentată de obicei sub formă grafică, în coordonate logaritmice. Pentru un schimbător de căldură compact este necesar să se dispună de câte o curbă j_a funcție de Re_a pentru fiecare față a schimbătorului; pentru un număr Re_a dat, valorile j_a variază sensibil, ele depinzând de geometria schimbătorului.

Pentru un interval restrâns din domeniul de variație al funcției (3.17), aceasta poate fi aproximată cu relația:

$$j_a = A Re_a^B \quad (3.17')$$

care prezintă avantajul de a apare ca dreaptă în rețeaua dublu logaritmică; se pot determina astfel fără dificultate valorile constantelor A și B . Scrisă sub forma (3.17'), ecuația criterială poate fi utilizată cu ușurință în programele de calcul.

3.2 Criterii de similitudine

În ecuațiile criteriale (3.12)...(3.17') intervin criteriile de similitudine:

$$\text{Nusselt} \quad Nu = \frac{\alpha d_h}{\lambda} = \frac{\alpha 4r_h}{\lambda} \quad (3.18)$$

$$\text{Reynolds} \quad Re = \frac{w d_h}{\nu} = \frac{4r_h \dot{m}}{\eta} \quad (3.19)$$

$$\text{Prandtl} \quad \text{Pr} = \frac{\eta c_p}{\lambda} \quad (3.20)$$

$$\text{Nusselt} \quad \text{St} = \frac{\alpha}{\dot{m} c_p} = \frac{\text{Nu}}{\text{Re Pr}} \quad (3.21)$$

$$\text{Colborn} \quad j = \frac{\text{Nu}}{\text{Re Pr}^{1/3}} = \text{St Pr}^{2/3} \quad (3.22)$$

unde:

$$r_h = 1 - \frac{A_1}{A} \quad (3.23)$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{m}}{A_1} \quad (3.24)$$

În cazul în care canalele de curgere nu sunt de secțiune circulară, relațiile (3.13)...(3.16) rămân valabile cu condiția respectării relațiilor (3.18), (3.19) și (3.23).

3.3 Evaluarea termodinamică a răcitoarelor

3.3.1 Indici de evaluare termodinamică

Un studiu mai complex al comportării schimbătoarelor de căldură aer-aer utilizate ca răcitoare de aer de supraalimentare se poate face, pe baza concluziilor din lucrarea [74] și a următorilor indici noi, propusi [44]:

$\bar{\Delta\rho}$ [-] – creșterea relativă a densității aerului în răcitor;

$\bar{\Delta\rho}_{\Delta T1}$ [-] – gradientul creșterii densității relative a aerului în răcitor;

precum și a noului parametru [44]:

θ [-] – raportul temperaturilor la intrarea în răcitor.

În literatura de specialitate [53] drept indice de evaluare termodinamică este menționat coeficientul η_p [-] de creștere calitativă a densității aerului.

Relațiile de definiție ale mărimilor $\bar{\Delta\rho}$, $\bar{\Delta\rho}_{\Delta T1}$ și θ sunt următoarele:

$$\overline{\Delta\rho} = \frac{p_{SR} - p_S}{p_S} \quad (3.25)$$

unde:

$$p_{SR} = \frac{p_1 - \Delta p_1}{R T_1''} \quad (3.26)$$

$$p_S = \frac{p_1}{R T_1'} \quad (3.27)$$

$$\overline{\Delta\rho_{\Delta T_1}} = \frac{\overline{\Delta\rho}}{\Delta T_1} \quad (3.28)$$

unde:

$$\Delta T_1 = T_1' - T_1'' \quad (3.29)$$

$$\theta = T_1' / T_2' \quad (3.30)$$

Coefficientul de creștere calitativă a densității este raportul dintre creșterea reală a densității aerului introdus în răcitor și creșterea maximă teoretic posibilă a densității sale prin răcire, neglijându-se pierderile de presiune și imperfecțiunile schimbului de căldură. Această creștere ar fi posibilă pentru secțiuni de curgere și suprafețe de schimb de căldură infinit de mari, astfel încât $T_1'' = T_2'$. Relația de definiție a coeficientului η_ρ este, pe baza celor de mai sus,

$$\eta_\rho = \Delta\rho / \Delta\rho_{\max} \quad (3.31)$$

unde:

$$\Delta\rho = \frac{1}{R} \left(\frac{p_1 - \Delta p_1}{T_1''} - \frac{p_1}{T_1''} \right) \quad (3.32)$$

$$\Delta\rho_{\max} = \frac{p_1}{R} \left(\frac{1}{T_2'} - \frac{1}{T_1'} \right) \quad (3.33)$$

3.3.2 Relatii între indicii de evaluare

Relatiile (3.26) și (3.27) au fost stabilite considerând aerul gaz perfect (aproximatie valabilă în condițiile de funcționare ale răcitoarelor de aer de supraalimentare). Neglijând variațiile de presiune și de temperatură pe tubulatura de legătură dintre suflantă și răcitor ($p_1 \cong p_S$; $T_1' \cong T_S$), prin înlocuirea relațiilor (3.26) și (3.27) în (3.25) rezultă:

$$\bar{\Delta\rho} = \frac{p_1 - \Delta p_1}{p_1} \cdot \frac{T_1'}{T_1''} - 1 \quad (3.34)$$

Introducând – în scopul corelării lui $\Delta\rho$ cu funcționarea răcitorului – funcția ϕ de eficiență a schimbătorului de căldură definită prin relația (3.2), se obține:

$$\bar{\Delta\rho} = \frac{T_1'(\phi - \Delta p_1/p_1) - \phi T_2'}{T_1'(1 - \phi) + \phi T_2'} \quad (3.35)$$

sau

$$\bar{\Delta\rho} = \bar{\Delta\rho}(T_1', \phi, \Delta p_1/p_1, T_2') \quad (3.35')$$

În mod asemănător, pe baza relațiilor (3.28), (3.29) și (3.2), se mai poate scrie:

$$\bar{\Delta\rho}_{\Delta T1} = \frac{\bar{\Delta\rho}}{T_2' \phi (T_1'/T_2' - 1)} \quad (3.36)$$

sau

$$\bar{\Delta\rho}_{\Delta T1} = \bar{\Delta\rho}_{\Delta T1}(\bar{\Delta\rho}, \phi, T_1', T_2') \quad (3.36')$$

Utilizând relațiile (3.32) și (3.33), în conformitate cu definiția dată, coeficientul de creștere relativă a densității capătă expresia:

$$\eta_p = \frac{T_1'/T_1''(1 - \Delta p_1/p_1) - 1}{T_1'/T_2' - 1} \quad (3.37)$$

Utilizând și expresia (3.34), se deduce:

$$\eta_p = \frac{\bar{\Delta\rho}}{T_1'/T_2' - 1} \quad (3.38)$$

adică, în general

$$\eta_p = \eta_p(\bar{\Delta p}, T_1', T_2') \quad (3.38')$$

Din compararea relatiilor (3.36) si (3.38) se deduce:

$$\bar{\Delta p}_{\Delta T1} = \frac{\eta_p}{T_2' \phi} \quad (3.39)$$

Prin urmare, pentru T_2' si ϕ precizate, $\Delta p_{\Delta T1}$ are aceeasi alură de variatie ca si η_p , dar este un indice de evaluare mai general decât acesta din urmă.

Raportul temperaturilor θ de la intrarea în răcitor permite o tratare analitică mai simplă a lui $\bar{\Delta p}$, $\bar{\Delta p}_{\Delta T1}$ si η_p , precum si stabilirea unei corelatii între turbosuflantă si răcitorul de aer. Prin introducerea lui θ , relatiile (3.35), (3.36) si (3.38) devin:

$$\bar{\Delta p} = \frac{\theta(\phi - \Delta p_1/p_1) - \phi}{\theta(1 - \phi) + \phi} \quad (3.40)$$

$$\bar{\Delta p}_{\Delta T1} = \frac{\Delta p}{T_2' \phi(\theta - 1)} \quad (3.41)$$

$$\eta_p = \frac{\Delta p}{\theta - 1} \quad (3.42)$$

Deoarece parametrii functionali ai răcitorului – ϕ si $\Delta p_1/p_1$ – variază puțin în functie de θ , admitând $\phi = \text{const}$ si $\Delta p_1/p_1 = \text{const}$ se obtine, pe baza studiului functiilor $\bar{\Delta p}_{\Delta T1} = \bar{\Delta p}_{\Delta T1}(\theta)$ si $\eta_p = \eta_p(\theta)$, expresia raportului θ pentru care cele două functii (cf. (3.40)...(3.42)) au valoarea maximă [44]:

$$\theta = 1 + \sqrt{1 - \left(1 - \frac{\Delta p_1}{p_1}\right) \left(1 + \frac{\frac{\Delta p_1}{p_1}}{\phi - 1}\right)} \quad (3.43)$$

3.3.3 Corelarea răcitorului de aer cu turbosuflanta

Concomitent cu cresterea gradului de supraalimentare, în conditiile mentinerii constante a temperaturii la intrarea în motor, sporirea suprafetei de schimb de căldură a răcitorului de aer devine substantială [14]. Mărirea schimbătorului de căldură trebuie

corelată și cu suplimentarea energiei cheltuite pentru vehicularea mediului de răcire; această energie trebuie scăzută din energia dezvoltată de motor.

Răcirea aerului de supraalimentare la motoarele Diesel permite mărirea importantă a debitului de aer admis în motor, mai ales la grade mari de supraalimentare. Acest lucru nu conduce la o creștere echivalentă a puterii, datorită – în primul rând – necesității de a modifica desfășurarea procesului de ardere în vederea limitării presiunii maxime, ceea ce produce scăderea randamentului indicat; în al doilea rând – datorită creșterii puterii consumate pentru vehicularea agentului de răcire, și – în al treilea rând – datorită creșterii căderii de presiune în schimbătorul de căldură. Cu cât răcirea aerului este mai pronunțată, cu atât este mai probabil să se realizeze o cădere de presiune mai mare. Când prin introducerea unui schimbător de căldură motorul prezintă o scădere a puterii sale, folosirea răcirii aerului de supraalimentare este neratională [35].

Din relațiile indicilor de evaluare termodinamică rezultă că valorile lor scad liniar cu creșterea căderii relative de presiune $\Delta p_1/p_1$ [44]. Creșterea lui $\Delta p_1/p_1$ conduce la o scădere severă a indicilor, astfel încât puterea motorului scade în loc să crească, menținându-se numai celelalte avantaje determinate de scăderea temperaturii aerului admis. Din relația (3,40), punând condiția $\Delta\rho \geq 0$, se obține:

$$\theta = \frac{\phi}{\phi - \Delta p_1/p_1} \quad (3.44)$$

Dacă se admit ipotezele simplificatoare (cf. cap. 3.3.2) valabile pentru relațiile (3.26) și (3.27), se poate scrie:

$$T_1' = T_2' \pi_s^{(m_s - 1)/m_s} \quad (3.45)$$

sau, cu ajutorul rel. (3.30) ,

$$\theta = \pi_s^{(m_s - 1)/m_s} \quad (3.46)$$

respectiv:

$$\pi_s = \theta^{m_s / (m_s - 1)} \quad (3.47)$$

Dacă se consideră $T_2' = \text{const}$, parametrul θ se va modifica numai în măsura în care variază temperatura T_1' . Astfel, ca funcții de θ , $\Delta\rho$ este continuu crescătoare, iar $\Delta\rho_{\Delta T1}$ și η_p au alură parabolică prezentând un maximum [44].

În practică prezintă interes stabilirea domeniului în care se poate realiza $\overline{\Delta\rho_{\Delta T1}} \geq \text{const}$, adică stabilirea condițiilor în care se obține o anumită creștere a densității relative a aerului admis în motor pentru o scădere a temperaturii aerului dată. Din rel. (3.41) rezultă:

$$\overline{\Delta\rho} = C (\theta - 1) \quad (3.48)$$

unde

$$C = \phi T_2' \overline{\Delta\rho_{\Delta T1}} = \text{const} \quad (3.49)$$

Prin înlocuirea expresiei (3.48) în (3.40) se obține ecuația:

$$\theta^2 + \frac{(2\phi - 1)C - \phi + \Delta p_1/p_1}{C(1 - \phi)} \theta + \frac{\phi(1 - C)}{C(1 - \phi)} = 0 \quad (3.50)$$

a cărei rezolvare permite stabilirea domeniului $[\theta_1, \theta_2]$ respectiv $[\pi_{S1}, \pi_{S2}]$ în care $\overline{\Delta\rho_{\Delta T1}}$ are cel puțin valoarea constantă introdusă în (3.49).

3.4 Analiza pierderilor de exergie ale răcitorului

Pierderile de exergie ce revin răcitorului de aer ca parte componentă a motorului supraalimentat, sunt: pierderea de exergie cu căldura evacuată cu aerul de răcire și pierderea de exergie datorită laminării aerului de supraalimentare la trecerea prin răcitor [29].

Analizând răcitorul ca aparat termic singular, interesează pierderea de exergie caracteristică procesului de transmitere a căldurii la diferență finită variabilă de temperatură și randamentul exergetic [25].

Pierderea de exergie cu căldura evacuată cu aerul de răcire – care reprezintă în același timp variația de exergie a aerului de supraalimentare – se poate determina, pentru un ciclu de funcționare al motorului, cu relația:

$$\Pi_{Q,R} = \Delta E_{Q1} = \theta_{e1} |Q_R| \quad (3.51)$$

unde:

$$\theta_{e1} = 1 - T_2' \frac{\ln(T_1' / T_1'')}{T_1' - T_1''} \quad (3.52)$$

$$|Q_R| = m_1 c_{p1} (T_1' - T_1'') \quad (3.53)$$

în care m_1 reprezintă cantitatea de aer care urmează să participe la procesele de baleiaj și de ardere a combustibilului.

În relația (3.53) s-a considerat temperatura mediului ambiant ca fiind egală cu temperatura aerului de răcire la intrarea în răcitor, T_2' .

Scăderea de exergie a aerului de supraalimentare (cald) se regăsește parțial în creșterea exergiei aerului de răcire (rece), restul servind pentru acoperirea pierderii datorită transferului de căldură la diferență finită variabilă de temperatură. Variația de exergie a fluidului rece este dată de relația:

$$\Delta E_{Q2} = \theta_{c2} |Q_R| = \left[1 - T_2' \frac{\ln(T_2''/T_2')}{T_2'' - T_2'} \right] |Q_R| \quad (3.51')$$

Pierderea de exergie datorită laminării aerului de supraalimentare poate fi calculată cu relația:

$$\dot{\Pi}_{l1,R} = m_1 T_2' \Delta s_{lR} = m_1 R T_2' \ln \frac{p_1}{p_1 - \Delta p_1} \quad (3.54)$$

Relațiile (3.51)...(3.54) vor fi detaliate în cadrul cap. 4.

Luând în calcule debitul de aer cald ce străbate răcitorul, relația (3.54) devine

$$\dot{\Pi}_{l1,R} = \dot{m}_1 R T_2' \ln \frac{p_1}{p_1 - \Delta p_1} \quad (3.54')$$

unde $\dot{\Pi}_{l1,R}$ are semnificația unui flux de exergie pierdută prin laminare.

În mod analog, pentru aerul de răcire se poate scrie:

$$\dot{\Pi}_{l2,R} = \dot{m}_2 R T_2' \ln \frac{p_2}{p_2 - \Delta p_2} \quad (3.55)$$

Pierderea de exergie datorită transferului de căldură la diferență finită variabilă de temperatură se poate determina – considerând că pierderile de căldură prin peretii exteriori sunt nule – cu relația generală:

$$\dot{\Pi}_{\Delta T} = \Delta \dot{E}_{Q1} - \Delta \dot{E}_{Q2} = \Delta \theta_{em} \dot{Q}_R \quad (3.56)$$

în care \dot{Q}_R se calculează cu relația (3.53) iar factorul exergetic mediu de temperatură θ_{em} cu relația:

$$\Delta\theta_{em} = T_2' \frac{\Delta T_m}{T_{m1} \cdot T_{m2}} \quad (3.57)$$

În relația de mai sus, ΔT_m reprezintă diferența temperaturilor medii ale celor două fluide:

$$\Delta T_m = T_{m1} - T_{m2} \quad (3.58)$$

unde:

$$T_m = \dot{Q}_R / \Delta \dot{S} \quad (3.59)$$

este temperatura absolută medie a fluidului calculată ca raport între fluxul de căldură schimbat în răcitor și viteza de creștere a entropiei datorită ireversibilității transferului de căldură.

Astfel:

$$T_{m1} = \frac{\dot{m}_1 c_{p1} (T_1' - T_1'')}{\dot{m}_1 c_{p1} \ln (T_1' / T_1'')} = \frac{T_1' - T_1''}{\ln (T_1' / T_1'')} \quad (3.60)$$

$$T_{m2} = \frac{\dot{m}_2 c_{p2} (T_2'' - T_2')}{\dot{m}_2 c_{p2} \ln (T_2'' / T_2')} = \frac{T_2'' - T_2'}{\ln (T_2'' / T_2')} \quad (3.61)$$

În condițiile reale de transfer de căldură, pierderile de exergie se măresc datorită rezistențelor hidraulice la deplasarea fluidelor prin aparat și fluxului de căldură schimbat cu mediul ambiant. Acestea au însă – în cazul răcitoarelor aer-aer – o valoare foarte redusă. (În plus, trebuie menționat faptul că transferul de căldură către mediul ambiant nu poate fi, practic, separat de cel către mediul răcitor). Astfel, pierderea totală de exergie în răcitor este dată de suma

$$\Pi = \Pi_{\Delta T} + \Pi_{\Delta p} + \Pi_{amb} \quad (3.62)$$

unde:

$$\Pi_{\Delta p} = \Pi_{l1R} + \Pi_{l2R} \quad (3.63)$$

$$\Pi_{amb} \cong 0 \quad (3.64)$$

Raportând pierderile de exergie la unitatea de timp, se obține, ținând seama de relația (3.64),

$$\dot{\Pi} = \dot{\Pi}_{\Delta T} + \dot{\Pi}_{\Delta p} \quad (3.62')$$

Aprecierea răcitorului se poate face cu ajutorul randamentului exergetic definit astfel:

$$\eta_e = \frac{\Delta \dot{E}_2}{|\Delta \dot{E}_1|} = 1 - \frac{\dot{\Pi}}{|\Delta \dot{E}_1|} \quad (3.65)$$

unde

$$|\Delta \dot{E}_1| = \Delta \dot{E}_{Q1} = \theta_{e1} \dot{Q}_R \quad (3.66)$$

La calculul randamentului exergetic al răcitorului se ia în considerare numai exergia căldurii [29], neglijând componenta mecanică a exergiei, ceea ce este echivalent cu $\Pi_{\Delta p} = 0$ respectiv $\Pi = \Pi_{\Delta T}$. Pierderile de presiune fiind mici la răcitoarele aer-aer, influența $\Pi_{\Delta p}$ asupra $\Pi_{\Delta T}$ este nesemnificativă.

3.5 Concluzii

Schimbătoarele de căldură aer-aer pentru răcirea aerului de supralimentare au construcție compactă ce conține suprafețe extinse prin aripare. Studiul comportării termice și gazodinamice a unor astfel de suprafețe implică cunoașterea dependentelor $j_a = j_a(Re_a)$ și $c_{fa} = c_{fa}(Re_a)$ determinate experimental.

Între performanțele termice și cele gazodinamice există o strânsă legătură, și anume intensificarea schimbului de căldură atrage după sine sporirea pierderilor de presiune prin frecare. Introducerea indicilor de evaluare termodinamică a răcitoarelor aer-aer $\Delta\rho$ și $\Delta\rho_{\Delta T1}$ permite evaluarea cantitativă a răcirii aerului admis în motor și a efectului acesteia asupra performanțelor motorului. Studiul variației lui $\bar{\Delta\rho}$, $\bar{\Delta\rho}_{\Delta T1}$ și η_ρ a evidențiat [44] – pentru domeniul în care au sens fizic – faptul că influența principală asupra răcirii aerului admis o are termogazodinamica răcitorului, respectiv funcția ϕ și căderea de presiune de partea aerului cald $\Delta p_1/p_1$, ponderea având-o $\Delta p_1/p_1$. Influența căderii de presiune, deși neglijabilă asupra presiunilor ciclului, este determinantă în privința indicilor de evaluare termodinamică a răcitorului și, în continuare, asupra performanțelor motorului. Raportul de creștere a temperaturilor, determinat de raportul de comprimare în suflantă, are ca efect creșterea continuă a lui $\Delta\rho$ și existența unui punct de maxim pentru $\bar{\Delta\rho}_{\Delta T1}$ și η_ρ , ceea ce implică existența unui domeniu optim de funcționare a grupului turbosuflantă-răcitor de aer.

Transferul de căldură ce are loc în răcitorul aerului de supraalimentare este un proces tipic ireversibil datorită diferenței finite de temperatură la care se desfășoară. Scăderea potențialului căldurii transmise este însoțită de pierderea de exergie $\Pi_{\Delta T}$.

Din expresia (3.1) rezultă că aria suprafeței de schimb de căldură A scade pe măsură ce coeficientul k și diferența ΔT_m marchează o creștere. După cum s-a arătat, pentru un ΔT_m dat, pierderea de exergie $\Pi_{\Delta T}$ crește pe măsură ce nivelul de temperatură la care funcționează răcitorul scade. În privința lui k , mărirea lui conduce, pe de o parte, la reducerea suprafeței de schimb de căldură A , iar pe de altă parte la amplificarea pierderilor de exergie $\Pi_{\Delta p}$. În consecință, majorarea lui k și ΔT_m determină micșorarea suprafeței A și creșterea pierderilor $\Pi_{\Delta T}$ și $\Pi_{\Delta p}$ cu atât mai mult, cu cât nivelul de temperatură este mai coborât. De aceea, dimensionarea corectă a răcitorului de aer este o problemă de studiu tehnico-economic.

În privința radamentului exergetic, el reprezintă un criteriu de apreciere a schimbătorului de căldură asemănător eficienței ϕ cu deosebirea că, la intensificarea schimbului de căldură ϕ crește iar η_c scade; în plus, dacă la calculul radamentului exergetic se iau în considerare și pierderile $\Pi_{\Delta p}$, acesta nu se mai pretează la o tratare coerentă

4 Studiul ireversibilității proceselor termogazodinamice din MAC supraalimentate

4.1 Turbosupraalimentarea

Studiul teoretic al influenței răcirii aerului de supraalimentare asupra proceselor termodinamice dintr-un MAC rapid supraalimentat poate fi efectuat utilizând schematizarea ciclului cu ardere mixtă prezentată în fig. 4.1.

O metodă de calcul a unui astfel de ciclu este prezentată în lucrarea [28]. Această metodă este dezvoltată pornind de la următoarele ipoteze:

- aerul și gazele de ardere respectă legile gazelor perfecte iar capacitățile termice masice sunt constante;
- procesul de admisie și baleiaj precum și toate evoluțiile de comprimare și destindere sunt considerate adiabatic izentropice;

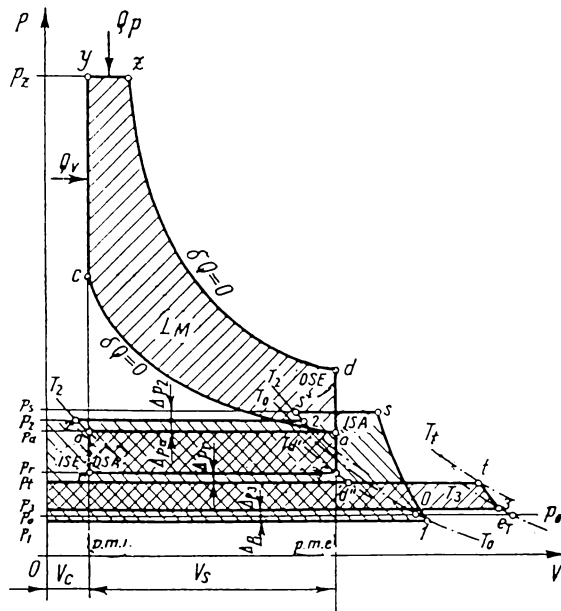


Fig. 4.1 Ciclul de funcționare al MAC supraalimentat

- calitatea fluidului de lucru nu se modifică în timpul procesului de ardere;
- nu se tine seama de procesul de disociere.

În afara acestor ipoteze, pe parcurs se mai fac, pentru usurința calculelor, următoarele simplificări:

- la calculul procesului de admisie și baleiaj, precum și la determinarea temperaturii gazelor în amonte turbinii, se consideră că aerul admis în cilindru și gazele de ardere au aceeași capacitate termică masică și același exponent adiabatic, iar cantitatea de gaze de ardere m_d ce se află în cilindru la deschiderea supapei de evacuare (DSE) este egală cu cantitatea de încărcătură proaspătă m_a care ocupă cilindrul la finele procesului de admisie (pentru un dozaj teoretic de 14,7 , aceste cantități diferă doar cu cca 6,7 %);

- se consideră că evacuarea forțată a gazelor de ardere din cilindru este un proces izoterm ($T_d = T_r$)*;

- la calculul presiunii în amonte turbinii se consideră, de asemenea, același exponent adiabatic pentru aer și pentru gazele de ardere ($\kappa_a = \kappa$).

Calculul ciclului teoretic după metoda sus-mentionată presupune cunoașterea următoarelor mărimi:

- raportul de comprimare nominal al motorului, ε ;
- raportul de creștere a presiunii în arderea izocoră, π_v ;
- raportul de creștere a volumului în arderea izobară, δ_p ;
- presiunea aerului la ieșirea din suflantă, p_s ;
- presiunea maximă de ardere, p_{max} ;
- coeficientul excesului de aer, λ ;
- coeficientul de baleiaj al cilindrului, φ ;
- randamentele interioare ale suflantei și respectiv turbinei, η_S , η_T ;
- coeficienții pierderilor relative de presiune: în procesul de admisie ψ_a , în procesul de evacuare ψ_e , la aspirația aerului în suflantă ψ_1 , în răcitorul suflantei ψ_2 și la evacuarea gazelor din turbină ψ_3 ;
- raportul temperaturilor aerului la admisia în cilindru, $\tau_a = T_a / T_2$;
- gradul de răcire a aerului în răcitor τ_R , a cărui expresie este aceeași cu cea a eficienței schimbătorului de căldură.

Trebuie precizate, de asemenea, puterea calorifică inferioară a combustibilului H_i , cantitatea de aer necesară arderii stoichiometrice a combustibilului L_{min} și constanta caracteristică a gazului ideal. R.

* În cadrul acestui capitol, indicii numerici și cei ai mărimilor de stare se referă exclusiv la punctele caracteristice ale ciclului motor, conform notațiilor din fig. 4.1.

Pentru punerea în evidență a cauzelor ireversibilității interne și externe a ciclului de funcționare a MAC în patru timpi turbosupraalimentat se utilizează metoda exergetică de studiu (cf. fig. 4.2). Utilizând această metodă se pot calcula pierderile de exergie Π_j provocate de ireversibilitatea proceselor, pierderi care, în condiții de funcționare date, constituie singurii factori ce condiționează economicitatea și puterea motorului.

Pierderile de exergie se pot determina cu relațiile:

$$\begin{aligned}\Pi_{ir,ar} &= T_0 \cdot \Delta S_{ir,ar} = (m_{aer} + \tilde{m}_c) T_0 (\Delta s_{q,v} + \Delta s_{q,p}) = \\ &= m_c (1 + \lambda L_{min}) T_0 [c_v \ln(T_y/T_c) + c_p \ln(T_z/T_y)]\end{aligned}$$

(s-a neglijat cantitatea de gaze reziduale din cilindru) sau

$$\pi_{ir,ar} = \Pi_{ir,ar} / \tilde{m}_c = (1 + \lambda L_{min}) R T_0 \cdot 1/(\kappa - 1) \ln \pi_v \delta_p^\kappa \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned}\Pi_{Q,R} &= |Q_R| - T_0 \cdot |\Delta S_{Q,R}| = m'_{aer} c_p [T_s - T_{s'} - T_0 \ln(T_s/T_{s'})] = \\ &= \varphi m_{aer} \kappa_a / (\kappa_a - 1) R [T_s - T_{s'} - T_0 \ln(T_s/T_{s'})]\end{aligned}$$

sau

$$\pi_{Q,R} = \Pi_{Q,R} / \tilde{m}_c = \varphi \lambda L_{min} R \kappa_a / (\kappa_a - 1) [T_s - T_2 - T_0 \ln(T_s/T_2)] \quad (4.2)$$

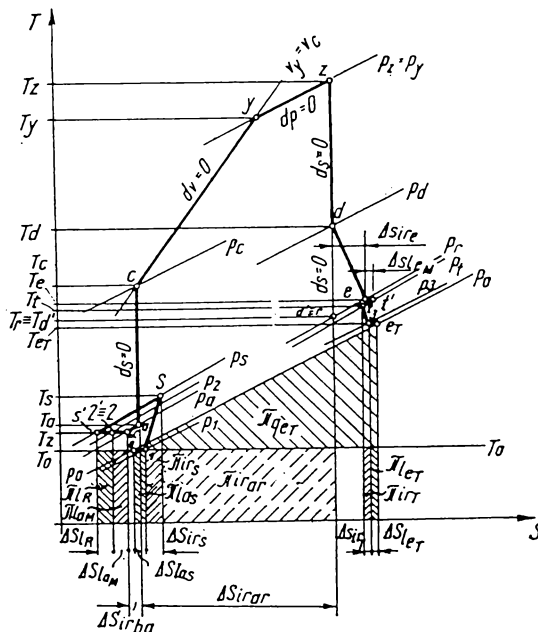


Fig. 4.2 Diagrama T-s a ciclului de funcționare a MAC turbosupraalimentat

$$\begin{aligned}\Pi_{Q,eT} &= |Q_{eT}| - T_0 |\Delta S_{Q,eT}| = (m'_{aer} + \tilde{m}_c) c_p [T_{eT} - T_0 - T_0 \ln(T_{eT}/T_0)] = \\ &= (m'_{aer} + \tilde{m}_c) \kappa / (\kappa - 1) R T_0 [T_{eT}/T_0 - 1 - \ln(T_{eT}/T_0)]\end{aligned}$$

sau

$$\begin{aligned}\pi_{q,eT} &= \Pi_{Q,eT} / \tilde{m}_c = (1 + \varphi \lambda L_{\min}) R T_0 \kappa / (\kappa - 1) [T_{eT}/T_0 - 1 - \ln(T_{eT}/T_0)] \quad (4.3) \\ \Pi_{ir,S} &= T_0 \cdot \Delta S_{ir,S} = m'_{aer} T_0 \Delta s_{ir,S} = \varphi m_{aer} T_0 [c_p \ln(T_s/T_1) - R \ln(p_s/p_1)] = \\ &= \varphi \lambda L_{\min} \tilde{m}_c R T_0 [\kappa_a / (\kappa_a - 1) \ln(T_s/T_0) - \ln(p_s/p_1)]\end{aligned}$$

sau

$$\begin{aligned}\pi_{ir,S} &= \Pi_{ir,S} / \tilde{m}_c = \varphi \lambda L_{\min} R T_0 [\kappa_a / (\kappa_a - 1) \ln(T_s/T_0) - \ln(p_s/p_1)] \quad (4.4) \\ \Pi_{ir,T} &= T_0 \cdot \Delta S_{ir,T} = (m'_{aer} + \tilde{m}_c) T_0 \Delta s_{ir,T} = \\ &= (m'_{aer} + \tilde{m}_c) T_0 [c_p \ln(T_3/T_t) - R \ln(p_3/p_t)]\end{aligned}$$

sau

$$\begin{aligned}\pi_{ir,T} &= \Pi_{ir,T} / \tilde{m}_c = (1 + \varphi \lambda L_{\min}) R T_0 [\ln(p_t/p_3) - \kappa / (\kappa - 1) \ln(T_t/T_{eT})] \quad (4.5) \\ \Pi_{ir,ba} &= T_0 \cdot \Delta S_{ir,ba} = m'_{aer} T_0 \Delta s_{ir,ba} = \varphi m_{aer} T_0 c_p \ln(T_a/T_\alpha)\end{aligned}$$

sau

$$\begin{aligned}\pi_{ir,ba} &= \Pi_{ir,ba} / \tilde{m}_c = \varphi \lambda L_{\min} R T_0 \kappa_a / (\kappa_a - 1) \ln(T_a/T_2) \quad (4.6) \\ \Pi_{ir,e} &= T_0 \cdot \Delta S_{ir,e} = (m_{aer} + \tilde{m}_c) T_0 \Delta s_{ir,e} = \\ &= (m_{aer} + \tilde{m}_c) T_0 c_p \ln(T_t'/T_{d'})\end{aligned}$$

sau

$$\begin{aligned}\pi_{ir,e} &= \Pi_{ir,e} / \tilde{m}_c = (1 + \lambda L_{\min}) R T_0 \kappa / (\kappa - 1) \ln(T_e/T_r) \quad (4.7) \\ \Pi_{ir\Delta T,eb} &= T_0 (\Delta S_{Q,b} - |\Delta S_{Q,e}|) = T_0 [m_b c_{pa} \ln(T_t/T_b) - (m_{aer} + \tilde{m}_c) \ln(T_e/T_t)] = \\ &= R T_0 [(\varphi - 1) m_{aer} \kappa_a / (\kappa_a - 1) \ln(T_t/T_b) - (m_{aer} + \tilde{m}_c) \kappa / (\kappa - 1) \ln(T_e/T_t)]\end{aligned}$$

sau

$$\begin{aligned}\pi_{ir\Delta T,eb} &= \Pi_{ir\Delta T,eb} / \tilde{m}_c = R T_0 [(\varphi - 1) \lambda L_{\min} \kappa_a / (\kappa_a - 1) \ln(T_t/T_b) - \\ &- (1 + \lambda L_{\min}) \kappa / (\kappa - 1) \ln(T_e/T_t)] \quad (4.8)\end{aligned}$$

$$\Pi_{la,S} = T_0 \cdot \Delta S_{la,S} = m'_{aer} T_0 \Delta s_{la,S} = \varphi m_{aer} R T_0 \ln(p_0/p_1)$$

sau

$$\pi_{la,S} = \Pi_{la,S} / \tilde{m}_c = \varphi \lambda L_{\min} R T_0 \ln[1/(1 - \psi_1)] \quad (4.9)$$

$$\Pi_{l,R} = T_0 \cdot \Delta S_{l,R} = m'_{\text{aer}} T_0 \Delta S_{l,R} = \varphi m_{\text{aer}} R T_0 \ln (p_s / p_2)]$$

sau

$$\pi_{l,R} = \Pi_{l,R} / \tilde{m}_c = \varphi \lambda L_{\text{min}} R T_0 \ln [1 / (1 - \psi_2)] \quad (4.10)$$

$$\Pi_{la,M} = T_0 \cdot \Delta S_{la,M} = m'_{\text{aer}} T_0 \Delta S_{la,M} = \varphi m_{\text{aer}} R T_0 \ln (p_2 / p_a)]$$

sau

$$\pi_{la,M} = \Pi_{la,M} / \tilde{m}_c = \varphi \lambda L_{\text{min}} R T_0 \ln [1 / (1 - \psi_a)] \quad (4.11)$$

$$\Pi_{lc,M} = T_0 \cdot \Delta S_{lc,M} = (m'_{\text{aer}} + \tilde{m}_c) T_0 \Delta S_{lc,M} = (m'_{\text{aer}} + \tilde{m}_c) R T_0 \ln (p_r / p_l)$$

sau

$$\pi_{lc,M} = \Pi_{lc,M} / \tilde{m}_c = (1 + \varphi \lambda L_{\text{min}}) R T_0 \ln [1 / (1 - \psi_c)] \quad (4.12)$$

$$\Pi_{lc,T} = T_0 \cdot \Delta S_{lc,T} = (m'_{\text{aer}} + \tilde{m}_c) T_0 \Delta S_{lc,T} = (m'_{\text{aer}} + \tilde{m}_c) R T_0 \ln (p_3 / p_0)$$

sau

$$\pi_{lc,T} = \Pi_{lc,T} / \tilde{m}_c = (1 + \varphi \lambda L_{\text{min}}) R T_0 \ln [1 / (1 - \psi_3)] \quad (4.13)$$

În concluzie, căldura eliberată prin arderea combustibilului, pe ciclu, se poate scrie sub forma:

$$Q_{\text{ar}} = L_M + \sum_{j=1}^n \Pi_j \quad (4.14)$$

care arată că energia termică a produselor de ardere, având capacitate limitată de transformare, se regăsește numai parțial în lucrul mecanic al ciclului, restul servind la acoperirea pierderilor cauzate de ireversibilitatea proceselor de lucru ale motorului turbosupraalimentat.

Notând

$$\pi_j = \Pi_j / \tilde{m}_c \quad (4.15)$$

se pot stabili ecuațiile:

$$\eta_t = \frac{L_M}{Q_{\text{ar}}} = 1 - \sum_{j=1}^n \frac{\Pi_j}{Q_{\text{ar}}} = 1 - \sum_{j=1}^n \frac{\pi_j}{H_i} = 1 - \sum_{j=1}^n \bar{\pi}_j \quad (4.16)$$

unde

$$\bar{\pi}_j = \pi_j / H_i$$

$$c = \frac{\tilde{m}_c}{L_M} = \frac{\tilde{m}_c}{Q_{ar} - \sum_{j=1}^n \Pi_j} = \frac{1}{H_i - \sum_{j=1}^n \pi_j} = \frac{1}{H_i} \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^n \bar{\pi}_j} \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} p_m &= \frac{L_M}{V_S} = \frac{Q_{ar} - \sum_{j=1}^n \Pi_j}{V_S} = \frac{Q_{ar}}{V_S} \left(1 - \sum_{j=1}^n \bar{\pi}_j \right) = \\ &= \eta_v \frac{\rho_2}{\lambda L_{\min}} H_i \left(1 - \sum_{j=1}^n \bar{\pi}_j \right) \end{aligned} \quad (4.18)$$

unde ρ_2 reprezintă densitatea aerului în amontele motorului

Reducerea pierderilor cauzate de ireversibilitate conduce la scăderea consumului specific de combustibil și la majorarea presiunii medii a ciclului.

Introducând notiunea de randament exergetic al arderii [25, 28] definit de relația:

$$\eta_{E,ar} = E_{Q,ar} / Q_{ar} = 1 - \bar{\pi}_{ir,ar} \quad (4.19)$$

se poate observa că

$$\eta_{E,cl} = \frac{L_M}{E_{Q,ar}} = \frac{L_M}{Q_{ar}} \cdot \frac{Q_{ar}}{E_{Q,ar}} = \frac{\eta_t}{\eta_{E,ar}} \quad (4.20)$$

și, deoarece $\eta_{E,ar} < 1$, rezultă că $\eta_{E,cl} > \eta_t$.

Analizând relația (4.20) se observă că $\eta_t = \eta_{E,cl} \cdot \eta_{E,ar}$ adică randamentul termic al ciclului depinde de doi factori: $\eta_{E,cl}$ și $\eta_{E,ar}$. Primul factor, randamentul exergetic, ia în considerare atât ireversibilitatea internă a proceselor termogazodinamice care se desfășoară în cilindru motorului turbosupraalimentat cât și pe cea externă determinată de interacțiunea acestuia cu mediul ambiant. Cel de-al doilea factor, $\eta_{E,ar} = \theta_{cm}$, ține seama de nivelul de temperatură al căldurii primite de la fluidul de lucru.

Pentru a obține rezultate mai apropiate de valorile determinate experimental, în lucrarea [29] se propune un model de calcul al ciclului care ține seama de schimbul de căldură cu mediul răcitor; astfel, evoluțiile de comprimare în suflantă și în cilindru precum și cele de destindere în cilindru și în turbină sunt considerate politropice cu indice variabil în funcție de temperatură. Schematizarea procesului de ardere conține în plus o evoluție

politropică în continuarea celei izobare care modelează arderea. Fluidul de lucru respectă legile gazului ideal.

Față de modelul prezentat anterior, se mai aduc următoarele perfecționări:

- se consideră $T_r \neq T_{d'}$, între ele existând raportul $\varphi_r = T_{d'}/T_r > 0$;
- la determinarea temperaturii gazelor de baleiaj la iesirea din cilindru se ține seama de diferența dintre exponenții adiabatici ai aerului și gazelor de ardere;
- la determinarea temperaturii în amonte turbinei se ține seama de diferența între capacitățile termice masice ale aerului și gazelor de ardere;
- se ține seama, de asemenea, că $m_d \neq m_a$ ($m_d > m_a$).

În cadrul studiului exergetic se iau în considerare pierderile prin ireversibilitate ce decurg din noile ipoteze.

4.2 Supraalimentarea simulată

Deoarece instalația experimentală are drept scop doar stabilirea influenței răcirii aerului asupra regimului de funcționare a motorului, s-a recurs la utilizarea supraalimentării simulate; aceasta permite evitarea complicațiilor legate de construcția colectorului de evacuare și de acordarea grupului turbosuflantă cu motorul.

În cazul supraalimentării simulate, suflanta **C**, care comprimă aerul, este antrenată de un motor auxiliar **A** (fig. 4.3).

Față de cazul turbosupraalimentării, în cazul supraalimentării simulate nu se mai iau în considerare pierderile din procesele de laminare și comprimare în suflantă (0 - 1 și 1 - s) și destindere în turbină (t - 3); pierderile legate de comprimarea aerului de supraalimentare sunt acoperite de motorul auxiliar **A**, iar cele aferente destinderii în turbină dispar.

Rezultatele calculului exergetic vor conduce astfel la valori procentuale mai ridicate ale randamentului, fără a duce însă la modificări ale alurii curbei de variație a acestuia.

Trebuie remarcat însă faptul că studiul energetic și exergetic al supraalimentării simulate prezintă dificultăți serioase mergând până la imposibilitatea unei tratări coerente, datorită utilizării în paralel a două surse de energie de naturi diferite (energia chimică a combustibilului și energia mecanică a motorului auxiliar **A**).

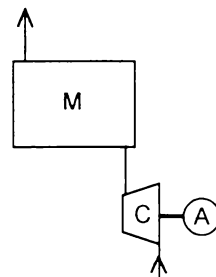


Fig. 4.3 Supraalimentarea simulată

4.3 Bilantul energetic si cel exergetic

Pe baza modelelor prezentate în lucrările [28,29,61], a fost întocmit un program de calcul al ciclului teoretic al MAC turbosupraalimentat, utilizând metoda clasică si cea exergetică [64]. Metoda de calcul utilizată păstrează, în general, ipotezele admise în lucrarea [28], aducându-se următoarele îmbunătățiri:

- pentru a justifica unele ipoteze simplificatoare utilizate de metoda de calcul, s-a adoptat pentru combustibil compozitia elementară $C = 0,8608$, $H = 0,1392$ care corespunde unei medii a compozitiei motorinelor uzuale si care conduce la aceeași valoare a constantei caracteristice R atât pentru aer cât si pentru gazele rezultate din arderea perfectă. Exergia combustibilului a fost considerată egală cu puterea calorifică inferioară;

- a fost luată în considerare variația cu temperatura a exponentilor adiabatici: pentru aer [15] pe baza relatiei

$$\kappa_a = 1,434 - \frac{T}{10^4} \quad (4.21)$$

si pentru gazele de ardere [61] pe baza relatiei

$$\kappa = 1,254 - \frac{0,0372}{\lambda} + \frac{76,7}{T} \quad (4.22)$$

unde T reprezintă temperatura medie în intervalul considerat;

- la calculul presiunii din amonte turbinei s-a ținut cont de faptul că $\kappa_a \neq \kappa$.

Deoarece prin răcire masa aerului admis în cilindru crește, programul permite efectuarea calculului în două variante (cf. Anexa A, programele CITMACS1.BAS si CITMACS2.BAS): cu menținerea constantă a dozei de combustibil ($m_c = \text{const}$) si respectiv cu menținerea constantă a coeficientului excesului de aer ($\lambda = \text{const}$), pentru grade de răcire a aerului în răcitor τ_R cuprinse între 0 si 1, în ipoteza limitării presiunii maxime a ciclului teoretic.

Programele sunt alcătuite din câte două unități logice:

- prima, cu ajutorul căreia se pot stabili mărimile de stare în vârfurile ciclului, presiunea medie p_m si randamentul termic η_t al ciclului;

- a doua, cu ajutorul căreia se pot stabili pierderile relative prin ireversibilitate π_j , randamentul exergetic $\eta_{E,cl}$ al ciclului, consumul specific teoretic c si se verifică randamentul termic.

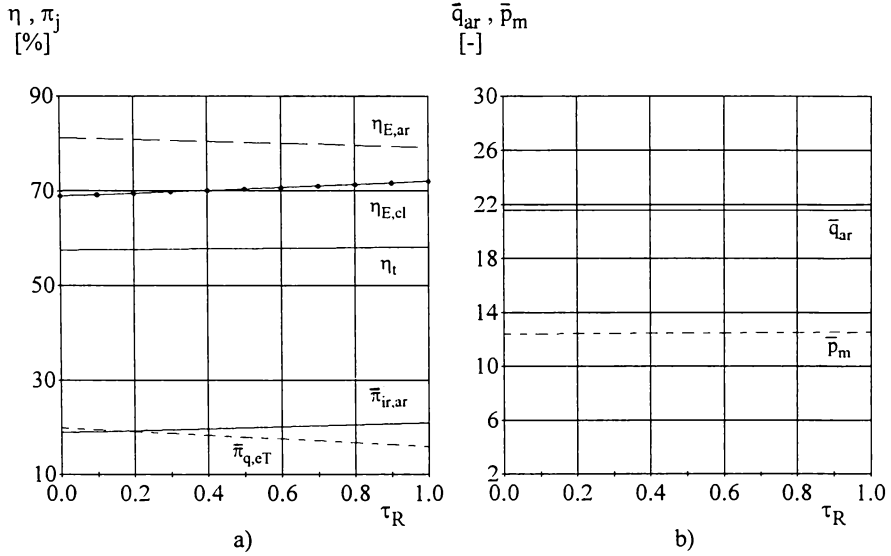


Fig. 4.4 Influența gradului de răcire τ_R în cazul $\tilde{m}_c = \text{const}$
(Valorile din fig.b) sunt raportate la p_0)

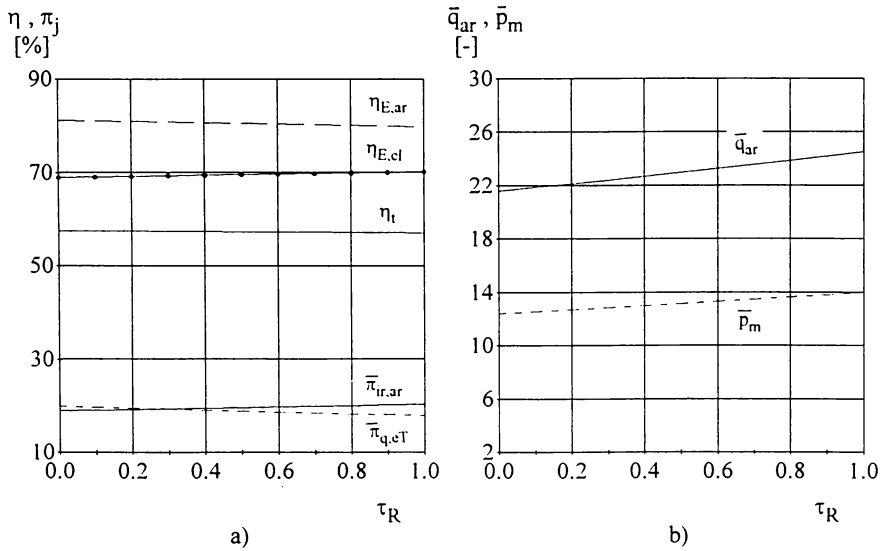


Fig. 4.5 Influența gradului de răcire τ_R în cazul $\lambda = \text{const}$
(Valorile din fig.b) sunt raportate la p_0)

Cele două unități logice sunt asamblate prin intermediul câte unui subalgoritm specific. În ambele programe calculele se efectuează automat pentru grade de răcire a aerului cuprinse între 0 și 1 cu pas 0,1.

Cu ajutorul programului de calcul prezentat mai sus a fost studiată influența răcirii aerului de supraalimentare în cazul unui motor D115 cu turbosupraalimentare și răcire intermediară în schimbător de căldură aer-aer, motorul fiind caracterizat prin următorii parametri: $\varepsilon = 17$, $p_s = 1,38$ bar, $p_{\max} = 105$ bar, $\lambda = 1,8$, $\varphi = 1,1$, $\eta_S = 0,75$, $\eta_T = 0,83$, $\psi_a = 0,02$, $\psi_c = 0,05$, $\psi_1 = 0,01$, $\psi_2 = 0,002$, $\psi_3 = 0,01$, $\tau_a = 1,05$. S-a considerat $p_0 = 1$ bar și $T_0 = 298$ K. Rezultatele calculelor sunt prezentate în tab. A1 și A2 și reprezentate grafic în fig. 4.4 și 4.5.

Creșterea gradului de răcire τ_R determină scăderea temperaturii aerului admis în motor T_2 , ceea ce are drept consecință imediată creșterea densității ρ_2 . Scade de asemenea nivelul temperaturilor ciclului, însă într-o măsură mai mică decât crește densitatea.

Se constată că mărirea lui τ_R , studiată din punct de vedere exergetic, conduce la creșterea pierderilor prin ireversibilitate în procesul de ardere $\pi_{ir,ar}$, datorită diminuării temperaturii medii a arderii; concomitent, pierderile de exergie cu gazele evacuate din turbină $\pi_{q,eT}$ scad mai repede decât cresc pierderile $\pi_{ir,ar}$ astfel că randamentul exergetic al ciclului $\eta_{E,cl}$ crește.

Pentru aceeași doză de combustibil \tilde{m}_c cantitatea de aer comburant va crește, ceea ce face ca excesul de aer λ să crească, în timp ce solicitarea termică a cilindrului q_{ar} rămâne constantă. Creșterea gradului de răcire a aerului este însoțită în acest caz de o ușoară creștere a presiunii medii p_m a ciclului și prin urmare de o sporire a puterii teoretice (cca 1,2 % la $\tau_R = 0,8$). Rezultă o ușoară scădere a consumului specific de combustibil (cca 1,7 % la $\tau_R = 0,8$).

Pentru o valoare constantă a coeficientului excesului de aer λ , micșorarea temperaturii T_2 înainte de intrarea în motor este urmată de sporirea încălzirii termice volumice a cilindrului q_{ar} . În privința economicității, influența gradului de răcire a aerului τ_R este relativ redusă: scăderea lui $\eta_{E,ar}$ fiind cu puțin mai pronunțată decât creșterea lui $\eta_{E,cl}$, randamentul termic prezintă o ușoară scădere odată cu mărirea lui τ_R . Deoarece q_{ar} crește, crește și p_m . Se constată că pentru o scădere cu 10°C a temperaturii aerului admis în motor (corespunzător unei creșteri a gradului de răcire τ_R cu cca 0,2) presiunea medie p_m crește cu cca 2,9...3,2 % ceea ce corespunde satisfăcător cu valorile găsite experimental. Pierderile relative de exergie în răcitorul de aer $\pi_{q,R}$ cresc pe măsura intensificării răcirii, dar rămân la valori neglijabile (sub 0,6 %).

Pierderile de presiune foarte mici (sub 0,5 %) care caracterizează schimbătoarele de căldură aer-aer conduc de asemenea la valori foarte mici ale pierderilor relative de exergie prin laminare în răcitorul de aer (sub 0,02 % din H_1). Pentru o creștere a pierderilor relative de presiune ψ_2 de la 0,002 la 0,1 se constată o diminuare a presiunii medii a ciclului cu circa 10 % ceea ce arată importanța ce trebuie acordată construcției răcitorului de aer de supraalimentare.

4.4 Concluzii

Un pas înainte în studiul analitic al ciclului teoretic îl constituie metoda exergetică. Avantajul principal al unei asemenea metode constă în faptul că ea permite analiza gradului de perfecțiune termodinamică a proceselor ce se desfășoară în diverse organe ale unei mașini motoare, fără aprecierea a priori a capacității întregii mașini de a efectua un lucru mecanic și a pierderii acestei capacități din toate organele sale; aceasta permite localizarea și precizarea adevăratelor cauze ale pierderilor în vederea ameliorării proceselor termice [25].

Studiul efectuat asupra ciclului teoretic al MAC turbosupraalimentat, considerând fluidul de lucru un gaz ideal prezintă avantajul care rezultă din calculul analitic. Deși nu este în măsură să dea valori apropiate de cele reale decât dacă se introduc în calcule anumiți coeficienți de corecție, el permite o analiză comparativă rapidă a influenței diferiților parametri, cum ar fi gradul de răcire.

Cazul supraalimentării simulate, așa cum este ea descrisă în cap. 4.2, ca mijloc alternativ de cercetare experimentală a influenței răcirii aerului de supraalimentare, nu se pretează unei tratări analitice absolut coerente, deoarece presupune existența a două surse de energie de naturi diferite.

5 Metodele de cercetare experimentală

Răcirea aerului de supraalimentare la MAC în patru timpi este însoțită de o serie de avantaje legate de reducerea solicitărilor termice și mecanice, precum și de creșterea economicității motorului. În plus, utilizarea răcitoarelor aer-aer din metale ușoare conduce la instalatii de răcire mai simple și mai puțin costisitoare [63]. Aceste avantaje pot fi puse în evidență pe baza unor măsurători adecvate efectuate pe motorul de cercetat.

5.1 Programul de experimentare

Scopul cercetării experimentale este de a stabili influența răcirii aerului de supraalimentare, utilizând un schimbător de căldură aer-aer, asupra performanțelor unui MAC în patru timpi. Pentru aceasta a fost proiectat un schimbător de căldură aer-aer cu plăci din aluminiu în construcție brazată, care a fost instalat pe motor alături de radiator.

Stabilirea performanțelor termice ale răcitorului de aer constituie o primă fază a cercetării experimentale. În această fază se urmărește determinarea comportării răcitorului la diferite regimuri de debit și temperaturi în vederea stabilirii ecuației criteriale a schimbului de căldură, precum și a pierderilor aerodinamice.

O a doua fază a programului de cercetare experimentală o constituie încercarea motorului. În această fază se urmărește stabilirea influenței răcirii aerului de supraalimentare — utilizând schimbătorul de căldură aer-aer — asupra indicilor de performanță ai motorului.

Ordinograma generală a unei faze a programului de cercetare este prezentată în figura 5.1.

5.1.1 Răcitorul de aer

În vederea stabilirii structurii geometrice optime a răcitorului de aer, au fost mai întâi încercate, în Laboratorul de utilaje termice al Catedrei de Termotehnică și Masini Termice, cinci structuri de schimbător de căldură cu plăci aripate de geometrii diferite. Aceste structuri au fost constituite în cinci matrici de schimbător de căldură apă-aer cu plăci cu aripioare ondulate continue, realizate din aluminiu la Intreprinderea de Utilaj Termic Bistrita (astăzi RAAL S.A.) și încercate pe un stand existent. Scopul încercărilor a

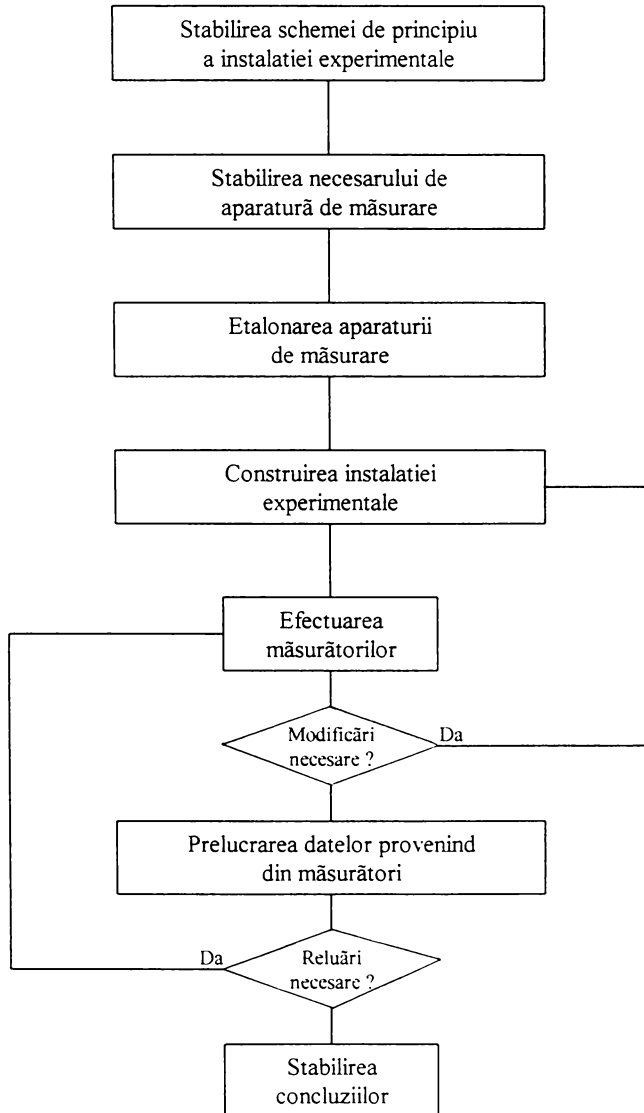


Fig. 5.1 Organigrama programului de experimentare

fost stabilirea legii de variație a coeficienților α , de transfer termic, și c_f de frecare, de partea suprafețelor aripate. Apoi, în urma unui studiu comparativ, a fost stabilită structura geometrică cea mai eficientă.

În continuare, folosind această structură, a fost realizat (pe bază de contract, tot la I.U.T. Bistrita) un răcitor aer-aer pentru aerul de supraalimentare, care la rândul său a fost încercat pe un stand special amenajat în Laboratorul de schimbătoare de căldură al Catedrei. Scopul încercărilor a fost determinarea eventualelor diferențe între comportarea efectivă — termică și aerodinamică — a răcitorului și cea calculată pe baza legii stabilite anterior pe model. Aceste diferențe sunt cauzate în principal de faptul că, din motive tehnologice, răcitorul real prezintă, în anumite zone, abateri de la geometria structurii de pe matrice.

5.1.2 Motorul

Pentru punerea în evidență a efectelor răcirii aerului de supraalimentare s-au făcut măsurători pe un motor D 115, cu aprindere prin comprimare, cu trei cilindri, adaptat pentru supraalimentare. Pentru acest motor s-a ridicat caracteristica de regulator [8] în următoarele situații:

- motor cu aspirație naturală;
- motor supraalimentat;
- motor supraalimentat, cu răcirea aerului de supraalimentare.

Soluția tehnică adoptată în vederea supraalimentării motorului este supraalimentarea simulată (cf. cap. 4.2); în acest caz nu se utilizează energia gazelor de ardere, aerul comprimat necesar fiind furnizat de evacuarea dintr-o pompă de vid antrenată de un motor electric. Această soluție, impusă de condițiile și dotarea Laboratorului de motoare cu ardere internă, este destinată în exclusivitate cercetării experimentale a influenței răcirii aerului de supraalimentare asupra unor parametri funcționali ai motorului, caz în care nu se pune problema găsirii unei soluții optime de supraalimentare.

5.2 Parametri măsurați și metode de măsurare

5.2.1 Răcitorul de aer

În cazul schimbătoarelor de căldură, parametrii măsurați sunt temperatura,

presiunea si debitul. In plus, pentru stabilirea densității aerului, a mai fost măsurată si umiditatea relativă.

a) Masurarea temperaturii

Pentru măsurarea temperaturii s-au folosit, după caz, termometre cu mercur în capilar de sticlă sau termocupluri.

Pe standul pentru încercarea celor cinci matrici de schimbător de căldură apă-aer, s-au folosit în special termometre cu mercur, deoarece instalatia fiind compactă, de dimensiuni mici, citirile aparatelor de măsură au fost usor de efectuat. Termometrele au fost de tip „de laborator“, cu imersie totală, cu diviziuni de 0,1°C. Termometrele fiind utilizate în conditii de imersie parțială, s-a aplicat corectia de coloană emergentă [7,26]:

$$\Delta t = 0,00016 \cdot n \cdot (t - t_{em}) \quad (5.1)$$

unde Δt este corectia [°C], n este numărul de grade corespunzător coloanei emergente, t este temperatura indicată de termometru [°C], iar t_{em} este temperatura coloanei emergente [°C]. Valoarea t_{em} s-a determinat cu ajutorul unui termometru auxiliar asezat în apropierea coloanei emergente. Pentru mărirea preciziei de citire s-a utilizat o lupă cu mărirea de 2,5.

Pe standul pentru încercarea răcitorului aer-aer, măsurarea temperaturilor s-a făcut cu ajutorul termocuplurilor. Acestea prezintă avantajul unui cost scăzut, timp redus de răspuns la dimensiuni mici si rezistentă la socuri mecanice. Termocuplurile au fost de tip Cupru-Constantan, 4 de fabricatie DEGUSA-Zweigniederlassung Hannau, Ø0,38 mm, cu izolatie de lac si mătase, si 16 confectionate din fire cu Ø0,1 mm, cu izolatie de lac, acestea din urmă fiind folosite pentru studiul câmpului de temperatură la iesirea aerului rece din răcitor. Constanta de timp indicată de producător pentru termocuplurile DEGUSA a fost de 10,0 s în aer în repaus si de 0,08 s în aer cu viteza de 20 m/s. Pentru reducerea erorilor de măsurare, termocuplurile au fost ecranate cu tuburi din împletitură metalică si legate la un voltmetru electronic prin intermediul unui comutator rotativ cu 20 de contacte. Rezistenta contactelor a fost mai mică de 0,01 Ω. Armătura metalică a fost legată la pământ. De asemenea, pentru acuratetea măsurătorilor, o jonctiune, considerată de referință, a fost mentinută pe toată durata măsurătorilor. într-o baie de apă cu gheată, la temperatura constantă de 0°C [26]. Montajul electric (fig. 5.2) s-a realizat în asa fel încât legătura la aparatul de măsură a t.t.e.m. să se facă prin fire de cupru cu lungimea de 0,25 m.

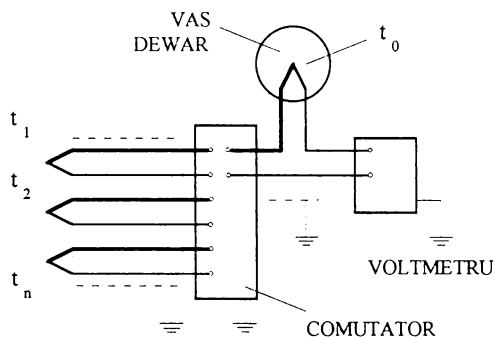


Fig. 5.2 Schema de montaj a termocupurilor

Deoarece coeficientul Seebeck al termoelementului Cu-Constantan este de $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ la temperatura de 20°C , sensibilitatea necesară a aparatului de măsură este de $4 \mu\text{V}$ pentru $0,1^\circ\text{C}$. S-a utilizat în acest scop un voltmetru electronic cu afisaj digital, cu posibilitatea citirii tensiunilor în mV cu trei zecimale.

b) Măsurarea presiunii

Valoarea absolută a presiunii atmosferice a fost determinată cu ajutorul barometrului cu mercur (barometru cu rezervor) aflat în încăperea laboratorului. Valoarea citită pentru presiunea atmosferică a fost corectată în funcție de variațiile de temperatură [33]. Barometrul fiind etalonat la temperatura de 0°C , între înălțimea redusă a coloanei acestuia, p_{b0} , și înălțimea p_b citită la temperatura $t^\circ\text{C}$ există relația:

$$p_{b0} = p_b (1 - \gamma_a t) \quad (5.2)$$

unde γ_a este coeficientul de dilatație aparentă, dependent de materialul scării.

Presiunile măsurate fiind apropiate de valoarea presiunii atmosferice, s-au utilizat manometre cu tub U, cu apă sau cu mercur, sau manometre cu tub înclinat, care permit citirea precisă a coloanei de lichid.

La plasarea prizei de presiune pe conductele de aer s-a avut în vedere evitarea influenței presiunii dinamice. Astfel, orificiul prizei de presiune a fost practicat în peretii de-a lungul cărora aerul curge nederanjat, avându-se grijă ca la locul găurii canalului să nu rămână bavuri [13].

c) Măsurarea debitului

Pentru măsurarea debitului de aer s-au utilizat în exclusivitate diafragme, curgerea fiind subsonică iar debitele nepulsatorii. Aceste dispozitive sunt cele mai utilizate la ora actuală, datorită pretului lor scăzut, siguranței în funcționare și preciziei ridicate [6].

Pe conductele de aer cu diametrul nominal $D_n \leq 50$ mm s-au montat diafragme duble, iar pe cele cu $D_n > 50$ mm s-au montat diafragme simple. Montajul s-a efectuat cu respectarea condițiilor de instalare prevăzute de [94] pentru realizarea unei erori suplimentare nule în cazul lucrărilor de cercetare. Debitul masic s-a calculat cu relația generală [94]:

$$\dot{m} = \alpha \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \rho_1 \Delta p} \quad (5.3)$$

unde: α = coeficient de debit;

ε = coeficient de detentă;

d = diametrul orificiului elementului primar, în condițiile de utilizare;

Δp = presiune diferențială;

ρ_1 = densitate a fluidului în amonte.

Calculul a fost efectuat utilizând programul original „DIAFRAG” (cf. Anexa B).

Pentru măsurarea debitului de apă s-a folosit un debitmetru electromagnetic FEA cu aparat de măsură. Acest tip de aparat permite determinarea debitului volumic de lichid și prezintă avantajul unei precizii ridicate, al unui semnal de ieșire analog liniar și al unei căderi de presiune reduse. Este insensibil la densitate, vâscozitate, presiune și temperatură. Neavând piese în mișcare, necesită o întreținere minimă [6]. Pentru reducerea erorilor de măsurare, s-a avut grijă la instalarea debitmetrului să se asigure o porțiune neperturbată de conductă cu lungimea de zece diametre în amonte și cinci diametre în aval. Poziția tronsonului de măsurare a fost astfel aleasă încât acesta să fie în permanentă plin cu lichid. Pentru eliminarea curenților vagabonzi, rețeaua de conducte și debitmetrul însuși au fost legate la pământ [7,13]. Citirile la aparatul de măsură s-au făcut în mA.

d) Măsurarea umidității relative

Pentru măsurarea umidității relative a aerului s-a utilizat un psihrometru cu aspirație Assmann. Acest aparat permite efectuarea de măsurători de umiditate cu o precizie de $\pm 1\%$, chiar în condiții de serviciu grele. Valoarea umidității relative s-a determinat,

folosind indicațiile celor două termometre (umed și uscat), cu ajutorul formulei lui Sprung [9,39], aplicabilă la temperaturi de peste 0 °C:

$$p_v = p_s - A (t_a - t_v) \frac{p_b}{760} \quad (5.4)$$

unde p_v este presiunea parțială a vaporilor de apă, [Torr];

p_s - presiunea de saturatie a vaporilor la temperatura t_v , [Torr];

t_a - temperatura indicată de termometrul uscat, [°C];

t_v - temperatura indicată de termometrul umed, [°C];

A - coeficientul psihrometric având practic valoarea 0,5 pentru viteze ale aerului de peste 2 m/s.

În SI relația (5.4) are forma:

$$p_v = p_s - 66,66 (t_a - t_v) \frac{p_b}{101325} \quad (5.4a)$$

Umiditatea relativă se determină apoi cu expresia:

$$\varphi = \frac{p_v}{p_s} \quad (5.5)$$

5.2.2. Motorul

Efectuarea măsurătorilor pe standul de încercare a motorului prezintă un grad de complexitate sporit, deoarece implică măsurători efectuate pe instalația de răcire a aerului cât și măsurători efectuate pe motorul propriu-zis. Pe de altă parte, condiții obiective, ca: situarea standului în încăperea laboratorului, disponibilitatea agregatelor auxiliare, dotarea tehnică, au avut un rol decisiv în amenajarea standului și alegerea mijloacelor de măsurare.

Domeniul parametrilor măsurati cuprinde: temperaturi, presiuni, debite, turatie, moment motor, consum de combustibil, compoziția gazelor de ardere, grad de fum.

a) Măsurarea temperaturii

Pentru măsurarea temperaturii aerului ambiant s-a utilizat un termometru cu mercur în capilar de sticlă, cu gradatii de 0,1°C. Pentru măsurarea temperaturii aerului de supraalimentare s-au folosit termocupluri de tip Cupru-Constantan, de fabricație

DEGUSA-Zweigniederlassung Hannau, Ø0,38 mm, cu izolație de lac și mătase. Pentru determinarea celorlalte temperaturi (apă de răcire, ulei, gaze de ardere) s-au utilizat termocupluri de tip Cupru-Constantan industriale, cu teacă. Timpul de răspuns al acestor termocupluri este mai mare decât al celor fără teacă descrise mai sus, iar eroarea tolerată - de asemenea mai mare ($\pm 6 \text{ }^\circ\text{C}$) [3]. După operația de etalonare, prin selectarea termocupurilor, eroarea a fost redusă la $\pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Precizia de măsurare nu depinde însă numai de precizia termocuplului, ci și de modul de montare al acestuia. Erorile apar în principal datorită transferului de căldură ce se produce atât prin conducție prin armătura termocuplului (teaca de protecție și sistemul de fixare), cât și prin radiație, de la teacă la peretele conductei. Eroarea de măsurare cauzată de transferul de căldură prin conducție a fost micșorată prin izolarea termică a conductei și a sistemului de prindere a termocuplului; cea cauzată de transferul prin radiație, prin folosirea unui termocuplu cu ecran.

b) Măsurarea presiunii

Presiunea medie a aerului de supraalimentare s-a determinat cu ajutorul unui manometru cu tub U cu mercur, prevăzut cu un amortizor al oscilațiilor de presiune. Pentru a putea transforma valoarea presiunii în Torr, înălțimea h' în mm a coloanei de mercur, la temperatura $t \text{ }^\circ\text{C}$, trebuie să fie redusă la temperatura de $0 \text{ }^\circ\text{C}$

$$h' = h_0 + \Delta h_{\text{Hg}} \quad (5.6)$$

$$h' = h_0 (1 + \gamma_{\text{Hg}} t) \quad (5.7)$$

unde: h_0 este înălțimea coloanei de mercur la temperatura t , în Torr;

h' - înălțimea coloanei de mercur la temperatura $t \text{ }^\circ\text{C}$, în mm Hg;

Δh_{Hg} - dilatația coloanei de mercur la diferența de temperatură $t - 0 \text{ }^\circ\text{C}$;

γ_{Hg} - coeficientul de dilatare al mercurului.

Rezultă:

$$h_0 = \frac{h'}{1 + \gamma_{\text{Hg}}} \quad (5.8)$$

Presiunea astfel determinată în Torr, se poate exprima în Pa folosind relația obișnuită de conversiune.

c) Măsurarea debitului

Debitul de apă de răcire s-a determinat utilizând un debitmetru cu turbină (Turbo-Quant, de fabricație maghiară sub licență britanică), compus din traductorul de debit și aparatul de măsură cu afisaj analog, în l/min, calibrat pentru apă. La instalare s-a respectat condiția de conductă fără perturbatii pe o distanță de minimum 10 diametre în amonte și minimum 5 diametre în aval de traductor [6,7] pentru o funcționare corectă a turbinei. Precizia de măsurare garantată de producător a fost de $\pm 0,5\%$ din valoarea citită. Căderea de presiune la debitul maxim (13,5 l/min): 35 kPa.

Debitul de aer de supraalimentare s-a măsurat cu ajutorul unei diafragme duble montate pe o conductă cu $D_n = 50$ mm între două rezervoare tampon, conform prescripțiilor standardizate [94]. Rolul celor două rezervoare este de a reduce la minimum pulsațiile de presiune.

d) Măsurarea turatiei

Turatie medie \bar{n} s-a determinat cu ajutorul unui contor [15] care înregistrează numărul de rotații efectuate de arborele cotit, într-un interval de timp măsurat cu un cronometru. Raportul celor două mărimi precizează turatia \bar{n} care s-a folosit în calcule. Turatia momentană n a servit drept mărime de control și s-a măsurat cu un tahometru centrifugal.

e) Măsurarea momentului motor

Momentul motor s-a determinat cu ajutorul unei frâne hidraulice Junkers cuplate direct cu motorul. Prin antrenarea rotorului, ca urmare a frecării ce ia naștere în interiorul frânei carcasa tinde să fie rotită cu un moment rezistent egal cu momentul efectiv dezvoltat de motor. Pentru a împiedica această rotație, pe carcasa frânei s-a fixat un brat cu lungimea $L = 1,36$ m, la capătul căruia s-a aplicat o forță F . Momentul motor rezultă din ecuația de echilibru:

$$M_c = F \cdot L \quad (5.9)$$

Forța de frânare s-a determinat cu ajutorul unei balante pe care se sprijinea bratul frânei.

Puterea absorbită de frână s-a calculat cu relația:

$$P_c = M_c \cdot 2 \pi \bar{n} \quad (5.10)$$

f) Măsurarea consumului de combustibil

Consumul de combustibil s-a determinat prin metoda gravimetrică [1,15]. Măsurarea gravimetrică s-a realizat cu ajutorul unei balante (fig. 5.3). Pe un platou s-a asezat vasul de alimentare 1, pe celălalt — masa de echilibrare 2. Robinetul cu trei căi asigură alimentarea în trei situații distincte A, B, C.

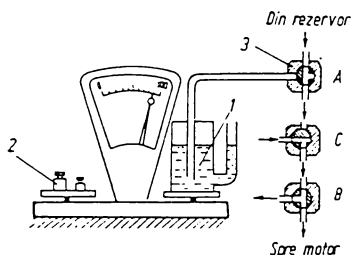


Fig. 5.3 Echipamentul de măsurare a consumului de combustibil

Comutarea robinetului în poziția C obligă motorul să consume combustibil din vasul 1. S-a măsurat timpul în care s-au consumat 100 g de combustibil și s-a calculat consumul orar C_c . Această cantitate asigură un timp de măsurare suficient de lung pentru a face neglijabile erorile de cronometrare.

f) Măsurarea gradului de fum

Pentru determinarea gradului de fum s-a utilizat un fummetru Bosch EFAW [66]. Acesta se bazează pe citirea fotoelectrică a gradului de înnegrire a hârtiei filtrante care a fost traversată de gazele evacuate din motor. Aparatul comportă o pompă cu un volum de lucru de 330 cm³. La unul din capetele cilindrului pompei există un capac mobil în care s-a fixat hârtia de filtru (Whatmann nr. 4). Prin acționarea unui dispozitiv pneumo-mecanic s-a efectuat aspirația gazelor de ardere prin hârtia de filtru care s-a înnegrat prin reținerea funinginii. Stabilirea cifrei de fum s-a făcut pe cale fotoelectrică. Pentru aceasta, după conectarea aparatului de măsură la o sursă de tensiune, s-a așezat hârtia de filtru înnegrită sub elementul fotoelectric; o parte din lumina emisă de o lampă a fost reflectată de filtru pe celulă, și anume într-un raport invers proporțional cu gradul ei de înnegrire. Celula fotoelectrică emite un curent înregistrat de un microampermetru. Scala acestuia este

împărțită în 100 de unități (procente): gradatia zero corespunde hârtiei albe, iar gradatia 100 absorbției totale a luminii. În completare, s-au făcut și determinări cantitative descrise în cap. 5.5.2.

5.3 Etalonarea aparaturii utilizate

Pentru reducerea erorilor de măsurare aparatura utilizată a fost mai întâi etalonată, în măsura în care această operație a fost posibilă.

5.3.1 Termometre

Termometrele cu mercur în capilar de sticlă au fost verificate mai întâi vizual, observându-se dacă au coloana neîntreruptă. În toate cazurile s-a aplicat corectia de coloană emergentă (cf. cap. 5.2.1.a).

Termocuplurile au fost etalonate prin metoda comparării [16,26]. Pentru aceasta s-a utilizat un aparat ultratermostat cu apă (pentru temperaturi până la 100 °C) respectiv cu ulei (pentru temperaturi până la 250 °C). În lichidul din ultratermostat, aflat în mișcare, s-au introdus joncțiunile de măsurare M_1, M_2, \dots, M_n ale termocuplurilor alături de rezervorul unui termometru etalon, t , având gradatii de 0,1 °C. Joncțiunea de referință a fost menținută la temperatura $t_0 = 0$ °C. S-au măsurat t.t.e.m. cu ajutorul unui voltmetru electronic. Schema circuitelor este prezentată în fig. 5.4.

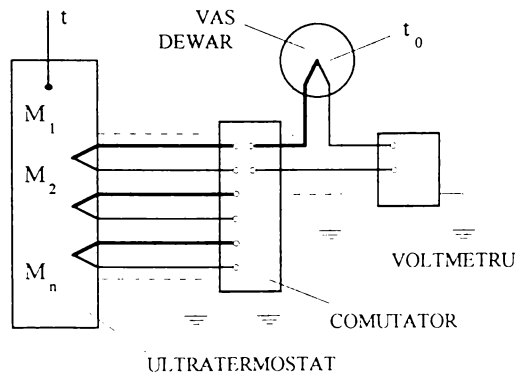


Fig. 5.4 Schema instalației pentru etalonarea termocuplurilor

Relatia temperatură - tensiune a unui termocuplu nu este liniară, deoarece coeficientul Seebeck nu este riguros constant, ci depinde de temperatură. O mai bună precizie a conversiunii obține prin admiterea unei dependente polinomiale de forma:

$$t = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \dots + a_n x^n \quad (5.11)$$

unde: t este temperatura [$^{\circ}\text{C}$];

x - valoarea măsurată a t.t.e.m. generate de termocuplu, [V];

a - coeficientul polinomial;

n - gradul maxim al polinomului.

Pe măsură ce n crește, se îmbunătățește și precizia conversiunii. O valoare tipică este $n = 9$ [26]. Măsurătorile experimentale proprii au arătat că pe domeniul $0 \dots 250$ $^{\circ}\text{C}$, se poate atinge o precizie de $\pm 0,1$ $^{\circ}\text{C}$ dacă se utilizează un polinom de gradul 7 având următorii coeficienți:

$$\begin{aligned} a_0 &= 0,1008609010 & a_4 &= -9247486589 \\ a_1 &= 25727,94369 & a_5 &= 6,97688 \cdot 10^{11} \\ a_2 &= -767345,8295 & a_6 &= -2,66192 \cdot 10^{13} \\ a_3 &= 78025595,81 & a_7 &= 3,94078 \cdot 10^{14} \end{aligned}$$

Acești coeficienți au fost obținuți prin metoda regresiei polinomiale [20,21,31,32] aplicată perechilor de valori temperatură - tensiune obținute prin procedeul descris mai sus, folosind un program de calcul original, prezentat în lucrarea [67] (cf. și Anexa C).

5.3.2 Manometre

Presiunile măsurate cu manometre cu mercur au fost corectate cu relația (5.8) pentru a se ține seama de influența temperaturii.

5.3.3 Debitmetre

Diafragmele simple pentru măsurarea debitelor de aer au fost utilizate fără etalonare prealabilă, în condițiile respectării prescripțiilor standardului [94]. Relația (5.3) de calcul a debitului se mai poate scrie sub forma [94]:

$$\dot{m} = C E \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \rho_1 \Delta p} \quad (5.3a)$$

unde: $C = \alpha / E =$ coeficient de descărcare;

$$E = (1 - \beta^4)^{-1/2} = D^2 / \sqrt{D^4 - d^4}$$

$\beta = d / D =$ raportul diametrelor

Valorile lui d si D sunt măsurate în condiții ambiante și se corectează tinând seama de dilatare. Valoarea coeficientului de descărcare se determină cu relatia lui Stolz [94]:

$$C = 0,5959 + 0,0312 \beta^{2,1} - 0,1840 \beta^8 + 0,0029 \beta^{2,5} [10^6 / \text{Re}_D]^{0,75} + 0,0900 L_1 \beta^4 (1 - \beta^4)^{-1} - 0,0337 L_2 \beta^3 \quad (5.12)$$

unde, pentru diafragmele cu prize de presiune la flansă, $L_1 = L_2 = 0$.

Valoarea coeficientului de detentă, pentru cazul $p_2 / p_1 \geq 0,75$, se determină cu relatia empirică [94]:

$$\varepsilon = 1 - (0,41 + 0,35 \beta^4) \frac{\Delta p}{\kappa p_1} \quad (5.13)$$

unde: p_2, p_1 sunt presiunile măsurate în aval și respectiv în amonte de diafragmă;

κ - indicele adiabatei.

Corectiile pentru rugozitate, diatare și tocirea muchiei diafragmei s-au luat în considerare cu valorile indicate în lucrarea [33].

Calculul erorii limită de măsurare se face conform indicațiilor prevăzute în [96]. Pentru cazul $\beta \leq 0,6$ eroarea limită pentru C este de 0,6 %. Pentru cazul $\beta \leq 0,75$ eroarea limită pentru ε este $\pm 4 \Delta p / p_1$ %. Pierderea de presiune cauzată de micșorarea locală a secțiunii de curgere se determină cu relatia [94]:

$$\Delta \omega \cong \frac{1 - \alpha \beta^2}{1 - \alpha \beta^2} \Delta p \quad (5.14)$$

Stabilirea corelației debit volumic de apă - intensitate a semnalului electric a fost determinată, pentru debitmetrul electromagnetic, cu ajutorul unui vas etalonat. În acest scop s-a măsurat timpul necesar umplerii unui vas cu capacitatea de 0,125 m³, simultan cu citirea indicațiilor aparatului de măsură, pentru diferite valori ale debitului de apă. Operația s-a repetat de trei ori, la debite crescătoare și descrescătoare, obținându-se 36 de perechi de valori debit - curent. Relatia de conversiune determinată prin metoda regresiei polinomiale (cf. cap. 5.3.1) este liniară și are forma:

$$V = 0,033416134 + 4,4057862 x \quad (5.15)$$

unde: V este debitul volumic, în [l/s];

x - indicația aparatului de măsură, în [mA].

Abaterile valorilor calculate cu relatia de mai sus față de cele măsurate nu depășesc $\pm 1\%$. Înainte și după efectuarea fiecărei serii de măsurători s-a verificat indicația „zero” a aparatului de măsură, cu tronsonul de măsurare plin cu apă în repaus.

Debitmetrul cu turbină Turbo-Quant a fost verificat în același mod, confirmându-se abaterea indicațiilor sale față de măsurătorile volumetrice de circa $\pm 0,5\%$.

5.3.4 Echipamentul de frânare

Înainte de efectuarea măsurătorilor pe stand s-a verificat dacă domeniul de funcționare al frânei corespunde cu caracteristica de turatie estimată pentru motorul supraalimentat. De asemenea, s-a determinat sensibilitatea frânei atasând progresiv greutatea la capătul bratului frânei sprijinit pe talerul unei balante în echilibru și stabilind masa minimă care, așezată pe talerul opus al balantei, provoacă o dezechilibrare a acesteia. Rezultatele determinării sunt reprezentate grafic în fig. 5.5.

Sensibilitatea [g]

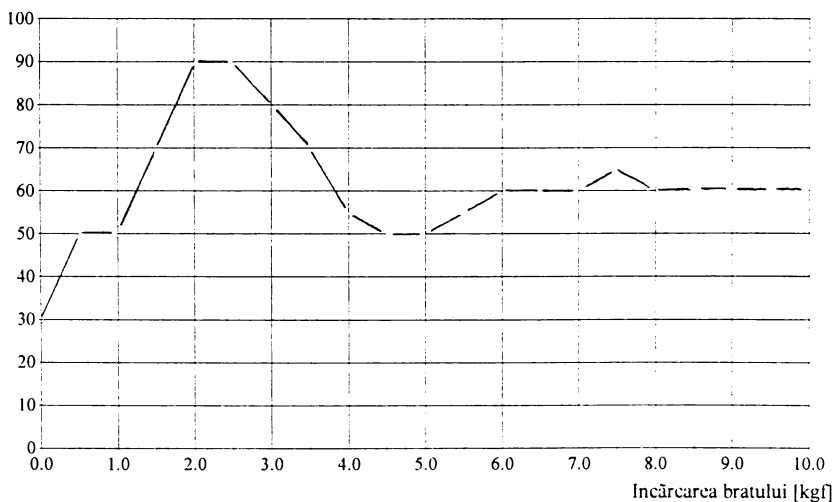


Fig. 5.5 Graficul sensibilității frânei Junkers

Se poate observa că la încărcări ale bratului ce depășesc 5,5 kgf (53,96 N), sensibilitatea frânei rămâne practic constantă și egală cu 60 g (0,060 kg). Aceasta conduce, pe baza relației (5.9), la o eroare de determinare a momentului motor de 0.0816 kgf·m (0,8 N·m)

la valori ale momentului ce depășesc $7,48 \text{ kgf}\cdot\text{m}$ ($73,38 \text{ N}\cdot\text{m}$), ceea ce corespunde unei erori procentuale de $1,09 \%$. Valoarea minimă a sensibilității se înregistrează la $2,72\dots 3,40 \text{ kgf}\cdot\text{m}$ ($26,68\dots 33,35 \text{ N}\cdot\text{m}$), ceea ce corespunde unei erori maxime de $3,6 \%$.

5.4 Ansamblul instalației experimentale

5.4.1. Răcitor de aer

Cele cinci structuri de schimbător de căldură cu plăci aripate de geometrii diferite constituite în cinci matrice de schimbător de căldură apă-aer cu plăci cu aripioare ondulate continue, realizate din aluminiu, se prezintă ca în fig. 5.6. Caracteristicile geometrice ale suprafețelor studiate, prezentate în fig. 5.7, sunt indicate în tab. 5.1 [68] și Anexa D.

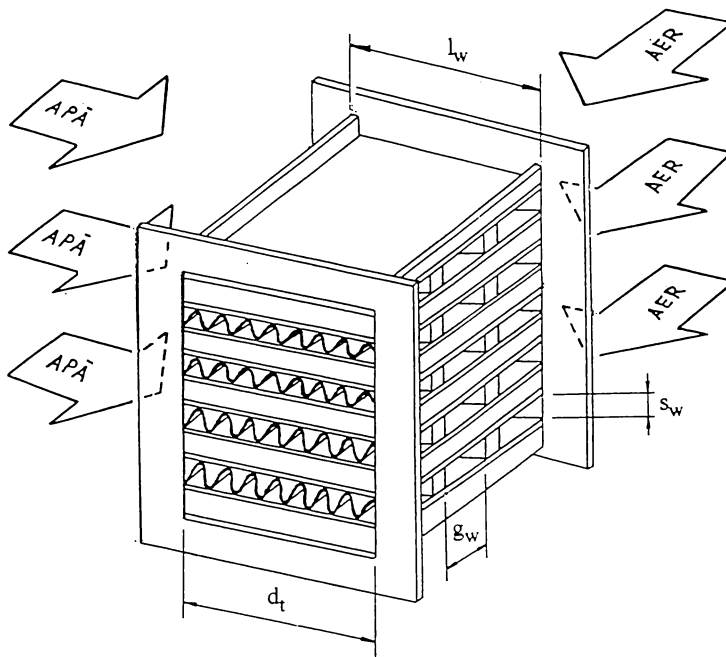


Fig. 5.6 Matrice de schimbător de căldură apă-aer

În matricile de aluminiu (fig. 5.6) aerul circulă de-a lungul suprafețelor aripate, iar al doilea fluid, apa, circulă prin canale de secțiune dreptunghiulară, cu pereti netezi. Aripioarele sunt executate din tablă subțire, ondulată atât în plan transversal cât și în plan longitudinal. Asamblarea tuturor părților componente ale matricilor s-a făcut prin brazare.

Tab.5.1 Caracteristicile geometrice ale suprafețelor de schimb de căldură

Suprafață tip	Distanța dintre plăci	Densitatea aripării	Diametrul hidraulic	Grosimea aripioarei	Lungimea ondulării	Dubla amplitudine a ondulării	Supraf. de schimb de căld. / vol. dintre plăci	Supraf. aripată / supraf. totală
	s	1/t	4r	b				
	[mm]	[1/m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m ² /m ³]	[-]
1	5.6	239.3	2.62	0.2	9.2	1.3	1352.4	0.805
2	4.5	217.8	2.64	0.2	9.2	1.3	1350.9	0.757
3	4.0	233.2	2.41	0.2	9.2	1.3	1467.3	0.748
4	3.1	276.2	1.94	0.2	9.2	1.3	1771.9	0.734
5	4.7	262.5	2.19	0.3	9.2	1.3	1488.7	0.789

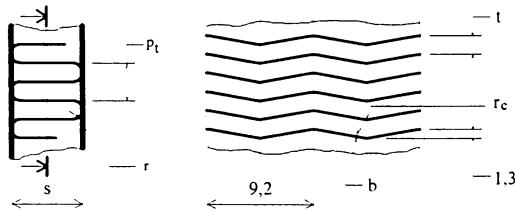


Fig. 5.7 Geometria suprafeței de schimb de căldură

Încercările au fost efectuate pe o instalație a cărei schemă este prezentată în fig. 5.8. Aerul atmosferic era insuflat de ventilatorul 2 în schimbătorul de căldură 3 și apoi evacuat în atmosferă. Reglarea debitului de aer s-a făcut cu clapeta 1, măsurarea temperaturii aerului cu termometrul 5 și termocuplul 6 (tip DEGUSA), iar determinarea debitului de aer cu diafragma 4 la care erau cuplate manometrele 7 și 8. Apa încălzită cu ajutorul rezistorului 9 în rezervorul 10 și antrenată de pompa 11 era trecută prin schimbătorul de căldură 3 în sens ascendent și se reîntorcea în rezervorul 10 prin cădere liberă.

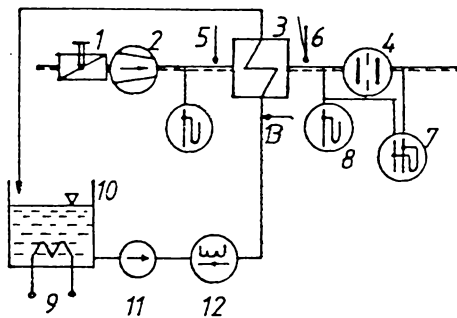


Fig. 5.8 Stand pentru încercarea matricilor

temperaturii aerului cu termometrul 5 și termocuplul 6 (tip DEGUSA), iar determinarea debitului de aer cu diafragma 4 la care erau cuplate manometrele 7 și 8. Apa încălzită cu ajutorul rezistorului 9 în rezervorul 10 și antrenată de pompa 11 era trecută prin schimbătorul de căldură 3 în sens ascendent și se reîntorcea în rezervorul 10 prin cădere liberă. Măsurarea debitului de apă s-a făcut

cu ajutorul debitmetrului electromagnetic 12, iar măsurarea temperaturii apei cu termometrul cu mercur 13.

În timpul măsurătorilor s-a utilizat debitul maxim de apă realizabil în instalație, astfel încât regimul de curgere să fie turbulent ($Re_w > 10\,000$) iar căderea de temperatură de partea apei să fie neglijabilă. Aceasta a condus la realizarea unei temperaturi practic constante a peretelui de partea apei și, implicit, la o mai bună aproximație a ecuației criteriale a schimbului de căldură de partea aerului.

Inercarea răcitorului de aer, construit pe baza suprafeței optime de schimb de căldură, s-a făcut în Laboratorul de schimbătoare de căldură. Pentru aceasta s-a utilizat o parte din instalația existentă căreia i s-au adus modificările necesare*. Schema instalației folosite este prezentată în fig. 5.9 și 5.10.

Circuitul aerului rece (fig. 5.9). Aerul necesar, absorbit din atmosferă de ventilatorul 3, era condus prin dispozitivul de măsurare a debitului cu diafragmă 4 la care erau cuplate manometrele 10 și 11, apoi prin difuzorul 5, la răcitorul de aer 6 și de acolo, prin tronsonul de ieșire 7, înapoi în atmosferă. Presiunea și umiditatea aerului atmosferic s-au determinat cu ajutorul barometrului cu mercur 1 și al psihrometrului 2. Temperatura aerului la intrarea în diafragmă s-a măsurat cu termometrul cu mercur 12, iar la intrarea în răcitor cu termocuplul 9 de tip Cupru-Constantan, de fabricație DEGUSA conectat la

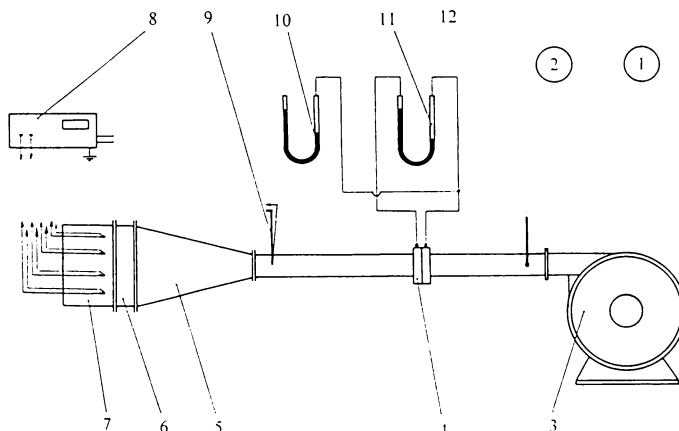


Fig. 5.9 Incercarea răcitorului de aer. Circuitul aerului rece

* Modificările instalației existente au fost aduse, sub îndrumarea autorului, de către stud. ing. Balazsi Ladislau, căruia i se aduc pe această cale mulțumiri.

aparatur de măsură 8. Câmpul de temperaturi al aerului la iesirea din răcitor a fost determinat cu ajutorul unei baterii de 16 termocupluri confecționate din fire cu $\varnothing 0,1$ mm. Pentru aceasta, suprafața frontală a răcitorului a fost împărțită în 16 elemente imaginare identice, iar termocuplurile au fost astfel montate încât să măsoare temperatura în centrul elementelor de suprafață.

Circuitul de aer cald (fig. 5.10). Aerul necesar, absorbit din atmosferă de ventilatorul 13, era condus prin dispozitivul de măsurare a debitului cu diafragmă 17 la care erau cuplate manometrele 18 și 19, apoi prin bateria de încălzire 21, confuzorul 22 și racordul flexibil 23, la răcitorul de aer 6 și de acolo, prin tronsonul de ieșire 7, în atmosferă. Temperatura aerului la intrarea în diafragmă s-a măsurat cu termocuplul 15, iar la intrarea în răcitor cu termocuplul 23. Temperatura aerului la ieșirea din răcitor a fost măsurată cu termocuplul 14. Cele trei termocupluri au fost de tip Cupru-Constantan, de fabricație DEGUSA.

Modificarea debitelor de aer cald și rece s-a realizat prin strângerea aspirației celor două ventilatoare. Modificarea temperaturii la intrarea aerului cald în răcitor s-a realizat prin conectarea și deconectarea rezistențelor electrice din bateria de încălzire. Racordul flexibil 23 (fig. 5.10), necesar pentru preluarea imperfecțiunilor de aliniere a celor două circuite, a fost realizat din cauciuc cu inserție textilă și izolat cu un strat de vată minerală pe toată lungimea sa (0,62 m) pentru a se evita pierderile de căldură pe porțiunea dintre punctul de măsurare a temperaturii și intrarea în răcitor.

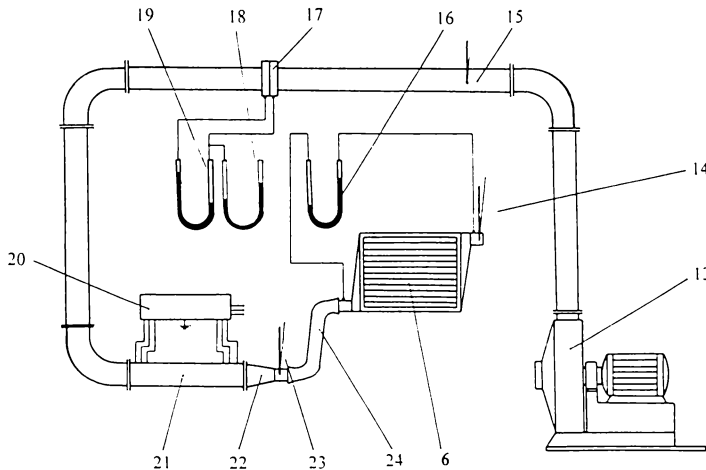


Fig. 5.10 Incercarea răcitorului de aer. Circuitul aerului cald

5.4.2 Motorul

Instalația experimentală a utilizat un motor D 115 adaptat pentru supraalimentare. Motorul s-a montat pe un stand de încercare prevăzut cu aparatura necesară determinării mărimilor din tab 5.2.

Tab. 5.2 Mărimi măsurate la încercarea motorului

Nr. crt.	Mărimia	Unitatea de măsură	Precizia de măsurare
1	Momentul motor	N·m	± 0,5 %
2	Turatia arborelui motor	1/s	± 0,5 %
	Numărul total de rotații ale arborelui motor	–	± 10
3	Consumul de combustibil	kg/s	± 1 %
4	Presiunea atmosferică	kPa	± 0,07 kPa
5	Temperatura ambiantă	K (°C)	± 0,1 K
6	Temperatura aerului la intrarea în diafragma de măsurare a debitului	K (°C)	± 0,1 K
7	Presiunea aerului la intrarea în diafragma de măsurare a debitului	kPa	± 0,05kPa
8	Consumul de aer	kg/s	± 0,1 %
9	Gradul de fum	UB	± 3 %
10	Temperatura gazelor evacuate (iesire din cil. 1)	K (°C)	± 0,1 K
11	Temperatura gazelor evacuate (iesire din colector)	K (°C)	± 0,1 K
12	Temperatura lichidului de răcire la intrarea în radiator	K (°C)	± 0,1 K
13	Temperatura lichidului de răcire la iesirea din radiator	K (°C)	± 0,1 K
14	Temperatura aerului admis la intrarea în răcitor	K (°C)	± 0,1 K
15	Presiunea aerului admis la intrarea în răcitor	kPa	± 0,05 kPa
16	Temperatura aerului admis la iesirea din răcitor	K (°C)	± 0,1 K
17	Temperatura aerului de răcire la intrarea în răcitor	K (°C)	± 0,1 K
18	Temperatura aerului de răcire la iesirea din răcitor	K (°C)	± 0,1 K
19	Debitul lichidului de răcire	kg/s	± 1 %
20	Temperatura uleiului	K (°C)	± 0,1 K
21	Timpul	s	± 0,2 s

Schema de principiu a standului este prezentată în fig. 5.12, iar numerele corespund mărimilor din tab. 5.2. Primele trei mărimi (1...3) servesc la determinarea performanțelor energetice și economice ale motorului. Momentul motor (1) s-a măsurat

direct, iar puterea s-a determinat cu rel (5.10). Următoarele două mărimi, 4 și 5, definesc starea mediului ambiant. Mărimile 6 și 7 definesc starea aerului la intrarea în diafragma de măsurare a debitului. Grupul de mărimi 8 și 9 servește pentru determinarea performanței de umplere și pentru aprecierea perfectiunii arderii, prin coeficientul de dozaj și gradul de fum. Urmează mărimile 10...18 care precizează regimul termic și de presiuni al motorului. Funcționarea motorului se controlează prin perechea de mărimi care urmează, 19 și 20. Ultima mărime, 21, servește la determinarea consumului de combustibil și a turatiei medii.

În vederea stabilirii performanțelor sale în varianta cu supraalimentare și răcire intermediară, motorul D 115 a suferit următoarele modificări mai importante:

- montarea răcitorului de aer în același plan cu radiatorul, de partea dreaptă a acestuia privind dinspre motor, astfel încât să se poată controla debitul de aer de răcire (fig.5.11);

- demontarea filtrului de aer;
- înlocuirea unor instrumente de măsură aflate în dotarea standului (termometre, manometre) cu instrumentele descrise în cap. 5.2.2;
- mărirea avansului la injecție cu cca 4°.

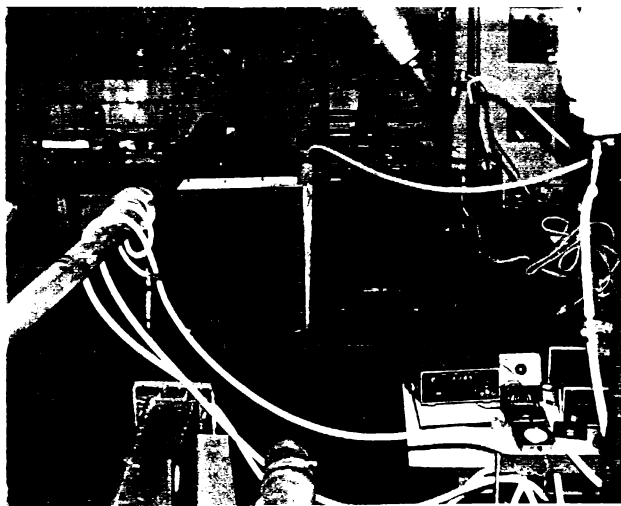


Fig. 5.11 Vedere frontală a standului pentru încercarea motorului în varianta cu supraalimentare și răcire intermediară

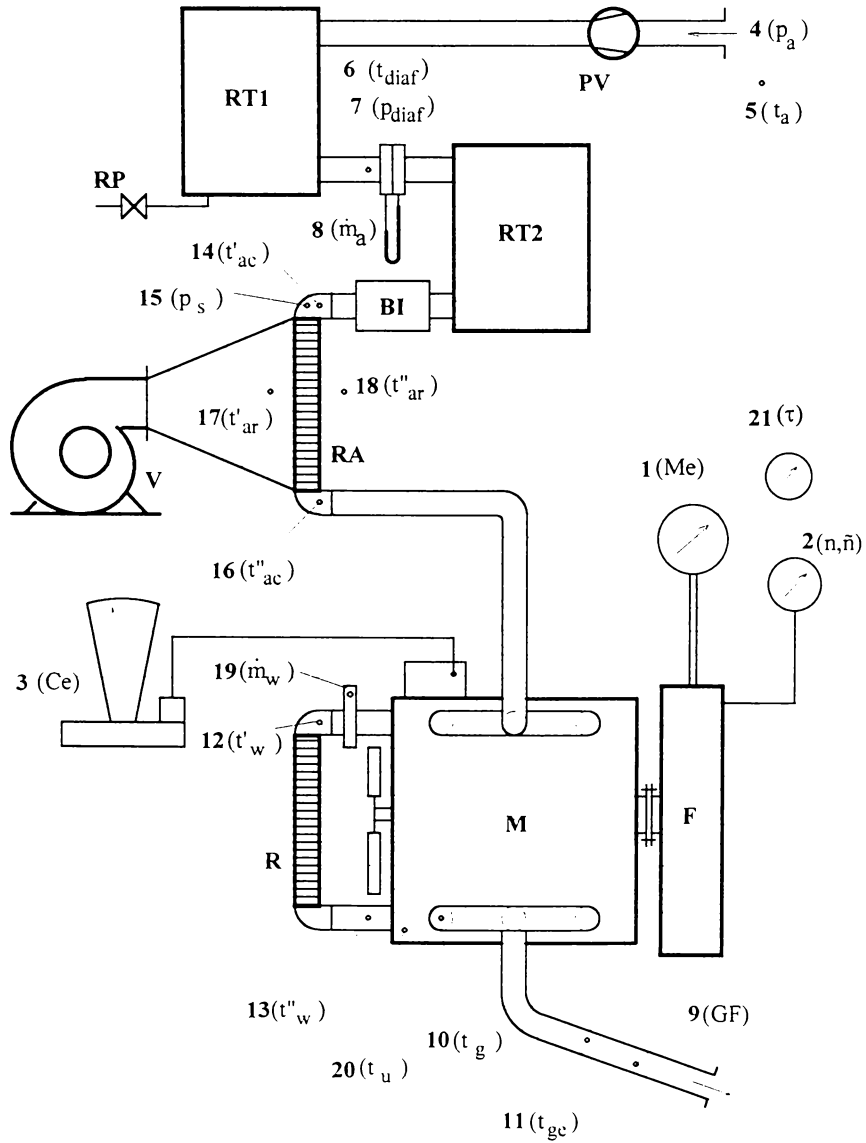


Fig.5.12 Schema instalatiei experimentale în varianta cu supraalimentare și răcire intermediară

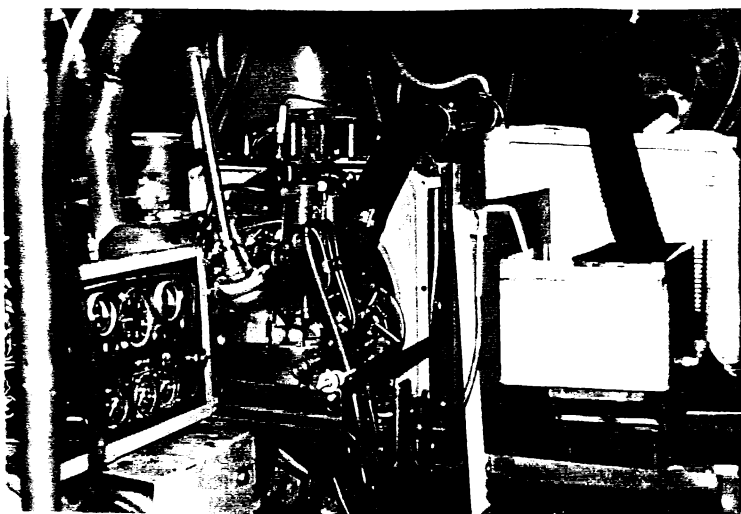


Fig. 5.13 Vedere laterală (dreapta) a standului pentru încercarea motorului în varianta cu supraalimentare și răcire intermediară

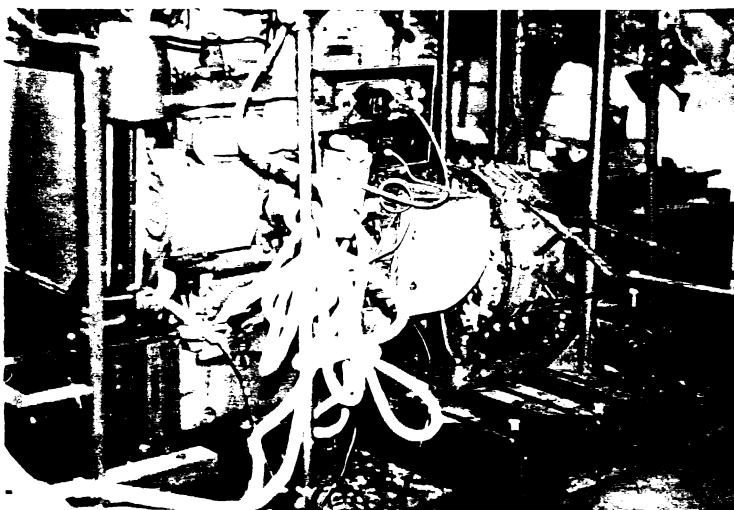


Fig. 5.14 Vedere laterală (stânga) a standului pentru încercarea motorului în varianta cu supraalimentare și răcire intermediară

În situația cu supraalimentare și răcire intermediară aerul a fost absorbit din atmosferă de pompele de vid **PV** (fig. 5.12), trecut prin diafragma de măsurare a debitului montată între rezervoarele tampon **RT1** și **RT2**, prin bateria de încălzire **BI**, prin răcitorul de aer **RA** și introdus în colectorul de admisie al motorului **M**. Reglarea presiunii de supraalimentare s-a făcut prin robinetul de purjare **RP**. Debitul de aer de răcire a fost asigurat de ventilatorul **V**, cu reglarea prin strangularea aspirației. Debitul de apă de răcire s-a măsurat pe conducta de intrare în radiatorul **R**, din motive de accesibilitate. Încărcarea motorului s-a făcut cu ajutorul frânei **F**.

În situația cu supraalimentare fără răcire intermediară, legătura dintre bateria de încălzire **BI** și colectorul de admisie s-a făcut direct, eliminându-se răcitorul **RA** și ventilatorul **V**. Celelalte componente ale instalației s-au păstrat aceleași.

În situația fără supraalimentare (cu aspirație naturală), aerul a fost aspirat direct din atmosferă, eliminându-se pompele **PV**, rezervorul **RT1**, bateria de încălzire **BI** și răcitorul **RA**. Celelalte componente ale instalației s-au păstrat aceleași.

5.5 Metodele de stabilire a performanțelor

Cercetările experimentale au fost dirijate pe două direcții principale: studiul schimbului de căldură în răcitoare aer-aer de construcție compactă din aluminiu și influența răcirii aerului de supraalimentare asupra motorului Diesel supraalimentat.

5.5.1 Răcitorul de aer

În cadrul primei direcții s-a urmărit – pe de o parte – determinarea celei mai eficiente geometrii a suprafeței de schimb de căldură de partea aerului și – pe de altă parte – studiul comportării la scară reală a unui schimbător de căldură aer-aer dotat cu suprafața de schimb de căldură determinată prin studiul anterior.

S-au efectuat, astfel, măsurători pentru determinarea transferului termic și a coeficientului de frecare pentru cinci matrici de schimbător de căldură apă-aer din aluminiu utilizând de partea aerului structuri din producția curentă a I.U.T. Bistrița. Pe baza structurii celei mai eficiente s-a proiectat, construit și încercat răcitorul de aer de supraalimentare care a fost, în cele din urmă, instalat pe motor.

5.5.2 Motorul

Performantele motorului în cele trei situații (aspiratie naturală, supraalimentare, supraalimentare cu răcirea aerului) s-au apreciat prin nivelul temperaturilor precum și cu ajutorul indicilor energetici și de economicitate. Aceștia s-au obținut ridicând caracteristica de regulator [8]. Pentru aceasta, maneta de comandă a debitului de combustibil (maneta de accelerație) s-a blocat succesiv în poziții fixe, astfel încât să se realizeze turatiile de mers în gol de 1200, 1600, 2000 și respectiv 2400 rot/min. Pentru fiecare treaptă de turatie s-a mărit progresiv forța aplicată la frână, de la mersul în gol până la atingerea momentului corespunzător unei scăderi a turatiei cu circa 5%, poziția manetei de comandă rămânând neschimbată pentru fiecare caracteristică.

Supraalimentarea fiind simulată, parametrii aerului la intrarea în răcorul **RA** (fig. 5.12) au fost stabiliți pe baza unui calcul teoretic. Astfel, eficiența supraalimentării exprimată conventional prin coeficientul de supraalimentare π (denumit și raport/grad de supraalimentare) se poate defini prin relația:

$$\pi = \frac{P_{es}}{P_c} = \frac{p_{es}}{p_e} \quad (5.16)$$

unde indicele s de referă la motorul cu supraalimentare.

Introducând notiunea de factor de eficiență al proceselor termogazodinamice și mecanice din motor [9] definit prin relația:

$$f_c = \eta_i \eta_v \eta_m / \lambda \quad (5.17)$$

prin înlocuirea expresiilor presiunilor medii, se obține:

$$\pi = \frac{\eta_{is} \eta_{vs} / \lambda_s}{\eta_i \eta_v / \lambda} \cdot \frac{\eta_{ms}}{\eta_m} \cdot \frac{n_s}{n} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_0} = \frac{f_{cs}}{f_c} \cdot \frac{n_s}{n} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_0} \quad (5.18)$$

unde indicii s și 0 se referă la punctele respective din fig. 4.1.

Pentru supraalimentarea de joasă presiune ($\pi \leq 1,5$) se poate considera că $f_{cs} \cong f_c$ iar $n_s \cong n$, ceea ce conduce la concluzia:

$$\pi = \frac{p_{es}}{p_e} \cong \frac{\rho_s}{\rho_0} = \frac{p_s}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T_s} \quad (5.19)$$

Cunoscând că

$$p_1 = (1 - \psi_1) p_0 \quad (5.20)$$

iar

$$T_s = T_0 \left[1 + \frac{\left(\frac{p_s}{p_1} \right)^{(\kappa_a - 1)/\kappa_a} - 1}{\eta_s} \right] \quad (5.21)$$

si adoptând valorile initiale (cf. cap. 4.3): $\kappa_a = 1,4$ (aer), $\eta_s = 0,75$, $p_0 = 1$ bar, $T_0 = 298$ K (25 °C), $\psi_1 = 0,01$, pentru o valoare estimată $\pi = 1,22$ se obtine: $p_s = 1,38$ bar; $T_s = 337$ K. Aceste valori au fost utilizate ca mărimi de referință în timpul încercărilor si au fost modificate, pe baza rel. (5.19)...(5.21), numai în măsura modificării condițiilor ambiante (p_0 , T_0).

Pentru fiecare treaptă de turatie, la regimurile de putere maximă s-au făcut determinări ale gradului de fum si ale continutului de CO în gazele de ardere. Prelevările necesare s-au efectuat din colectorul de evacuare, în amonte de toba de esapament. La fiecare regim s-au făcut câte 10 determinări succesive, la intervale de circa 1 minut.

În vederea unor determinări cantitative, hârtia de filtru folosită pentru determinarea gradului de fum a fost uscată în etuvă înainte si după efectuarea măsurătorilor. Seturile de câte 10 runde de hârtie de filtru pentru fiecare determinare au fost cântărite la balanta de precizie, după uscare, înainte si după efectuarea determinărilor.

Pentru analiza gazelor de ardere s-a utilizat un aparat Orsat cu posibilitatea determinării continutului de $(CO_2)_f$, $(O_2)_f$ si $(CO)_f$. S-a retinut numai valoarea continutului de $(CO)_f$ pentru regimurile de putere maximă.

Deoarece starea mediului ambiant este variabilă, pentru raportarea indicilor de performanță la un nivel de referință unic s-a procedat la corectarea caracteristicilor utilizând factorul de corectie K definit pe baza relatiei [15]:

$$K = \frac{p_{0st}}{p_0} \left(\frac{T_0}{T_{0st}} \right)^{0,65} \quad (5.22)$$

unde indicele „st” se referă la condițiile standard în conformitate cu STAS 1026-86: $p_{0st} = 100$ kPa (750 mmHg), $T_{0st} = 298$ K (25 °C). Corecțiile la condițiile exterioare standard se fac cu relatiile:

$$P_{es} = K P_e ; \quad M_{cs} = K M_c ; \quad p_{cs} = K p_c ; \quad c_{cs} = K c_c \quad (5.23)$$

Influenta umidității s-a luat în considerare prin corectarea presiunii aerului ambiant [15]. Pentru aceasta, raportul presiunilor p_{0st} / p_0 s-a înlocuit cu expresia

$$\frac{p_{0st} - \varphi p_{vst}}{p_0 - \varphi p_{v0}} \quad (5.23)$$

unde φ este umiditatea relativă a aerului, iar p_v — presiunea de saturatie a vaporilor de apă, la temperatura respectivă.

5.6 Concluzii

Cercetarea experimentală pentru care s-au utilizat instalatiile si metodele descrise

Tab. 5.3 Datele initiale ale motorului D115

Parametrul	Valoarea
Tipul motorului	Diesel cu injectie directă
Putere	40 CP (29.5 kW) la 2400 rot/min
Nmăr de cilindri	3, vertical în linie
Alezaj / cursă	95 / 100 mm
Cilindree totală	2340 cm ³
Raport de comprimare	17
Supape	în cap, câte una de admisie si una de evacuare pe cilindru
d.s.a	3° î.p.m.i.
i.s.a.	23° d.p.m.e.
d.s.e.	48°30' î.p.m.e.
i.s.e.	6° d.p.m.i.
Joc la rece între culbutori si supape	0,25 mm
Ordinea de injectie	1–2–3
Sistem de ungere	presiune de ulei la 100°C: 0,7 kgf/cm ² - la regim minim; 3...4 kgf/cm ² - la regim maxim
Sistem de răcire	cu apă cu circulatie forțată; ventilatorul montat pe axul pompei de apă
Sistem de alimentare	pompă rotativă tip CAV-DPA 3233270C cu regulator mecanic si dispozitiv de reglare automată a avansului la injectie
Avans la injectie	avans fix: 13°±1° î.p.m.i.; avans automat: 15° î.p.m.i.; avans total: 28° î.p.m.i.
Injector	tip EPP Z 10F 1
Pompă de alimentare	cu dublă membrană si amorsor

mai sus a avut un dublu scop. Pe de o parte s-a urmărit determinarea unei structuri geometrice optime care să servească la construirea unui răcitor de aer compact de eficiență maximă pentru posibilități de producție date. Pe de altă parte s-a urmărit stabilirea influenței răcirii aerului de supraalimentare – utilizând acel răcitor de aer – asupra funcționării unui motor D 115 adaptat pentru supraalimentare independentă (simulată). În această situație s-a urmărit evoluția solicitărilor termice și mecanice ale motorului, precum și cea a parametrilor energetici și economici. Datele inițiale ale motorului sunt prezentate în tab. 5.3.

S-a adoptat soluția unui motor Diesel cu trei cilindri datorită simplității acestuia, consumului redus de combustibil și deservirii sale comode. În plus, adoptarea supraalimentării de joasă presiune prezintă avantajul unui număr mic de modificări care trebuie aduse motorului.

Soluțiile adoptate pentru instalațiile experimentale au fost impuse de necesitatea încadrării într-un buget limitat, cu folosirea la maximum a dotării existente.

Aparatura de măsură utilizată a fost verificată și etalonată în prealabil conform indicațiilor din literatura de specialitate, în vederea reducerii erorilor de măsurare.

Măsurătorile s-au efectuat în regimuri stabilizate. Pentru aceasta, la 15 min după fiecare schimbare a condițiilor de funcționare ale aparatului încercat, s-au efectuat măsurători din 5 în 5 minute, până la atingerea regimului stabilizat. În aceste condiții, s-au efectuat, pentru fiecare regim, minimum 5 măsurători la interval de câte 5 minute, reținându-se ca valoare finală media aritmetică a acestora [17, 23, 24].

6. Rezultatele cercetării experimentale

Cercetările experimentale au fost dirijate, după cum s-a mai precizat în capitolele precedente, pe două direcții principale: studiul schimbului de căldură în răcitoare aer-aer de construcție compactă din aluminiu și influența răcirii aerului de supraalimentare asupra motorului Diesel supraalimentat.

În cadrul primei direcții s-a urmărit – pe de o parte – determinarea celei mai eficiente geometrii a suprafeței de schimb de căldură de partea aerului și – pe de altă parte – studiul comportării la scară reală a unui schimbător de căldură aer-aer dotat cu suprafața de schimb de căldură determinată prin studiul anterior.

6.1 Răcitorul de aer

6.1.1 Suprafața de schimb de căldură

Folosind instalația experimentală descrisă în cap. 5.4.1 și prezentată în fig. 5.8, s-au efectuat măsurători asupra unui grup de 5 matrici de schimbător de căldură apă-aer construite din aluminiu, ca în fig. 5.6, având caracteristicile geometrice prezentate în fig. 5.7 și indicate în tab. 5.1.

În timpul încercărilor s-au măsurat: debitele de aer m_a [kg/s] și de apă m_w [kg/s], temperaturile aerului la intrare t_a' [°C] și la ieșire din schimbător t_a'' [°C], temperatura apei la intrare t_w' [°C], precum și căderile de presiune Δp_a [Pa] la trecerea aerului prin schimbătorul de căldură. Utilizând metoda funcției ϕ s-au determinat valorile coeficientului de transfer termic prin suprafață α_a de partea suprafeței aripate (aerului) pentru diferite valori ale criteriului de similitudine Re_a de partea aerului [68].

Pentru calculul coeficientului k_a s-a utilizat relația simplificată (cf. cap. 3.1):

$$\frac{1}{k_a} = \frac{1}{\eta_a \alpha_a} + \frac{1}{\frac{A_w}{A_a} \alpha_w} \quad (6.1)$$

unde: η_a [-] reprezintă randamentul suprafeței aripate de partea aerului;
 A_a, A_w [m²] – ariile suprafețelor de schimb de căldură de partea aerului și respectiv apei.

În relația (6.1), neglijarea rezistenței termice a peretelui este justificată de valoarea relativ mică a acesteia în comparație cu valorile termenilor păstrați în ecuație [19].

Coefficientul de transfer termic prin suprafață de partea apei α_w , ce apare în rel. (6.1), s-a determinat cu ajutorul ecuației criteriale (3.12) valabile pentru regim de curgere turbulent în interiorul tuburilor. Deoarece în timpul încercărilor s-au obținut de partea apei valori ale numărului Re cuprinse între 17000 și 28000, temperatura peretelui intermediar a fost practic constantă în lungul schimbătorului și aproximativ egală cu t_w' (căderea de temperatură calculată de partea apei a fost mai mică decât $0,1^\circ C$). Valoarea efectivă a temperaturii peretelui nu a putut fi însă determinată prin măsurare directă datorită dificultăților tehnice implicate. În această situație, pe baza măsurătorilor efectuate, s-au calculat în ordine:

– fluxul de căldură schimbat, cu relația:

$$\dot{Q} = \dot{m}_a c_a (t_a'' - t_a') \quad (6.2)$$

– funcția ϕ pe baza relației de definiție

$$\phi = (t_1' - t_1'') / (t_1' - t_2') \quad (6.3)$$

– coeficientul α_w cu ajutorul unei relații de forma

$$Nu_w = Nu_w(Re_w, Pr_w) \quad (6.4)$$

– coeficientul k_1 pe baza relației

$$\phi = \phi(\mu, \kappa) \quad (6.5)$$

exprimate analitic [74], unde

$$\kappa = k_1 A_1 / \dot{C}_1 \quad (6.6)$$

În cazul concret al matricilor studiate, deoarece $\dot{C}_w / \dot{C}_a > 100$, $k_1 = k_a$; $k_2 = k_w$;
 $\dot{C}_1 = \dot{C}_a$; $\dot{C}_2 = \dot{C}_w$; $\alpha_1 = \alpha_a$; $\alpha_2 = \alpha_w$.

– coeficientul α_a cu ajutorul relației (6.1);

– criteriile de similitudine Re_a și j_a .

Rezultatele calculului termic efectuat pe baza programului SCARAP.BAS (cf. Anexa E) sunt prezentate sintetic în fig. 6.1, sub forma dependentei dintre criteriul Colburn j_a și criteriul Re_a .

Utilizând metoda celor mai mici pătrate [20, 21, 31, 32] s-au putut stabili ecuații ce aproximează bine (cu o abatere $< 2\%$) comportarea termică a celor 5 tipuri de suprafețe extinse prin aripare.

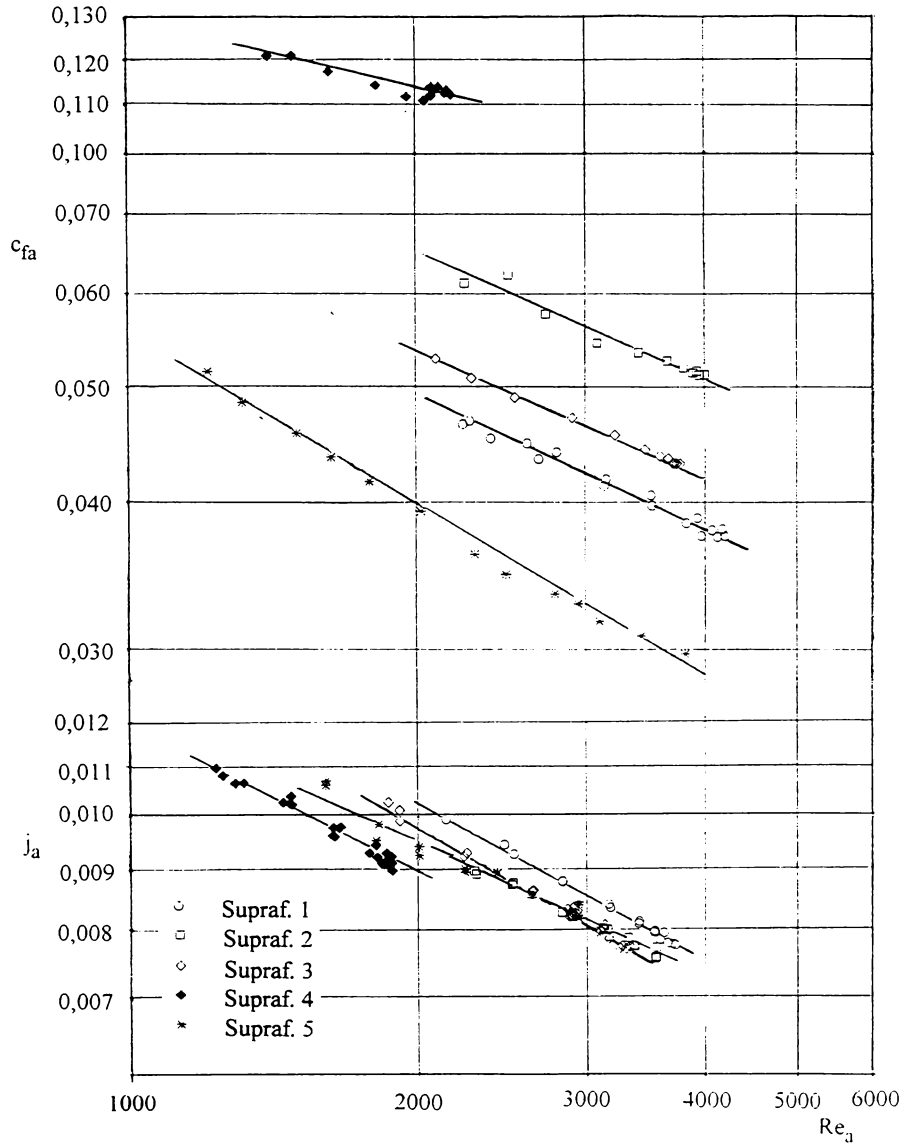


Fig. 6.1 Dependenta $j_a = j_a (Re_a)$ si $c_{fa} = c_{fa} (Re_a)$ pentru suprafetele studiate

Aceste ecuatii sunt:

– pentru suprafata 1:

$$j_a = 0,3278 \operatorname{Re}_a^{-0,4549} \quad (6.7)$$

– pentru suprafata 2:

$$j_a = 0,1686 \operatorname{Re}_a^{-0,3788} \quad (6.8)$$

– pentru suprafata 3:

$$j_a = 0,3494 \operatorname{Re}_a^{-0,4698} \quad (6.9)$$

– pentru suprafata 4:

$$j_a = 0,2296 \operatorname{Re}_a^{-0,4275} \quad (6.10)$$

– pentru suprafata 5:

$$j_a = 0,1436 \operatorname{Re}_a^{-0,3570} \quad (6.11)$$

În fig. 6.1 s-a reprezentat și variația coeficientului de frecare c_{fa} de partea aerului, în funcție de Re_a . Determinarea coeficientului c_{fa} s-a făcut cu ajutorul programului de calcul CF.BAS (cf. Anexa F) pe baza măsurătorilor de cădere de presiune Δp_a în absența schimbului de căldură, utilizând ecuația lui Fanning [22] în care s-a ținut seama de pierderile de presiune la intrarea și respectiv ieșirea din schimbător prin coeficienții K_k și K_c [19]:

$$c_{fa} = \frac{\Delta p_a^2 \cdot r_{ha} \cdot A_{la}^2}{l_a \cdot v_a \cdot m_a^2} - \frac{r_{ha}}{l_a} (K_k + K_c) \quad (6.12)$$

unde: A_{la} [m²] este aria secțiunii libere de curgere de partea aerului;

l_a [m] – lungimea canalului de curgere de partea aerului.

Utilizând, de asemenea, metoda celor mai mici pătrate (cf. Anexa G), s-au putut stabili cu o bună precizie ecuațiile care aproximează dependența $c_{fa} = c_{fa}(\operatorname{Re}_a)$ astfel:

– pentru suprafata 1:

$$c_{fa} = 0,7463 \operatorname{Re}_a^{-0,3586} \quad (6.13)$$

– pentru suprafata 2:

$$c_{fa} = 0,8810 \operatorname{Re}_a^{-0,3436} \quad (6.14)$$

– pentru suprafata 3:

$$c_{fa} = 0,7338 \operatorname{Re}_a^{-0,3445} \quad (6.15)$$

– pentru suprafața 4

$$c_{fa} = 0,4253 \operatorname{Re}_a^{-0,1738} \quad (6.16)$$

– pentru suprafața 5:

$$c_{fa} = 0,8428 \operatorname{Re}_a^{-0,4149} \quad (6.17)$$

Pe baza indicațiilor din literatura de specialitate [19] a fost efectuată o comparație din punct de vedere energetic a celor cinci tipuri de suprafețe aripate. În acest scop au fost reprezentate grafic (fig. 6.2) performanțele termice apreciate prin produsul ($St_a \cdot Pr_a^{2/3} \cdot c_{fa}^{-1/3}$), funcție de puterea consumată prin frecare pe unitatea de suprafață, apreciată prin produsul ($c_{fa} \cdot Re_a \cdot l_{0a}^3 / l_a^3$), pentru fiecare tip de suprafață aripată. Drept mărime de referință l_{0a} a fost utilizat diametrul hidraulic al suprafeței de tip 5, iar pentru l_a au fost luate în considerare valorile curente ale diametrelor hidraulice.

$$St_a \cdot Pr_a^{2/3} \cdot c_{fa}^{-1/3} \cdot 10^{-2}$$

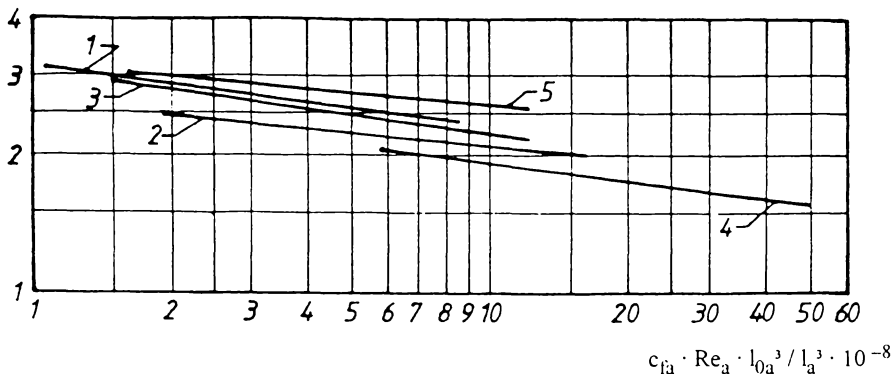


Fig. 6.2 Comparatia energetică a suprafețelor de schimb de căldură studiate
(1 - Supraf. 1; 2 - Supraf. 2; 3 - Supraf. 3; 4 - Supraf. 4; 5 - Supraf. 5)

Studiul comparativ al suprafețelor extinse prin aripare cuprinse în cele cinci matrici arată că:

- deosebiri geometrice relativ mici între suprafețe pot conduce la diferențe mari în comportarea termică a acestora (cf. suprafețele 1 și 2);
- cele mai bune performanțe termice s-au obținut în cazul suprafeței de tip 1;
- coeficienții de frecare cei mai ridicați s-au obținut în cazul suprafeței de tip 4;

d) comparatia energetică, prezentată în fig. 6.2, la care au fost supuse cele 5 tipuri de suprafețe, pune în evidență superioritatea suprafeței de tip 5 care prezintă, pentru $Re_a = 1500...3000$, cea mai mare valoare a eficienței termice pentru o valoare dată a puterii consumate prin frecare pe unitatea de suprafață.

Deoarece suprafețele diferă între ele prin diametrul hidraulic (conditionat de mărimile s și t), se poate concluziona că valoarea de 2,19 mm a acestui diametru pentru suprafața de tip 5 corespunde, în cazul de față, unui optimum energetic. Existenta unui astfel de optimum se datorește faptului că, desi în general coeficientul de transfer termic α crește cu scăderea diametrului hidraulic, pentru valori foarte mici ale acestuia, comparabile cu grosimea stratului limită, schimbul de căldură se înrăutățește iar pierderile prin frecare iau valori foarte mari (cazul suprafeței de tip 4).

În cazul utilizării procedeeului descris mai sus, valorile obținute pentru coeficientul α_a și, respectiv, pentru coeficientul j_a depind în mod direct de ecuația criterială (6.4) adoptată pentru calculul coeficientului α_w . Pentru a studia impactul utilizării de diverse ecuații criteriale de tip (6.4) pentru determinarea lui α_w , calculul termic al matricii de tip 5 a fost reluat în mai multe variante, utilizând următoarele relații mai cunoscute:

– relația Dittus-Boelter (3.13)

– relația lui Colburn (3.14)

– relația lui Petuhov (3.15)

– relația (3.16).

În cazul considerat relațiile de mai sus au condus la obținerea următoarelor ecuații criteriale pentru suprafața aripată (de partea aerului) în domeniul $Re_a = 1600...3000$:

– utilizând relația (3.12):

$$j_a = 0,1436 Re_a^{-0,3570} \quad (6.18)$$

– utilizând relația (3.13):

$$j_a = 0,1312 Re_a^{-0,3422} \quad (6.19)$$

– utilizând relația (3.14):

$$j_a = 0,1401 Re_a^{-0,3529} \quad (6.20)$$

– utilizând relația (3.15):

$$j_a = 0,1388 Re_a^{-0,3515} \quad (6.21)$$

– utilizând relația (3.16):

$$j_a = 0,1324 Re_a^{-0,3438} \quad (6.22)$$

Reprezentarea grafică a dependenței $j_a = j_a (Re_a)$ în cele cinci situații este arătată în fig. 6.0. Studiul comparativ [69] al rezultatelor obținute utilizând succesiv relațiile (3.12)...(3.16) conduce la următoarele concluzii:

– graficele sunt practic paralele, ocupând o bandă cu lățimea maximă $\Delta j_a = 0,0002$ ceea ce înseamnă o abatere între cca 2,4 % (la $Re_a = 3000$) și cca 2 % (la $Re_a = 1600$) față de valoarea obținută cu rel (3.12);

– relațiile (3.14) și (3.15) conduc la rezultate foarte apropiate, relația (3.14)

prezentând avantajul simplității;

– valorile cele mai ridicate pentru criteriul j_a se obțin în cazul utilizării relației (3.13);

– valorile cele mai scăzute pentru criteriul j_a – și implicit pentru α_a – se obțin în cazul utilizării relației (3.12), motiv pentru care au fost luate în considerare aceste rezultate, ca fiind acoperitoare.

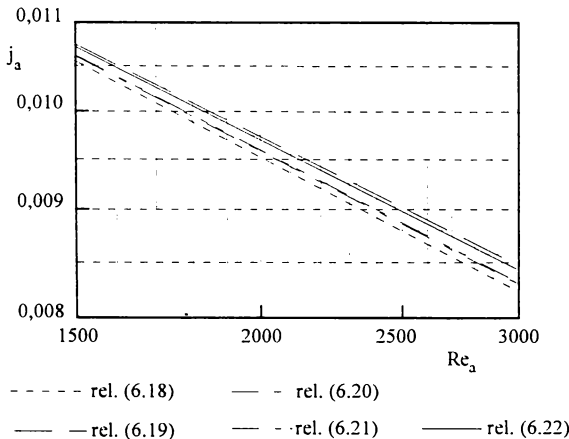


Fig. 6.3 Influența diferitelor relații de calcul ale α_w asupra valorii j_a

6.1.2 Schimbătorul de căldură

Rezultatele cercetării experimentale prezentate în cap. 6.1.1 au pus în evidență superioritatea suprafeței de tip 5. Ca atare, schimbătorul de căldură aer-aer destinat răcirii aerului de supraalimentare pentru motorul D 115 a fost construit utilizând geometria suprafeței sus-mentionate de partea ambelor fluide (fig. 6.4). Deoarece schimbătorul a fost produs în condiții de prototip, zona activă a fost construită din patru elemente identice îmbinate prin brazare.

Cea mai simplă soluție de amplasare a răcitorului de aer fiind – în cazul răcirii cu aer – în fața radiatorului, suprafața frontală a răcitorului de aer este identică cu cea a radiatorului, din necesitatea de a păstra o distribuție cât mai uniformă a debitului de aer de răcire pe suprafață [54, 57, 70]; excepție face cazul în care se utilizează și un răcitor

suplimentar de ulei când, suprafața frontală a acestuia, adăugată la cea a răcitorului de aer, egalează pe cea a radiatorului (cf. cap. 2). Au rezultat, astfel, pentru răcitorul de aer studiat, dimensiunile de gabarit ale corpului (zona activă) indicate în fig. 6.4.

Inercarea răcitorului de aer s-a făcut cu scopul stabilirii performanțelor sale la scară reală și al determinării ecuațiilor criteriale pentru j și c_f^* . Astfel, măsurătorile de cădere de presiune efectuate în absența schimbului de căldură au condus (cf. Anexa H) la concluzia că ecuația criterială (6.17) este valabilă cu o abatere sub 2% pentru traseul aerului rece. Pentru traseul aerului cald (cf. Anexa H), o aproximație mai bună decât relația (6.17) o oferă ecuația:

$$c_f = 1.6154 Re^{-0.488} \quad (6.23)$$

Diferențele se datoresc neuniformităților constructive comentate la începutul capitolului.

Pentru determinarea ecuației criteriale caracteristice a răcitorului $j = j(Re)$, valabile pentru ambele trasee de aer, s-au ales, din totalul de 46 de regimuri de funcționare măsurate, un număr de 7 regimuri pentru care valorile criteriului Re pentru aerul cald și cel rece au fost aproximativ egale (regimurile 12, 17, 23, 31, 36, 39 și 43). În această situație coeficienții de convecție termică de partea celor două fluide devin aproape egali ($\alpha_{\text{cald}} \cong \alpha_{\text{rece}} = \alpha$), iar din ecuația criterială de forma

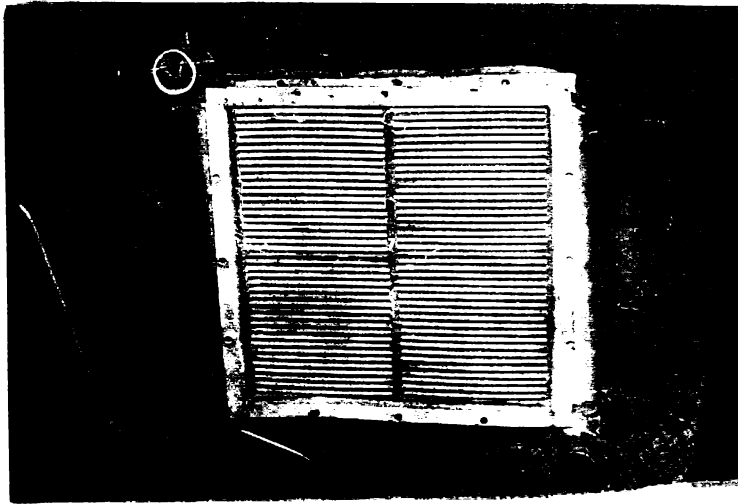


Fig. 6.4 Răcitorul de aer de supraalimentare

* În cele ce urmează, pentru simplificare, nu s-a mai utilizat în notații indicele „a” pentru „aer”, fiind considerat implicit.

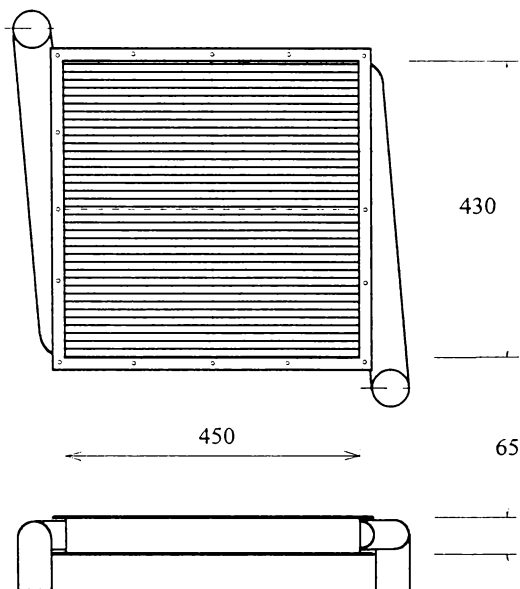


Fig. 6.5 Dimensiunile de gabarit ale răcitorului

$$St \cdot Pr^{2/3} = A \cdot Re^B \quad (6.24)$$

în care valorile constantelor A și B urmează a fi determinate, rezultă

$$\alpha = \frac{\lambda_a Pr^{1/3}}{4 r_h} A \cdot Re^{(B+1)} \quad (6.25)$$

relatie valabilă pentru ambele fluide (cald și rece).

Pentru un schimbător de căldură cu suprafețe extinse prin aripare de partea ambelor fluide se poate scrie relația simplificată

$$\frac{1}{k_1} = \frac{1}{\eta_{01} \alpha_1} + \frac{1}{\frac{A_2}{A_1} \eta_{02} \alpha_2} \quad (6.26)$$

unde indicii 1 și 2 se referă la cele două fluide, cu condiția $\dot{C}_1 < \dot{C}_2$.

Din rel. (6.25) rezultă:

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{\lambda_{a2}}{\lambda_{a1}} \left(\frac{Pr_2}{Pr_1} \right)^{1/3} \left(\frac{Re_2}{Re_1} \right)^{(B+1)} \quad (6.27)$$

estimându-se $B = -0,4$ (eroarea e neglijabilă când $Re_1 \cong Re_2$), iar din (6.26) rezultă:

$$\alpha_1 = k_1 \left(\frac{1}{\eta_{01}} + \frac{1}{\frac{A_2}{A_1} \eta_{02} \frac{\alpha_2}{\alpha_1}} \right) \quad (6.28)$$

Înlocuind (6.27) în (6.28) rezultă:

$$\alpha_1 = k_1 \left[\frac{1}{\eta_{01}} + \frac{A_1}{A_2} \eta_{02} \frac{\lambda_{a2}}{\lambda_{a1}} \left(\frac{Pr_2}{Pr_1} \right)^{1/3} \left(\frac{Re_2}{Re_1} \right)^{0,6} \right] \quad (6.29)$$

Scriind relația (6.24) sub formă:

$$\frac{\alpha_1^4 r_h}{\lambda_a Pr_1^{1/3}} = A \cdot Re_1^{(B+1)} \quad (6.30)$$

și înlocuind α_1 din relația (6.29), se obține o ecuație cu necunoscutele A și B, celelalte mărimi fiind cunoscute din calculul termic. Ecuații de tip (6.30) se pot scrie pentru fiecare regim de funcționare; pentru reducerea erorilor, însă – ținând seama și de faptul că măsurătorile s-au efectuat pe un domeniu relativ restrâns de variație al criteriului Re – s-au considerat doar regimurile pentru care valorile Re pentru aerul cald și cel rece au fost aproximativ egale și ecuațiile lor au servit la determinarea valorilor A și B cu metoda celor mai mici pătrate (cf Anexa G, programul MCMMP.BAS). Astfel ecuația ecuația criterială caracteristică determinată pentru răcitorul de aer a fost:

$$j = 0,0169 Re^{-0,141} \quad (6.31)$$

În tab. J1 din Anexa J sunt prezentate, pentru fiecare regim de funcționare, valorile mărimilor măsurate și ale celor calculate pe baza măsurătorilor („Tipul mărimii - măsur.“), valorile obținute din calculul de verificare folosind relațiile (6.17), (6.23) și (6.31) („Tipul mărimii - calc.“), precum și abaterea procentuale respective („Tipul mărimii - ε [%]“). Mărimia „dp [%]“ reprezintă căderea de presiune relativă exprimată în procente din presiunea absolută de la intrare „p' [bar]“, iar mărimia „ε [%]“ reprezintă, cu semnul respectiv, abaterea rezultată prin raportarea la valorile „măsur.“.

Calcularele au fost efectuate cu ajutorul programului SCAR23.BAS prezentat în Anexa J.

a) Caracteristicile aerodinamice

Comportarea aerodinamică a răcitorului de aer este apreciată prin variația căderilor de presiune Δp și a coeficientului ζ definit prin relația:

$$\zeta = \frac{2 \Delta p}{\rho w^2} = \frac{2 \Delta p}{\rho \frac{\dot{m}^2}{\rho^2}} = \frac{2 \rho \Delta p}{\dot{m}^2} \quad (6.32)$$

Valorile Δp și ζ , determinate în absența schimbului de căldură, sunt indicate pentru ambele fluide, în Anexa H și reprezentate grafic în fig. 6.6...6.9.

b) Caracteristicile termice

Comportarea termică a răcitorului de aer este apreciată prin variația coeficientului de transfer termic total k și a coeficientului de convecție termică α în funcție de viteza de curgere w a fiecărui fluid. Această variație este reprezentată grafic în fig. 6.10...6.13. Valorile k , α și w au fost calculate cu ajutorul programului SCAR35.BAS și sunt cuprinse în tab. K1 (Anexa K). Deoarece coeficientul k depinde de condițiile de curgere existente de partea ambelor fluide, acesta a fost reprezentat, în diagramele din fig. 6.10 și 6.11, pentru câte un fluid, având ca parametru viteza celuilalt. Valorile vitezei ca parametru au fost vitezele medii maxime realizate în timpul încercărilor.

c) Indicii de evaluare termodinamică

Indicii de evaluare termodinamică luați în considerare pentru răcitorul încercat sunt ϕ , $\bar{\Delta\rho}$, $\bar{\Delta\rho}_{\Delta T1}$ și η_p . Valorile ϕ au fost calculate cu ajutorul programului SCAR23.BAS (cf. Anexa J); celelalte valori au fost calculate cu ajutorul programului SCAR34.BAS și sunt prezentate în tab. L1 (Anexa L). Datorită capacității limitate de reprezentare a caracterelor în MS-DOS QBasic, indicii au fost desemnați prin cifre de la 1 la 4. Astfel, indicele 1 reprezintă $\bar{\Delta\rho}$, indicele 2 reprezintă $\bar{\Delta\rho}_{\Delta T1}$, indicele 3 reprezintă η_p , iar indicele 4 reprezintă raportul de temperaturi θ .

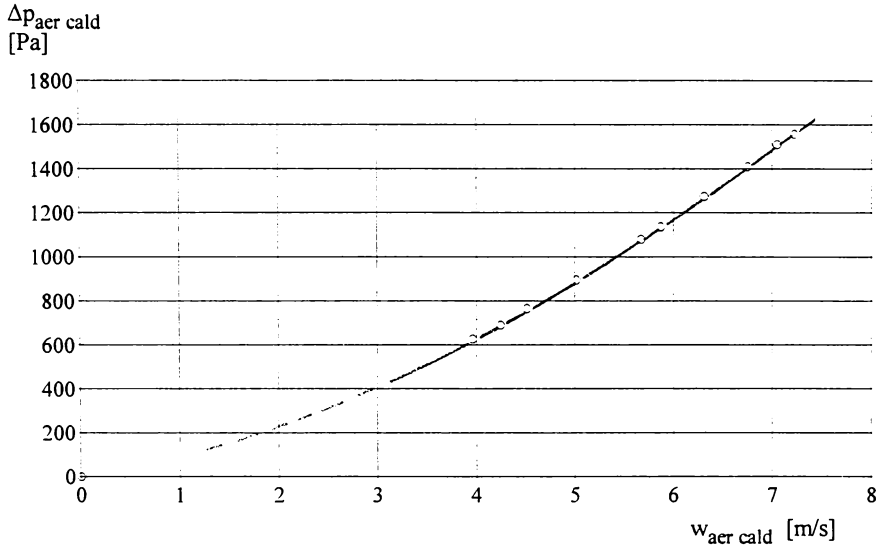


Fig. 6.6 Căderea de presiune de partea aerului cald

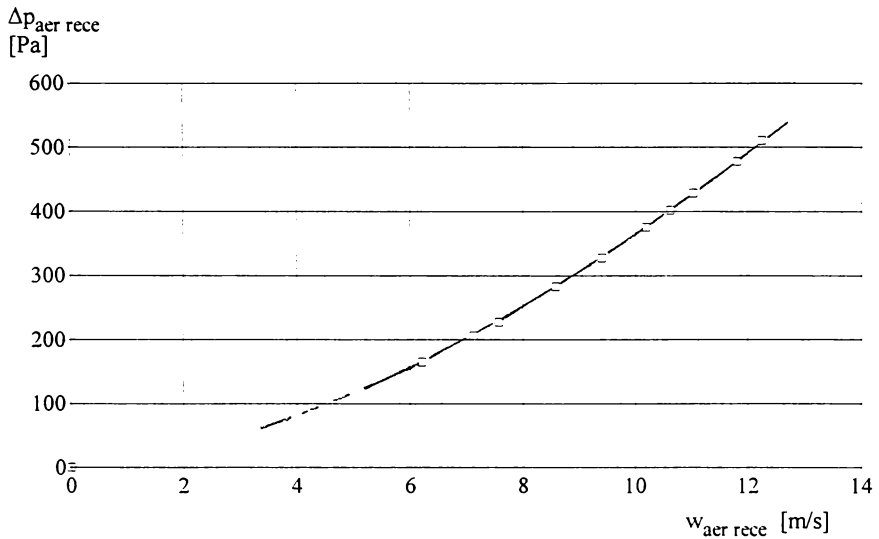


Fig. 6.7 Căderea de presiune de partea aerului rece

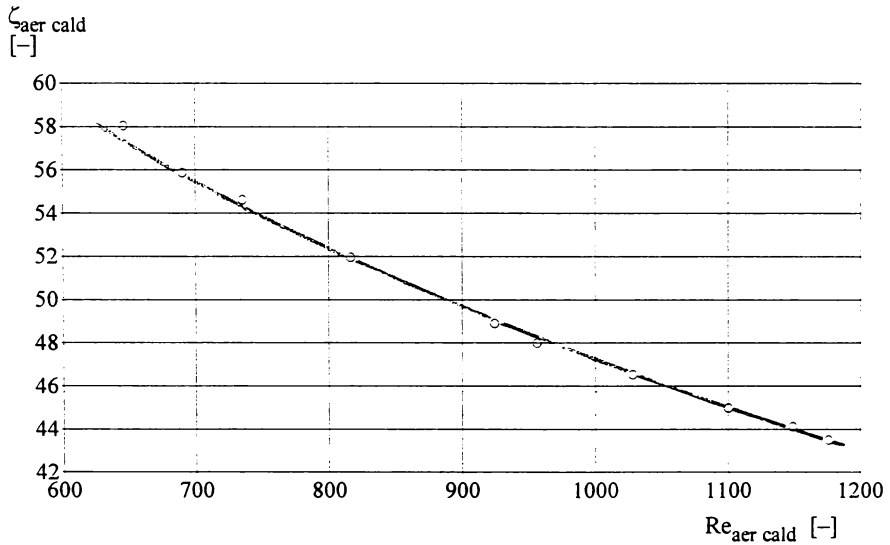


Fig. 6.8 Coeficientul căderii de presiune de partea aerului cald

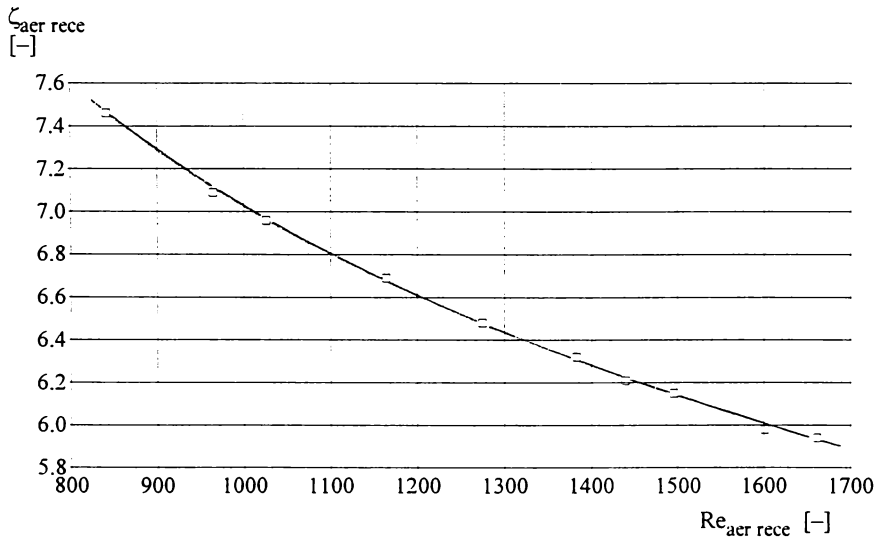
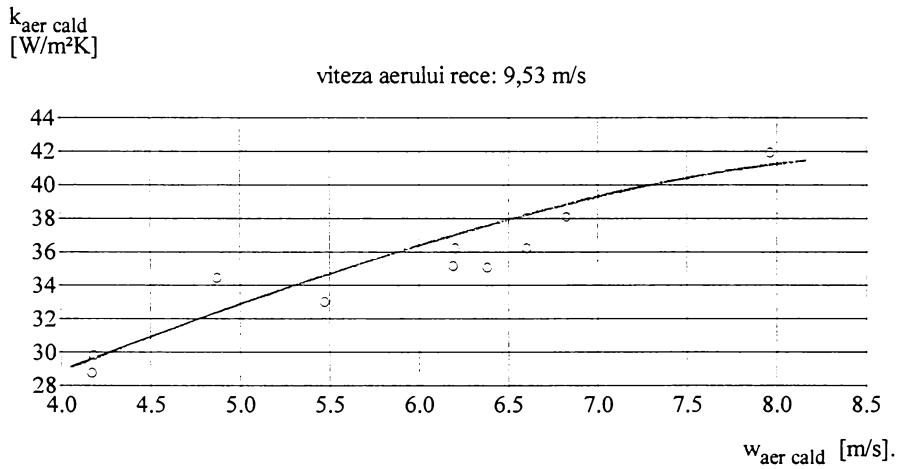
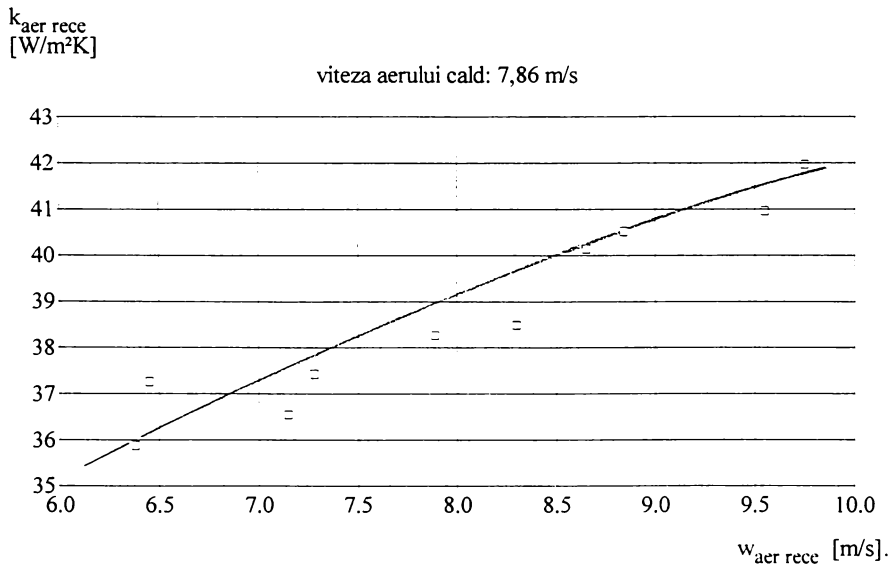
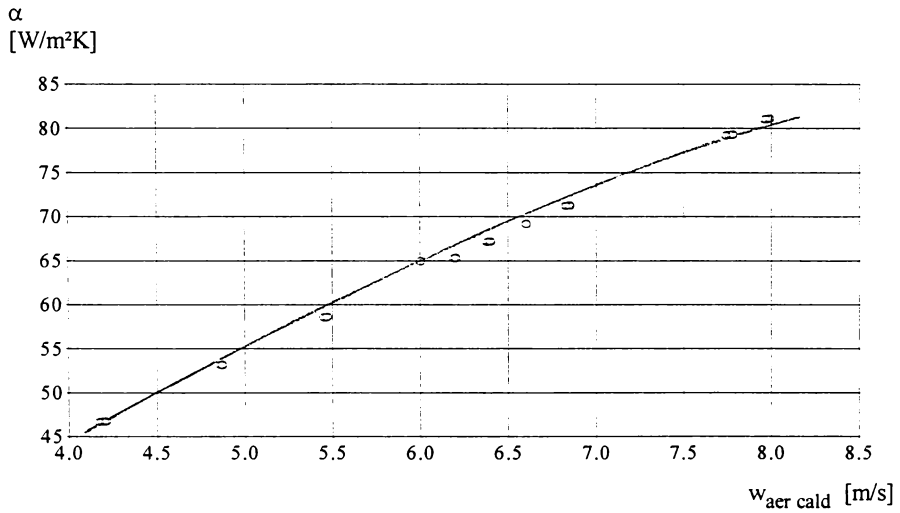
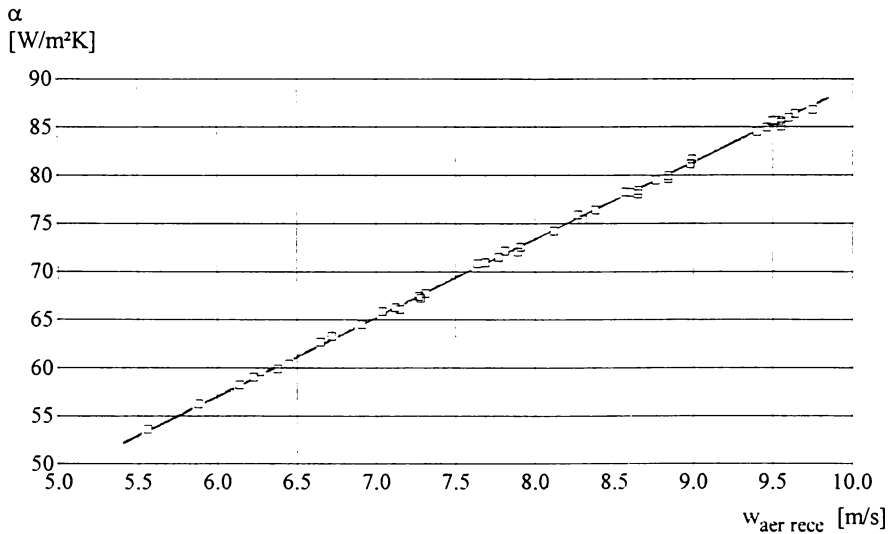


Fig. 6.9 Coeficientul căderii de presiune de partea aerului rece

Fig. 6.10 Coeficientul de transfer termic total k de partea aerului caldFig. 6.11 Coeficientul de transfer termic total k de partea aerului rece

Fig. 6.12 Coeficientul de convecție termică α pentru aerul caldFig. 6.13 Coeficientul de convecție termică α pentru aerul rece

6.1.3 Influența curgerii aerului de răcire și a aerului de supraalimentare asupra efectului de răcire

După cum s-a precizat în capitolul anterior, parametrii curgerii celor două fluide prin schimbătorul de căldură au o influență hotărâtoare asupra intensității efectului de răcire. Pentru a pune în evidență acest lucru, s-a construit diagrama din fig. 6.14 pe baza valorilor din tab. M1 (cf. Anexa M).

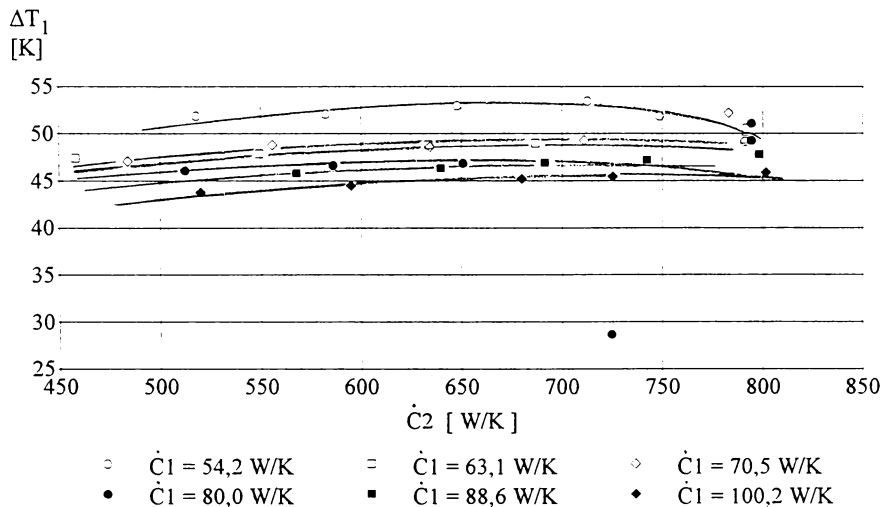


Fig. 6.14 Căderea de temperatură de partea aerului cald ΔT_1 în funcție de fluxul capacității termice \dot{C}_1 a aerului rece

Se observă că cea mai mare influență asupra efectului de răcire ($\Delta T_1 = T_1' - T_1''$) o are aerul cald (de supraalimentare), deoarece debitul de aer rece (de răcire) fiind de cel puțin 5 ori mai mare decât cel de aer cald, intensificarea curgerii aerului rece nu mai îmbunătățește sensibil schimbul de căldură.

6.1.4 Corelarea răcitorului cu suflanta

Condiția principală care se impune la utilizarea răcirii intermediare este $\Delta p \geq 0$, ceea ce conduce la relația (3.44):

$$\theta \geq \frac{\phi}{\Delta p_1 - \phi P_1}$$

Această relație este satisfăcută cu ușurință în cazul răcitorului de aer încercat, pentru care $\phi > 0,95$, $\Delta p_1 / p_1 < 0,005$ iar $\theta > 1,1$. Satisfacerea acestei condiții conduce la o creștere a densității aerului la trecerea prin răcitor și, prin aceasta, la succesul supraalimentării combinate cu răcirea intermediară.

6.1.5 Bilanțul exergetic al răcitorului

Pierderile de exergie pentru răcitorul de aer precum și randamentul său exergetic au fost calculate pe baza relațiilor expuse în cap. 3.4 folosind programul SCAR36.BAS (cf. Anexa N). Rezultatele obținute sunt prezentate în tab. N1 (Anexa N).

Se poate remarca faptul că randamentul exergetic al transferului de căldură la diferență finită variabilă de temperatură η_c are valori mici (sub 20 %), ceea ce caracterizează un schimb de căldură intens. Acest lucru se poate evidenția teoretic prin studiul variației pierderii de exergie $\Pi_{\Delta T}$ (cf. rel. (3.56) și (3.57)).

6.2 Motorul

Influența supraalimentării cu răcire intermediară asupra funcționării motorului a fost apreciată pe baza caracteristicilor de reglator.

6.2.1 Caracteristicile motorului

a) Funcționarea cu aspirație naturală

Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în tab. 6.1.a...d și fig. 6.15...6.18.

b) Funcționarea cu supraalimentare

Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în tab. 6.2.a...d și fig. 6.19...6.22.

c) Funcționarea cu supraalimentare și răcire intermediară

Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în tab. 6.3.a...d și fig. 6.23...6.26.

Tab. 6.1.a. Mărimi măsurate și calculate la încărcarea motorului cu aspiratie naturală

n [rot/min]	M _c		P _c		C _c [kg/h]	c _c		m _{ac} [kg/s]	t ['] _{ac} [°C]	m _w [kg/s]
	N·m	kgf·m	[kW]	CP		[g/kWh]	[g/CP·h]			
1200	3.07	0.31	0.39	0.52	0.904	2362.3	1738.5	0.0272	25.5	0.218
1190	23.08	2.35	2.88	3.91	1.351	469.5	345.5	0.0270	25.5	0.216
1180	56.57	5.77	6.99	9.50	2.010	287.5	211.6	0.0269	26.0	0.215
1170	73.25	7.47	8.89	12.19	2.515	280.3	206.3	0.0268	26.0	0.213
1160	102.33	10.43	12.43	16.89	3.195	257.0	189.2	0.0266	26.0	0.211
1150	120.74	12.31	14.54	19.76	3.610	248.2	182.7	0.0265	26.0	0.209
1140	137.29	13.99	16.39	22.27	4.076	248.7	183.0	0.0264	26.0	0.207

Cond. ambiante: p = 749 torr (998604 Pa); t = 25 °C.

Tab. 6.1.b. Mărimi măsurate și calculate la încărcarea motorului cu aspiratie naturală

n [rot/min]	M _c		P _c		C _c [kg/h]	c _c		m _{ac} [kg/s]	t ['] _{ac} [°C]	m _w [kg/s]
	N·m	kgf·m	[kW]	CP		[g/kWh]	[g/CP·h]			
1630	4.87	0.50	0.83	1.13	1.098	1320.4	971.7	0.0330	31.5	0.299
1620	6.94	0.71	1.18	1.60	1.169	993.1	730.9	0.0328	31.5	0.297
1610	10.01	1.02	1.69	2.29	1.216	720.9	530.5	0.0326	31.6	0.295
1600	16.28	1.66	2.73	3.71	1.314	481.8	354.5	0.0325	31.6	0.293
1590	23.61	2.41	3.93	5.34	1.488	378.3	278.4	0.0324	31.8	0.291
1580	29.62	3.02	4.90	6.66	1.622	330.9	243.5	0.0322	31.8	0.289
1570	38.02	3.88	6.25	8.49	1.818	290.8	214.0	0.0321	31.8	0.287
1560	53.92	5.50	8.81	11.97	2.462	279.5	205.7	0.0320	31.8	0.286
1550	71.68	7.31	13.41	18.22	3.345	249.4	183.6	0.0318	31.8	0.284
1540	131.70	13.43	21.24	28.86	5.371	252.9	186.1	0.0317	31.8	0.282

Cond. ambiante: p = 755 torr (100658 Pa); t = 31 °C.

Tab. 6.1.a. Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului cu aspirație naturală
continuare

n [rot/min]	t' _w [°C]	t'' _w [°C]	t _u [°C]	t _g [°C]	t _{gc} [°C]	η _c [%]	q _w [%]	q _{rest} [%]	GFB [%]	Conc. [mg/l]	(CO) _f [%]
1200	44.7	40.8	47.6	146	110	3.71	33.97	62.32	-	-	-
1190	46.5	41.1	49.4	172	137	18.36	31.20	50.44	-	-	-
1180	48.7	41.4	52.7	216	181	29.95	28.10	41.95	-	-	-
1170	50.7	41.8	53.5	237	202	30.72	27.14	42.14	-	-	-
1160	53.1	42.2	55.2	273	240	33.51	25.94	40.55	-	-	-
1150	55.0	42.6	57.2	295	262	34.69	25.88	39.43	-	-	-
1140	57.3	43.1	58.2	315	282	34.63	25.88	39.49	10	0.05	< 0.2

Cond. ambiante: p = 749 torr (998604 Pa); t = 25 °C.

Tab. 6.1.b. Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului cu aspirație naturală
continuare

n [rot/min]	t' _w [°C]	t'' _w [°C]	t _u [°C]	t _g [°C]	t _{gc} [°C]	η _c [%]	q _w [%]	q _{rest} [%]	GFB [%]	Conc. [mg/l]	(CO) _f [%]
1630	47.0	43.6	57.1	151	115	6.51	33.33	60.16	-	-	-
1620	48.1	44.4	57.3	155	119	8.69	33.85	57.46	-	-	-
1610	50.5	46.7	57.9	160	124	11.96	33.22	54.82	-	-	-
1600	51.5	47.5	60.0	171	135	17.89	32.15	49.96	-	-	-
1590	52.6	48.2	60.4	184	148	22.74	31.03	46.23	-	-	-
1580	53.8	49.0	61.0	194	159	26.01	30.86	43.13	-	-	-
1570	55.5	50.3	61.2	208	173	29.60	29.63	40.77	-	-	-
1560	57.2	50.4	62.7	235	201	30.81	28.43	40.76	-	-	-
1550	59.4	50.7	63.1	283	250	34.52	26.59	38.89	-	-	-
1540	65.5	51.6	63.4	366	334	34.05	26.29	39.66	15	0.09	< 0.2

Cond. ambiante: p = 755 torr (100658 Pa); t = 31 °C.

Tab. 6.1.c. Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului cu aspirație naturală

n [rot/min]	M _c		P _c		C _c [kg/h]	c _c		m _{ac} [kg/s]	t _{ac} [°C]	m _v [kg/s]
	N·m	kgf·m	[kW]	CP		[g/kWh]	[g/CP·h]			
1990	7.47	0.76	1.56	2.12	1.682	1080.5	795.2	0.0377	31.0	0.366
1980	12.01	1.22	2.49	3.38	1.773	712.3	524.2	0.0376	31.0	0.364
1970	21.35	2.18	4.40	5.98	1.967	446.7	328.8	0.0375	31.5	0.362
1960	24.68	2.52	5.07	6.88	2.130	420.5	309.4	0.0373	31.5	0.360
1950	36.29	3.70	7.41	10.07	2.483	335.0	246.6	0.0372	32.0	0.358
1950	43.36	4.42	8.85	12.03	2.667	301.2	221.6	0.0372	32.0	0.358
1940	52.70	5.37	10.71	14.55	3.077	287.4	211.5	0.0371	32.0	0.356
1930	58.92	6.01	11.91	16.18	3.286	276.0	203.1	0.0369	32.0	0.355
1920	65.55	6.68	13.18	17.91	3.610	273.9	201.6	0.0368	32.0	0.353
1910	75.61	7.71	15.12	20.55	3.968	262.4	193.1	0.0367	32.0	0.351
1900	92.91	9.47	18.49	25.12	4.676	252.9	186.1	0.0365	32.0	0.349
1890	125.49	12.79	24.84	33.75	6.356	255.9	188.3	0.0364	32.0	0.347

Cond. ambiante: p = 750 torr (100000 Pa); t = 31 °C.

Tab. 6.1.d. Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului cu aspirație naturală

n [rot/min]	M _c		P _c		C _c [kg/h]	c _c		m _{ac} [kg/s]	t _{ac} [°C]	m _v [kg/s]
	N·m	kgf·m	[kW]	CP		[g/kWh]	[g/CP·h]			
2400	8.67	0.88	2.18	2.96	2.069	949.3	698.6	0.0432	33.0	0.442
2390	20.01	2.04	5.01	6.81	2.466	492.3	362.3	0.0431	33.0	0.440
2380	34.69	3.54	8.65	11.75	3.446	398.5	293.3	0.0429	33.0	0.439
2370	45.36	4.62	11.26	15.30	3.985	353.9	260.5	0.0428	33.0	0.437
2360	53.06	5.41	13.11	17.82	4.310	328.6	241.9	0.0427	33.2	0.435
2350	59.39	6.05	14.61	19.85	4.752	325.3	239.5	0.0425	33.5	0.433
2340	65.39	6.66	16.02	21.77	5.053	315.4	232.1	0.0424	33.5	0.431
2330	78.19	7.97	19.08	25.92	5.522	289.5	213.0	0.0423	33.5	0.429
2310	92.06	9.38	22.27	30.26	6.141	275.8	202.9	0.0420	33.5	0.426
2290	109.19	11.13	26.18	35.58	6.910	263.9	194.2	0.0417	33.5	0.422
2280	117.59	11.99	28.08	38.15	7.252	258.3	190.1	0.0416	33.5	0.420

Cond. ambiante: p = 751 torr (100125 Pa); t = 33 °C.

Tab. 6.1.c Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului cu aspirație naturală
continuare

n	t ^{'w} [°C]	t ^{''w} [°C]	t _u [°C]	t _g [°C]	t _{gc} [°C]	η _c [%]	q _w [%]	q _{rest} [%]	GFB [%]	Conc. [mg/l]	(CO) _f [%]
1990	52.0	47.8	57.0	159	123	7.98	32.92	59.10	-	-	-
1980	53.0	48.6	60.7	168	133	12.09	32.55	55.36	-	-	-
1970	54.0	49.3	61.5	188	153	19.26	31.18	49.56	-	-	-
1960	55.7	50.6	62.2	196	160	20.50	31.09	48.41	-	-	-
1950	56.9	51.1	64.4	220	186	25.70	29.65	44.65	-	-	-
1950	58.9	52.9	65.0	235	201	28.57	29.06	42.37	-	-	-
1940	61.5	54.8	66.0	255	221	29.97	27.98	42.05	-	-	-
1930	62.1	55.0	67.1	267	234	31.21	27.62	41.17	-	-	-
1920	62.2	54.5	67.8	281	248	31.44	27.12	41.44	-	-	-
1910	64.1	55.7	69.0	301	268	32.81	26.77	40.42	-	-	-
1900	66.9	57.2	69.0	337	305	34.05	26.09	39.86	-	-	-
1890	67.1	53.8	70.2	404	373	33.65	26.18	40.17	25	0.20	< 0.2

Cond. ambiante: p = 750 torr (100000 Pa); t = 31 °C.

Tab. 6.1.d Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului cu aspirație naturală
continuare

n	t ^{'w} [°C]	t ^{''w} [°C]	t _u [°C]	t _g [°C]	t _{gc} [°C]	η _c [%]	q _w [%]	q _{rest} [%]	GFB [%]	Conc. [mg/l]	(CO) _f [%]
2400	54.5	50.3	65.4	165	129	9.07	32.36	58.57	-	-	-
2390	56.2	51.0	66.7	195	160	17.49	33.48	49.03	-	-	-
2380	59.2	52.3	67.0	233	199	21.61	31.65	46.74	-	-	-
2370	61.5	54.0	67.8	261	227	24.33	29.63	46.04	-	-	-
2360	63.0	55.5	68.4	280	247	30.43	27.27	42.30	-	-	-
2350	64.5	56.1	68.5	296	263	26.47	27.59	45.94	-	-	-
2340	66.7	57.8	69.5	311	278	27.30	27.37	45.33	-	-	-
2330	68.6	59.0	71.6	343	311	29.75	26.90	43.35	-	-	-
2310	71.1	60.1	74.3	376	345	31.23	27.47	41.30	-	-	-
2290	73.7	61.8	76.1	418	387	32.63	26.18	41.19	-	-	-
2280	74.5	62.4	76.6	438	408	33.34	25.25	41.41	30	0.25	< 0.2

Cond. ambiante: p = 751 torr (100125 Pa); t = 33 °C.

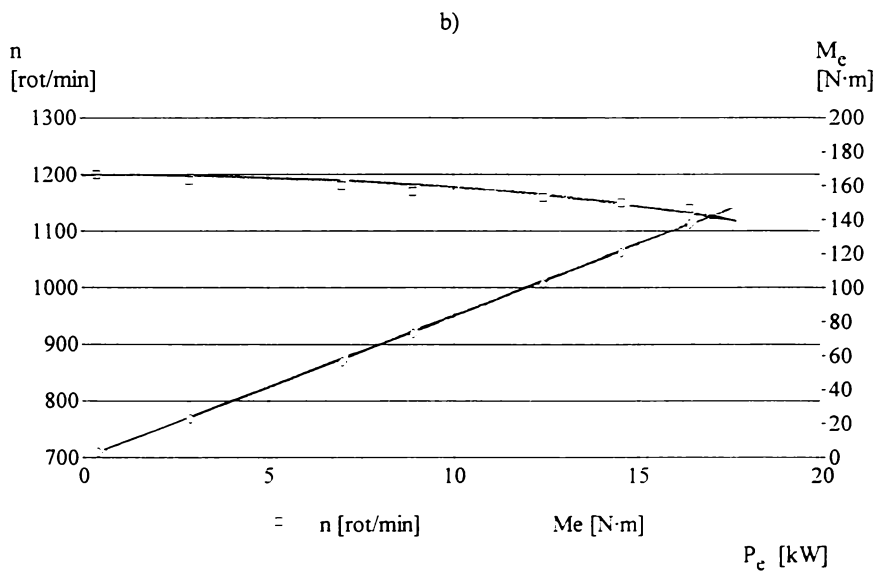
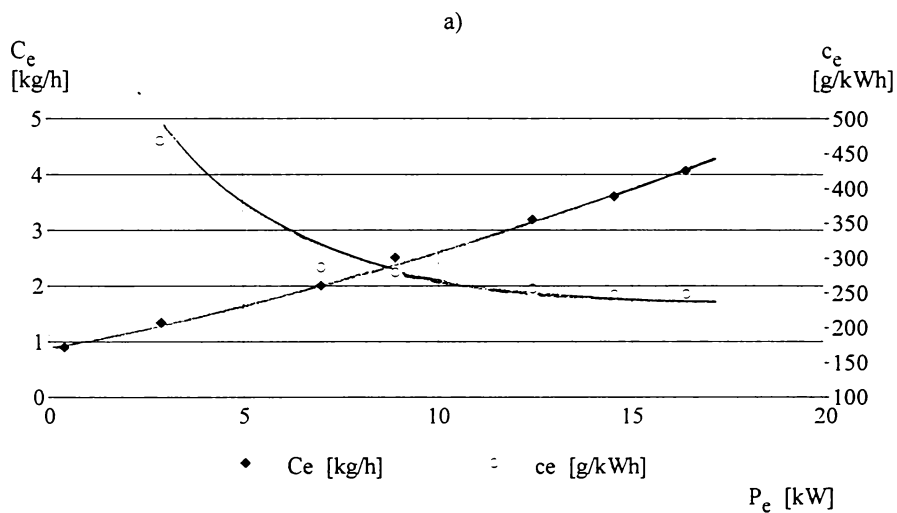


Fig.6.15 Caracteristica de regulator a motorului cu aspiratie naturală pentru turatia de mers în gol $n = 1200$ rot/min

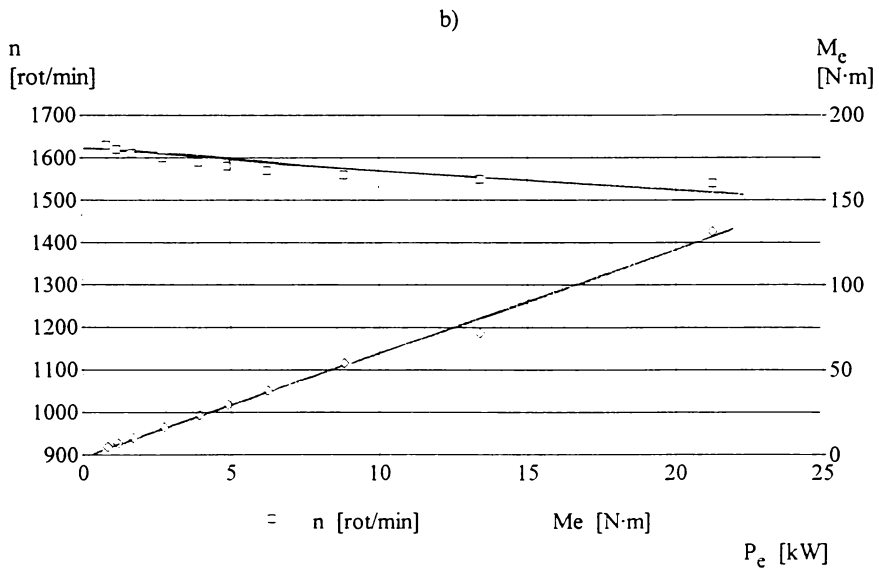
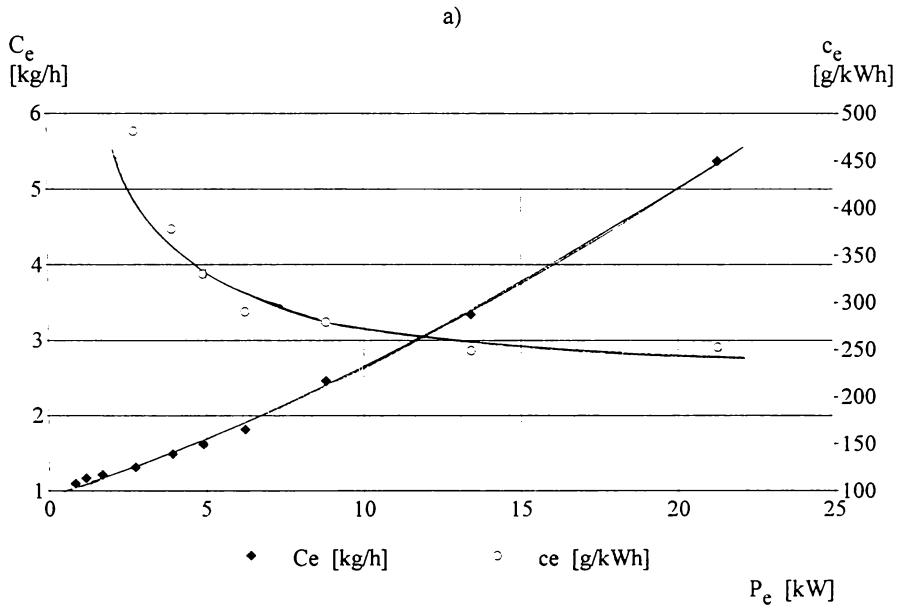


Fig.6.16 Caracteristica de regulator a motorului cu aspiratie naturală pentru turatia de mers în gol $n = 1600$ rot/min

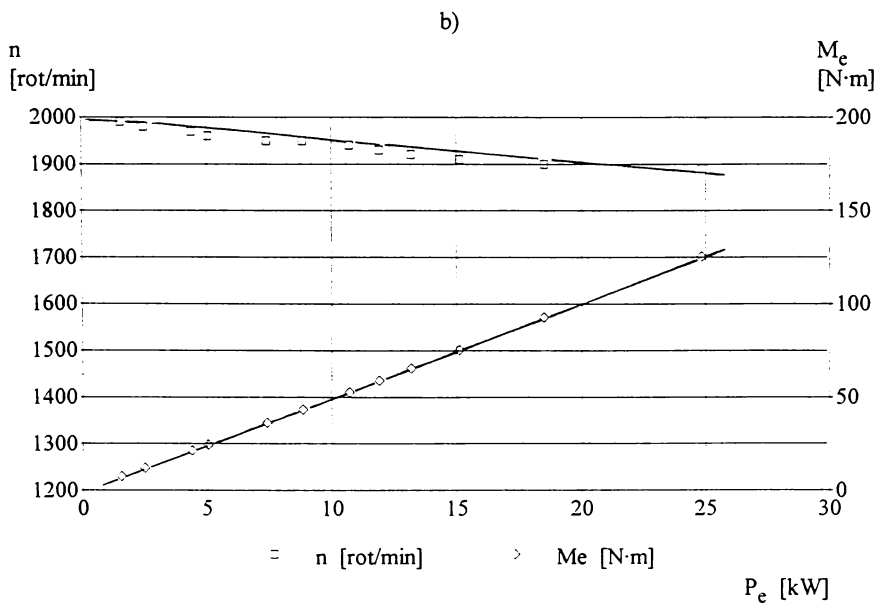
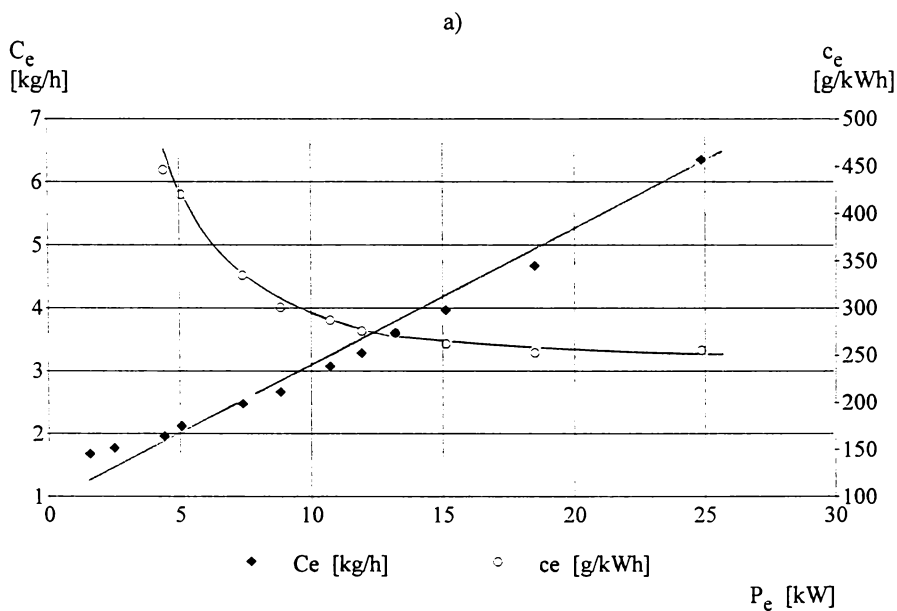


Fig.6.17 Caracteristica de regulator a motorului cu aspiratie naturală pentru turatia de mers în gol $n = 2000$ rot/min

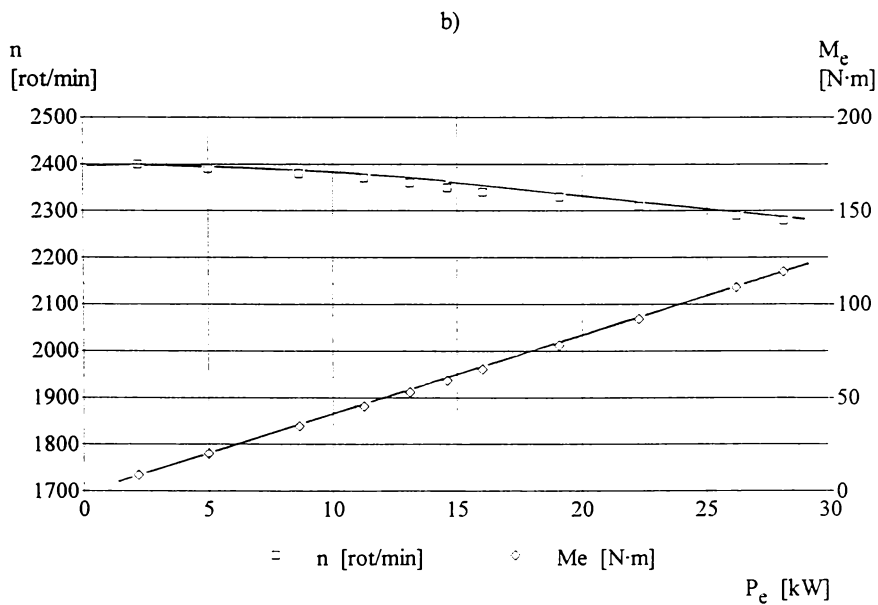
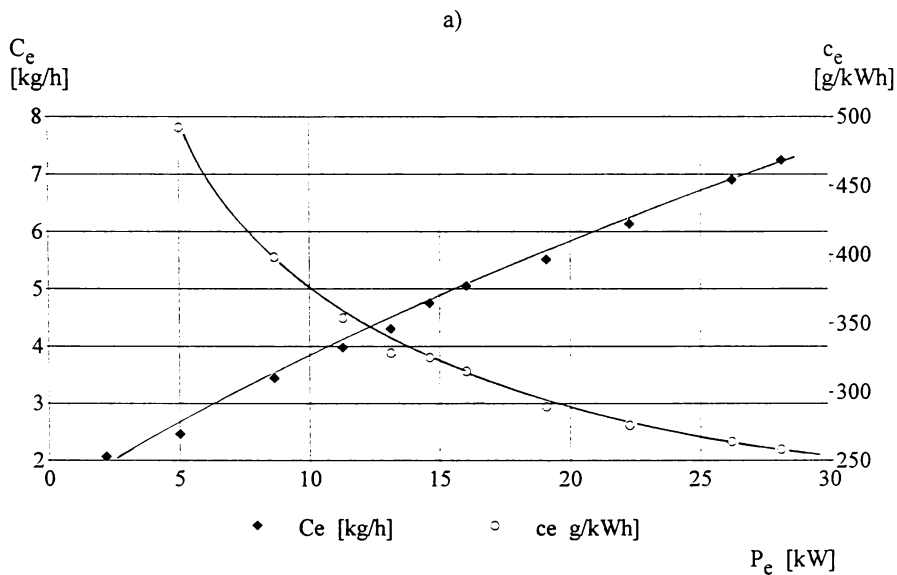


Fig.6.18 Caracteristica de regulator a motorului cu aspiratie naturală pentru turatia de mers în gol $n = 2400$ rot/min

Tab. 6.2.a Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat

n [rot/min]	M _c		P _c		C _c		c _c		m _{ac}		t _{ac}		m _w [kg/s]
	N·m	kgf·m	[kW]	CP	[kg/h]	[g/kWh]	[g/CP·h]	[kg/s]	[°C]	[kg/s]	[°C]		
1200	3.74	0.38	0.47	0.64	1.026	2185.6	1608.6	0.0353	50.2	0.218			
1190	28.15	2.87	3.51	4.77	1.533	437.0	321.6	0.0351	50.2	0.216			
1180	68.84	7.02	8.51	11.56	2.295	269.8	198.5	0.0348	50.0	0.215			
1170	89.39	9.11	10.95	14.88	2.883	263.2	193.7	0.0347	49.8	0.213			
1160	127.74	12.72	15.15	20.59	3.661	241.6	177.8	0.0344	49.9	0.211			
1150	146.76	14.96	17.67	24.02	4.120	233.1	171.6	0.0342	50.0	0.209			
1140	166.77	17.00	19.91	27.05	4.641	233.1	171.6	0.0340	49.8	0.207			

Cond. ambiante: p = 749 torr (998604 Pa); t = 12 °C. Pres. de supraalim.: 1033 torr (137699 Pa).

Tab. 6.2.b Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat

n [rot/min]	M _c		P _c		C _c		c _c		m _{ac}		t _{ac}		m _w [kg/s]
	N·m	kgf·m	[kW]	CP	[kg/h]	[g/kWh]	[g/CP·h]	[kg/s]	[°C]	[kg/s]	[°C]		
1630	5.87	0.60	1.00	1.36	1.257	1254.5	923.2	0.0439	48.8	0.299			
1620	8.41	0.86	1.43	1.94	1.345	943.3	694.2	0.0436	48.7	0.297			
1610	12.14	1.24	2.05	2.78	1.400	683.9	503.3	0.0436	48.7	0.295			
1600	22.55	2.30	3.78	5.13	1.593	421.7	310.3	0.0434	48.6	0.293			
1590	28.68	2.92	4.78	6.49	1.715	359.1	264.3	0.0431	48.7	0.291			
1580	36.02	3.67	5.96	8.10	1.869	313.6	230.8	0.0430	48.5	0.289			
1570	46.43	4.73	7.63	10.37	2.103	275.5	202.8	0.0429	48.7	0.287			
1560	65.24	6.65	10.66	14.48	2.825	265.1	195.1	0.0427	48.6	0.286			
1550	86.99	8.87	14.12	19.19	3.340	236.6	174.1	0.0426	48.7	0.284			
1540	159.83	16.29	25.78	35.02	6.171	239.4	176.2	0.0423	48.8	0.282			

Cond. ambiante: p = 750 torr (100000 Pa); t = 11 °C. Pres. de supraalim.: 1034 torr (137855 Pa).

Tab. 6.2.a Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat continuuare

n	t' _w	t'' _w	t _u	t _g	t _{ge}	η _e	q _w	q _{rest}	GFB	Conc.	(CO) _f
[rot/min]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[%]	[%]	[%]	[%]	[mg/l]	[%]
1200	49.1	45.0	56.9	196	158	3.95	31.45	64.60	-	-	-
1190	51.8	46.5	58.8	223	186	19.72	26.98	53.30	-	-	-
1180	56.3	48.7	62.0	268	230	31.94	25.62	42.45	-	-	-
1170	58.5	48.8	63.6	289	252	32.71	25.80	41.49	-	-	-
1160	62.3	50.0	66.2	326	291	35.64	25.54	38.82	-	-	-
1150	64.6	50.9	67.8	348	313	36.94	25.05	38.01	-	-	-
1140	66.6	51.0	69.3	368	333	36.95	25.10	37.95	8	0.04	<0.2

Cond. ambiante: p = 749 torr (998604 Pa); t = 12 °C. Pres. de supraalim.: 1033 torr (137699 Pa).

Tab. 6.2.b Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat continuuare

n	t' _w	t'' _w	t _u	t _g	t _{ge}	η _e	q _w	q _{rest}	GFB	Conc.	(CO) _f
[rot/min]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[%]	[%]	[%]	[%]	[mg/l]	[%]
1630	49.6	46.0	57.2	206	168	6.85	30.83	62.32	-	-	-
1620	50.0	46.2	57.5	210	172	9.16	30.22	60.62	-	-	-
1610	50.5	46.6	57.9	216	178	12.61	29.61	57.78	-	-	-
1600	52.1	48.0	59.0	230	194	20.44	27.18	52.38	-	-	-
1590	53.0	48.6	59.6	240	203	24.00	26.92	49.07	-	-	-
1580	54.1	49.4	60.4	251	214	27.46	26.22	46.31	-	-	-
1570	55.6	50.4	61.5	265	228	31.25	25.62	43.14	-	-	-
1560	58.3	51.3	63.4	293	256	32.50	25.50	42.00	-	-	-
1550	61.4	53.0	65.6	341	306	36.41	25.72	37.87	-	-	-
1540	71.9	56.7	73.0	424	389	35.98	25.02	39.00	10	0.05	<0.2

Cond. ambiante: p = 750 torr (100000 Pa); t = 11 °C. Pres. de supraalim.: 1034 torr (137855 Pa).

Tab. 6.2.c Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat

n [rot/min]	M _c		P _c		C _c [kg/h]	c _c		m _{ac} [kg/s]	t' _{ac} [°C]	m _w [kg/s]
	N·m	kgf·m	[kW]	CP		[g/kWh]	[g/CP·h]			
2000	7.20	0.73	1.52	2.05	1.720	1139.8	838.8	0.0489	51.8	0.368
1990	12.70	1.25	2.57	3.48	2.625	1026.1	755.2	0.0489	51.7	0.366
1980	19.75	2.01	4.10	5.56	2.770	676.6	497.9	0.0485	51.9	0.364
1970	35.22	3.59	7.26	9.87	3.085	424.6	312.5	0.0485	52.0	0.362
1960	40.83	4.16	8.37	11.39	3.343	398.9	293.6	0.0484	52.1	0.360
1950	66.04	6.73	13.48	18.32	4.304	319.2	234.9	0.0483	52.0	0.358
1940	86.85	8.85	17.64	23.98	4.826	273.6	201.3	0.0481	51.9	0.356
1930	97.66	9.96	19.75	26.82	5.158	261.3	192.3	0.0480	51.9	0.354
1920	107.93	11.00	21.69	29.49	5.671	261.3	192.3	0.0479	51.8	0.353
1910	124.74	12.72	24.95	33.90	6.221	249.3	183.5	0.0478	51.9	0.351
1900	153.03	15.60	30.44	41.37	7.319	240.4	176.9	0.0476	52.0	0.349

Cond. ambiante: p = 751 torr (100125 Pa); t = 14 °C. Pres. de supraalim.: 1036 torr (138122 Pa).

Tab. 6.2.d Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat

n [rot/min]	M _c		P _c		C _c [kg/h]	c _c		m _{ac} [kg/s]	t' _{ac} [°C]	m _w [kg/s]
	N·m	kgf·m	[kW]	CP		[g/kWh]	[g/CP·h]			
2400	10.54	1.07	2.65	3.60	2.389	901.4	663.7	0.0529	51.7	0.442
2390	24.42	2.49	6.11	8.30	2.858	467.7	344.2	0.0528	51.8	0.440
2380	42.03	4.28	10.47	14.23	3.980	380.0	279.6	0.0528	51.5	0.438
2370	55.23	5.63	13.71	18.63	4.610	336.3	247.5	0.0526	51.6	0.437
2360	64.44	6.57	15.93	21.64	4.993	313.5	230.7	0.0526	51.7	0.435
2350	71.91	7.33	17.70	24.05	5.464	308.8	227.2	0.0525	51.7	0.433
2340	79.12	8.06	19.39	26.34	5.820	300.2	220.9	0.0523	51.6	0.431
2330	95.13	9.70	23.21	31.54	6.417	276.5	203.5	0.0523	51.6	0.429
2310	111.27	11.34	26.92	36.57	7.057	262.2	192.9	0.0522	51.6	0.427
2300	125.41	12.78	30.21	41.04	7.748	256.5	188.8	0.0521	51.7	0.424
2280	142.35	14.51	33.99	46.19	8.395	247.0	181.8	0.0519	51.8	0.420

Cond. ambiante: p = 753 torr (100391 Pa); t = 14 °C. Pres. de supraalim.: 1038 torr (138388 Pa).

Tab. 6.2.c Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat

n [rot/min]	t ^{'w} [°C]	t ^{''w} [°C]	t ^w [°C]	t _u [°C]	t _g [°C]	t _{gc} [°C]	η _c [%]	q _w [%]	q _{rest} [%]	GFB [%]	Conc. [mg/l]	continuare	
												(CO) r [%]	γ [%]
2000	49.7	45.8	57.3	203	155	7.61	30.05	62.34	-	-	-	-	-
1990	50.4	44.6	57.8	218	178	8.43	29.13	62.44	-	-	-	-	-
1980	51.4	45.6	58.5	227	189	12.75	27.47	59.78	-	-	-	-	-
1970	53.5	47.4	60.0	248	210	20.27	25.81	53.92	-	-	-	-	-
1960	54.2	47.6	60.5	256	218	21.55	25.62	52.83	-	-	-	-	-
1950	57.6	49.1	62.9	286	252	26.96	25.51	47.53	-	-	-	-	-
1940	60.4	50.7	64.9	316	280	31.48	25.83	42.69	-	-	-	-	-
1930	61.8	51.4	65.8	329	294	32.96	25.77	41.27	-	-	-	-	-
1920	63.1	51.7	66.8	343	307	32.96	25.56	41.48	-	-	-	-	-
1910	65.2	52.8	68.3	363	328	34.55	25.21	40.24	-	-	-	-	-
1900	68.9	54.3	70.8	399	364	35.83	25.09	39.08	15	0.10	0.10	< 0.2	< 0.2

Cond. ambiante: p = 751 torr (100125 Pa); t = 14 °C.Pres. de supraalim.: 1036 torr (138122 Pa).

Tab. 6.2.d Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat

n [rot/min]	t ^{'w} [°C]	t ^{''w} [°C]	t ^w [°C]	t _u [°C]	t _g [°C]	t _{gc} [°C]	η _c [%]	q _w [%]	q _{rest} [%]	GFB [%]	Conc. [mg/l]	continuare	
												(CO) r [%]	γ [%]
2400	51.1	46.7	58.3	228	190	9.55	29.36	61.08	-	-	-	-	-
2390	54.2	49.4	60.5	259	220	18.41	26.66	54.92	-	-	-	-	-
2380	58.1	51.7	63.3	298	260	22.66	25.42	51.92	-	-	-	-	-
2370	61.0	53.5	65.3	326	289	25.61	25.61	48.78	-	-	-	-	-
2360	63.0	54.8	66.7	338	309	27.48	25.74	46.78	-	-	-	-	-
2350	64.6	55.6	67.9	362	326	27.90	25.71	46.39	-	-	-	-	-
2340	66.1	56.5	68.9	377	342	28.69	25.63	45.67	-	-	-	-	-
2330	69.6	59.0	71.4	409	374	31.15	25.56	43.29	-	-	-	-	-
2310	72.9	61.2	73.7	443	409	32.85	25.43	41.72	-	-	-	-	-
2300	75.9	63.2	75.8	481	448	33.58	25.03	41.39	-	-	-	-	-
2280	80.5	66.6	78.5	505	471	34.87	25.06	40.07	20	0.14	0.14	< 0.2	< 0.2

Cond. ambiante: p = 753 torr (100391 Pa); t = 14 °C.Pres. de supraalim.: 1038 torr (138388 Pa).

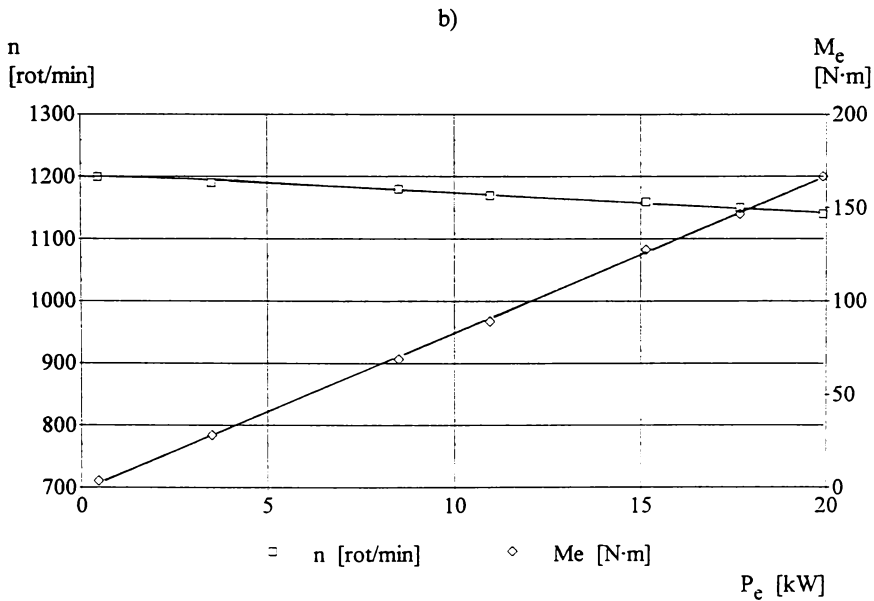
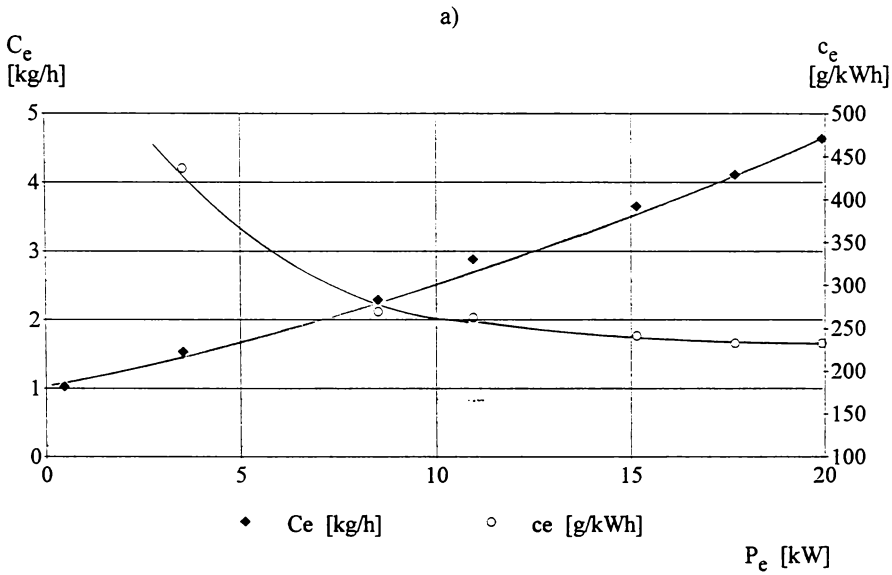


Fig.6.19 Caracteristica de regulator a motorului supraalimentat pentru
turația de mers în gol $n = 1200$ rot/min

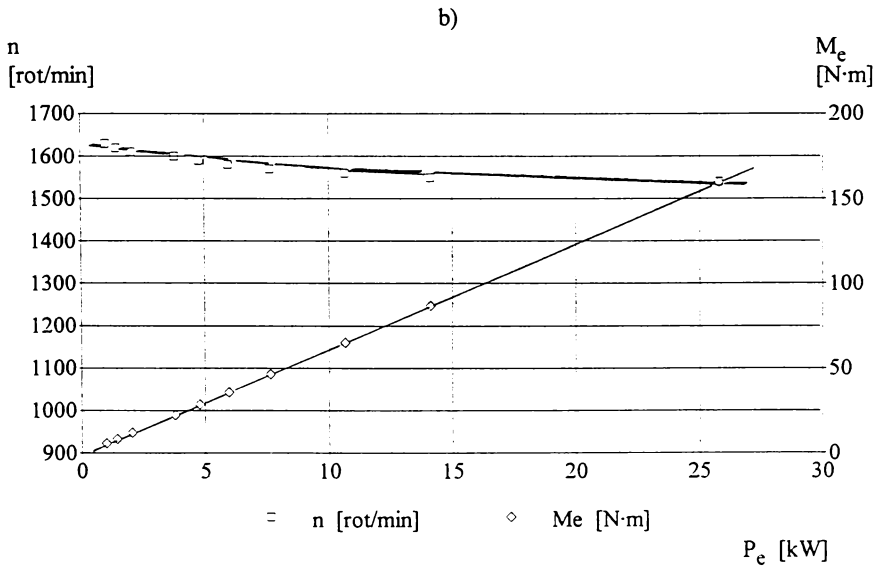
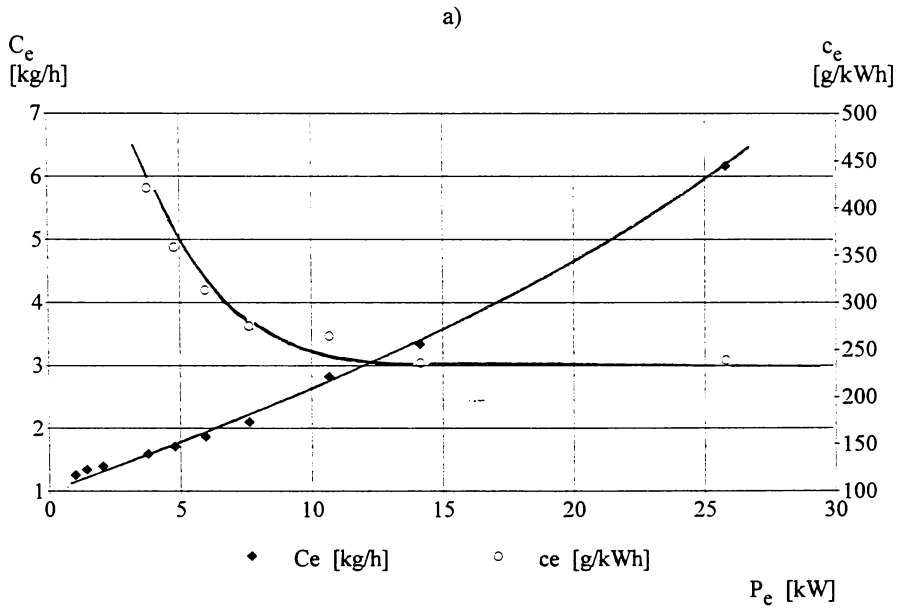


Fig.6.20 Caracteristica de regulator a motorului supraalimentat pentru turația de mers în gol $n = 1600$ rot/min

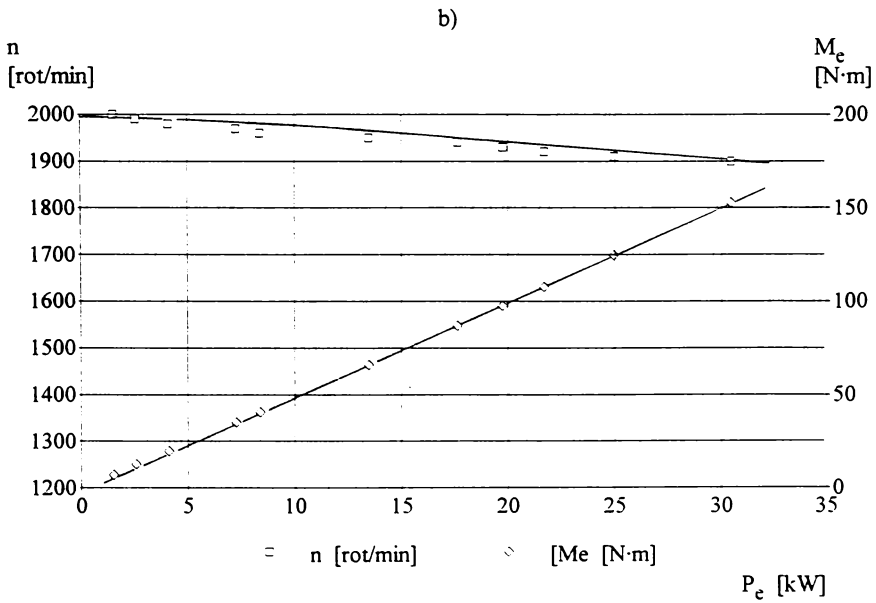
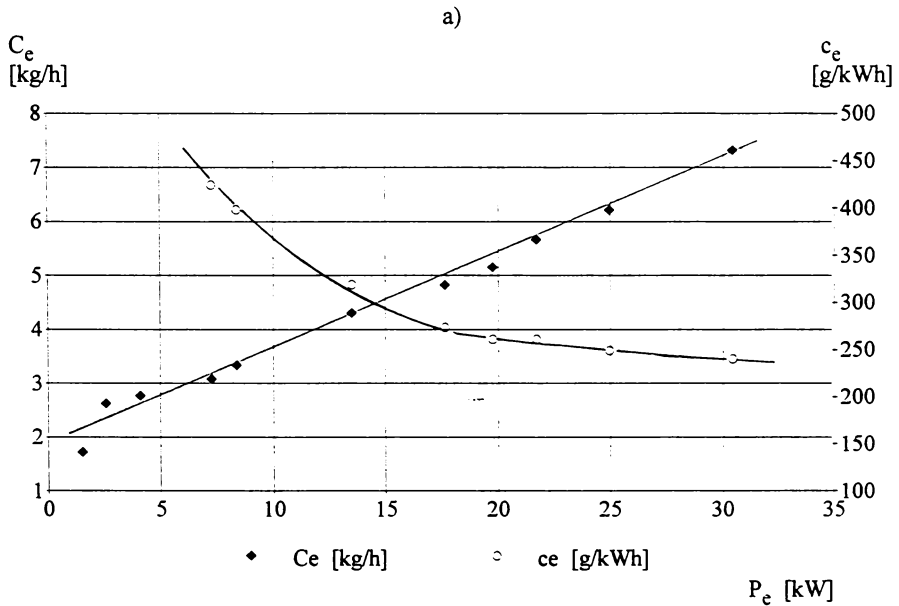


Fig.6.21 Caracteristica de regulator a motorului supraalimentat pentru turatia de mers în gol $n = 2000$ rot/min

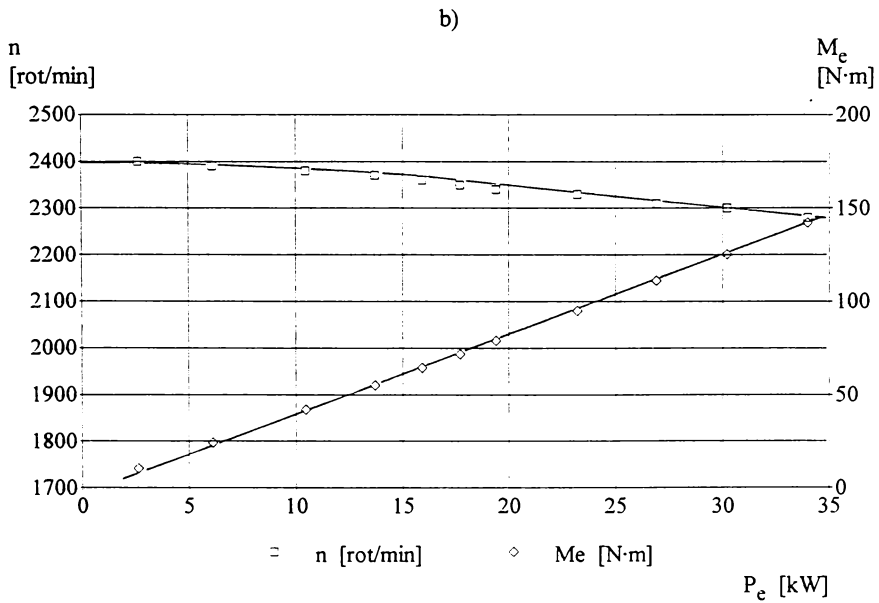
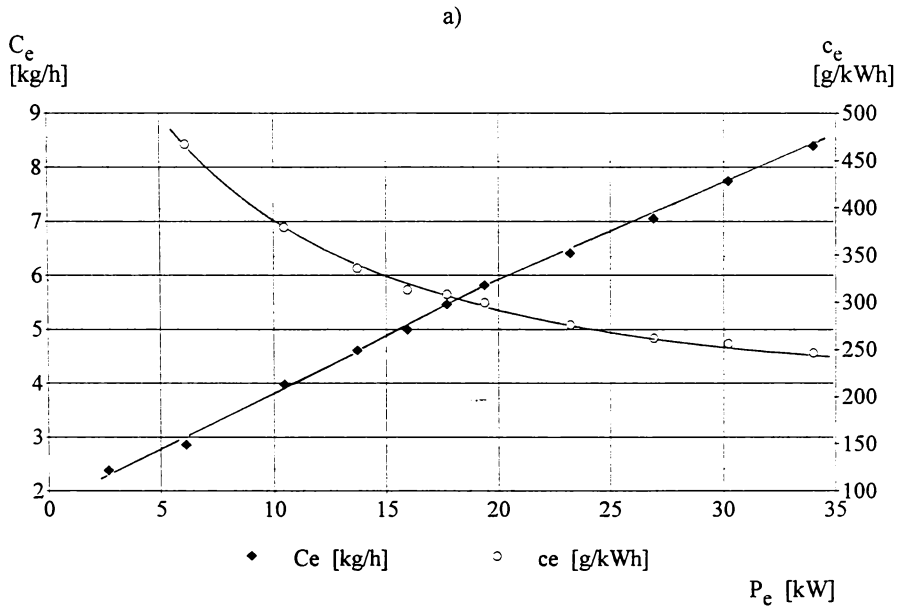


Fig.6.22 Caracteristica de regulator a motorului supraalimentat pentru turatia de mers în gol $n = 2400$ rot/min

Tab. 6.3.a Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat cu răcire intermediară

n [rot/min]	M _c		P _c		C _c [kg/h]	C _e		m _{ac} [kg/s]	t' _{ac} [°C]	t'' _{ac} [°C]	t' _{ar} [°C]
	N·m	kgf·m	[kW]	CP		[g/kWh]	[g/CP·h]				
1200	3.74	0.38	0.47	0.64	1.026	2185.6	1608.6	0.0370	50.1	12.4	12.2
1190	28.55	2.91	3.56	4.83	1.534	431.1	317.3	0.0367	50.2	12.4	12.2
1180	69.91	7.13	8.64	11.74	2.295	265.7	195.5	0.0366	50.0	12.3	12.1
1170	90.72	9.25	11.12	15.10	2.833	259.4	190.9	0.0363	49.8	12.3	12.1
1160	126.61	12.91	15.38	20.90	3.665	238.3	175.4	0.0361	50.0	12.5	12.3
1150	149.03	15.19	17.95	24.39	4.119	229.5	168.9	0.0360	50.1	12.4	12.2
1140	169.44	17.27	20.23	27.49	4.643	229.5	168.9	0.0358	49.9	12.4	12.2

Cond. ambiant: p = 749 torr (998604 Pa); t = 12 °C. Pres. de supraaliment: 1033 torr (137699 Pa). m_{ar} = 1.07 kg/s

Tab. 6.3.b Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat cu răcire intermediară

n [rot/min]	M _c		P _c		C _c [kg/h]	C _e		m _{ac} [kg/s]	t' _{ac} [°C]	t'' _{ac} [°C]	t' _{ar} [°C]
	N·m	kgf·m	[kW]	CP		[g/kWh]	[g/CP·h]				
1630	6.00	0.61	1.02	1.39	1.256	1225.6	902.0	0.0460	48.8	11.3	11.0
1620	8.54	0.87	1.45	1.97	1.344	927.8	682.8	0.0456	48.7	11.3	11.0
1610	12.27	1.25	2.07	2.81	1.399	676.0	497.5	0.0458	48.7	11.4	11.1
1600	22.81	2.33	3.82	5.19	1.592	416.5	306.5	0.0454	48.6	11.4	11.1
1590	29.08	2.96	4.84	6.58	1.714	353.9	260.5	0.0452	48.7	11.4	11.1
1580	36.56	3.73	6.05	8.22	1.894	313.1	230.4	0.0452	48.6	11.4	11.1
1570	47.10	4.80	7.74	10.52	2.101	271.3	199.7	0.0451	48.7	11.5	11.2
1560	66.17	6.75	10.81	14.69	2.824	261.2	192.2	0.0447	48.7	11.5	11.2
1550	88.19	8.99	14.31	19.45	3.337	233.1	171.6	0.0449	48.7	11.5	11.2
1540	162.10	16.52	26.14	35.52	6.165	235.8	173.6	0.0445	48.8	11.5	11.2

Cond. ambiant: p = 750 torr (100000 Pa); t = 11 °C. Pres. de supraaliment: 1034 torr (137858 Pa). m_{ar} = 1.07 kg/s

Tab. 6.3.a Mărimi măsurate și calculate la încălcarea motorului supraalimentat cu răcire intermediară

n	continuare														
	t ^{ar} [°C]	m _w [kg/s]	t ^w [°C]	t ^{''w} [°C]	t ^u [°C]	t _g [°C]	t _{gc} [°C]	η _c [%]	q _w [%]	q _a [%]	q _{rest} [%]	GFB [%]	Conc. [mg/l]	(CO) _r [%]	
1200	13.4	0.218	47.6	43.7	54.6	121	88	3.95	29.92	11.27	54.86	-	-	-	
1190	13.4	0.216	50.4	45.3	56.6	147	110	19.99	25.94	7.52	46.55	-	-	-	
1180	13.3	0.215	55.0	47.6	59.8	192	154	32.42	24.94	4.97	37.66	-	-	-	
1170	13.3	0.213	57.2	47.8	61.4	212	175	33.22	25.00	3.92	37.85	-	-	-	
1160	13.5	0.211	61.0	49.1	64.1	249	214	36.14	24.68	3.06	36.12	-	-	-	
1150	13.4	0.209	63.3	50.1	65.8	270	236	37.53	24.15	2.72	35.60	-	-	-	
1140	13.4	0.207	65.4	50.3	67.2	290	256	37.53	24.28	2.39	35.80	8	0.04	< 0.2	

Cond. ambiante: p = 749 torr (998604 Pa); t = 12 °C. Pres. de supraalim.: 1033 torr (137699 Pa). m_{ar} = 1.07 kg/s

Tab. 6.3.b Mărimi măsurate și calculate la încălcarea motorului supraalimentat cu răcire intermediară

n	continuare														
	t ^{ar} [°C]	m _w [kg/s]	t ^w [°C]	t ^{''w} [°C]	t ^u [°C]	t _g [°C]	t _{gc} [°C]	η _c [%]	q _w [%]	q _a [%]	q _{rest} [%]	GFB [%]	Conc. [mg/l]	(CO) _r [%]	
1630	12.5	0.299	48.1	44.7	55.0	132	95	6.99	29.14	11.32	52.49	-	-	-	
1620	12.5	0.297	48.5	44.9	55.3	135	97	9.29	28.65	10.54	51.52	-	-	-	
1610	12.6	0.295	49.1	45.4	55.7	140	102	12.74	28.11	10.10	49.05	-	-	-	
1600	12.6	0.293	50.6	46.7	56.8	154	117	20.67	25.87	8.81	44.65	-	-	-	
1590	12.6	0.291	51.6	47.5	57.5	164	126	24.32	25.10	8.15	42.43	-	-	-	
1580	12.6	0.289	52.6	48.1	58.2	174	137	27.51	24.77	7.34	40.38	-	-	-	
1570	12.7	0.287	54.2	49.3	59.3	185	151	31.73	24.16	6.60	37.51	-	-	-	
1560	12.7	0.286	56.9	50.3	61.2	212	178	32.97	24.20	4.89	38.09	-	-	-	
1550	12.7	0.284	60.1	52.1	63.5	259	228	36.93	24.51	4.13	34.43	-	-	-	
1540	12.7	0.282	70.7	56.3	71.0	341	311	36.52	23.73	2.22	37.53	10	0.05	< 0.2	

Cond. ambiante: p = 750 torr (100000 Pa); t = 11 °C. Pres. de supraalim.: 1034 torr (137858 Pa). m_{ar} = 1.07 kg/s

Tab. 6.3.c Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat cu răcire intermediară

n [rot/min]	M _c		P _c		C _c [kg/h]	C _c		m _{ac} [kg/s]	t' _{ac} [°C]	t'' _{ac} [°C]	t' _{ar} [°C]
	N·m	kgf·m	[kW]	CP		[g/kWh]	[g/CP·h]				
2000	7.47	0.76	1.56	2.13	1.575	1009.4	816.5	0.0512	51.8	14.4	14.0
1990	12.54	1.28	2.61	3.55	2.636	1008.6	742.3	0.0511	51.8	14.4	14.0
1980	19.88	2.03	4.12	5.60	2.755	668.4	491.9	0.0509	51.9	14.4	14.0
1970	35.49	3.62	7.32	9.95	3.068	419.1	308.4	0.0508	52.0	14.5	14.1
1960	41.36	4.22	8.49	11.53	3.332	392.5	288.9	0.0508	52.2	14.5	14.1
1950	66.84	6.81	13.65	18.32	4.297	314.8	231.7	0.0508	52.1	14.5	14.1
1940	87.92	8.96	17.86	24.27	4.810	269.3	198.2	0.0506	52.0	14.4	14.1
1930	98.86	10.08	19.98	27.15	5.140	257.2	189.3	0.0502	51.9	14.4	14.1
1920	109.13	11.12	21.94	28.82	5.647	257.4	189.4	0.0504	51.9	14.4	14.1
1910	126.21	12.87	25.24	34.30	6.202	245.7	180.8	0.0502	51.9	14.5	14.2
1900	154.76	15.78	30.79	41.84	7.293	236.8	174.3	0.0500	52.0	14.5	14.2

Cond. ambiante: p = 751 torr (100127 Pa); t = 14 °C. Pres. de supraalim: 1036 torr (138125 Pa). m_{ar} = 1.07 kg/s

Tab. 6.3.d Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat cu răcire intermediară

n [rot/min]	M _c		P _c		C _c [kg/h]	C _c		m _{ac} [kg/s]	t' _{ac} [°C]	t'' _{ac} [°C]	t' _{ar} [°C]
	N·m	kgf·m	[kW]	CP		[g/kWh]	[g/CP·h]				
2400	10.67	1.09	2.68	3.65	2.378	886.5	652.4	0.0554	51.7	14.3	13.900
2390	24.68	2.52	6.18	8.39	2.846	460.7	339.1	0.0552	51.8	14.4	14.000
2380	42.43	4.32	10.57	14.37	3.961	374.6	275.7	0.0554	51.6	14.4	14.000
2370	55.77	5.68	13.84	18.81	4.590	331.6	244.1	0.0550	51.6	14.4	14.000
2360	65.11	6.64	16.09	21.86	4.970	308.9	227.3	0.0551	51.8	14.5	14.100
2350	72.58	7.40	17.86	24.27	5.438	304.5	224.1	0.0552	51.7	14.5	14.100
2340	79.92	8.15	19.58	26.61	5.792	295.8	217.7	0.0550	51.6	14.5	14.100
2330	96.19	9.81	23.47	31.89	6.389	272.2	200.3	0.0547	51.7	14.5	14.100
2310	112.34	11.45	27.17	36.93	7.022	258.4	190.2	0.0549	51.6	14.6	14.200
2300	126.75	12.92	30.53	41.48	7.711	252.6	185.9	0.0547	51.7	14.5	14.100
2280	143.82	14.66	34.34	46.66	8.354	242.3	179.0	0.0545	51.8	14.6	14.200

Cond. ambiante: p = 753 torr (100394 Pa); t = 14 °C. Pres. de supraalim: 1038 torr (138391 Pa). m_{ar} = 1.07 kg/s

Tab. 6.3.c Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat cu răcire intermediară

n [rot/min]	t ^{ar} [°C]	m _w [kg/s]	t ^w [°C]	t ^w [°C]	t _u [°C]	t _g [°C]	t _{ge} [°C]	η _e [%]	q _w [%]	q _a [%]	q _{rest} [%]	GFB [%]	Conc. [mg/l]	continuare	
														(CO) _f [%]	(CO) _r [%]
2000	15.7	0.368	48.2	44.8	55.1	128	80	8.53	28.61	10.09	52.77	-	-	-	-
1900	15.7	0.366	48.9	43.4	55.6	142	102	8.53	27.51	6.03	57.93	-	-	-	-
1980	15.7	0.364	49.9	44.4	56.3	150	113	12.88	26.19	5.74	55.19	-	-	-	-
1970	15.8	0.362	52.0	46.2	57.8	170	133	20.55	24.67	5.15	49.63	-	-	-	-
1960	15.8	0.360	52.8	46.5	58.3	178	141	21.94	24.55	4.76	48.75	-	-	-	-
1950	15.8	0.358	56.2	48.1	60.7	208	175	27.36	24.35	3.68	44.61	-	-	-	-
1940	15.8	0.356	59.0	49.8	62.7	237	202	31.98	24.58	3.26	40.18	-	-	-	-
1930	15.8	0.354	60.4	50.6	63.7	250	216	33.48	24.37	3.04	39.11	-	-	-	-
1920	15.8	0.353	61.7	50.9	64.6	264	229	33.46	24.32	2.76	39.46	-	-	-	-
1910	15.9	0.351	63.9	52.1	66.2	284	250	35.05	24.06	2.50	38.39	-	-	-	-
1900	15.9	0.349	67.6	53.8	68.8	319	285	36.36	23.80	2.12	37.72	10	0.05	-	< 0.2

Cond. ambianțe: p = 751 torr (100127 Pa); t = 14 °C. Pres. de supraalim.: 1036 torr (138125 Pa). m_{ar} = 1.07 kg/s

Tab. 6.3.d Mărimi măsurate și calculate la încercarea motorului supraalimentat cu răcire intermediară

n [rot/min]	t ^{ar} [°C]	m _w [kg/s]	t ^w [°C]	t ^w [°C]	t _u [°C]	t _g [°C]	t _{ge} [°C]	η _e [%]	q _w [%]	q _a [%]	q _{rest} [%]	GFB [%]	Conc. [mg/l]	continuare	
														(CO) _f [%]	(CO) _r [%]
2400	15.8	0.442	49.6	45.4	56.1	153	111	9.71	28.16	7.22	54.91	-	-	-	-
2390	15.8	0.440	52.8	48.2	58.3	184	140	18.70	25.66	6.02	49.62	-	-	-	-
2380	15.8	0.438	56.7	50.6	61.1	222	180	22.98	24.35	4.31	48.36	-	-	-	-
2370	15.8	0.437	59.7	52.6	63.2	249	209	25.97	24.35	3.70	45.98	-	-	-	-
2360	15.9	0.435	61.7	54.0	64.6	261	228	27.88	24.28	3.43	44.41	-	-	-	-
2350	15.9	0.433	63.3	54.8	65.7	285	245	28.29	24.40	3.12	44.19	-	-	-	-
2340	15.9	0.431	64.8	55.7	66.8	300	260	29.11	24.42	2.91	43.56	-	-	-	-
2330	15.9	0.429	68.3	58.2	69.3	330	291	31.64	24.46	2.64	41.26	-	-	-	-
2310	16.0	0.427	71.7	60.7	71.6	364	325	33.32	24.03	2.39	40.26	-	-	-	-
2300	15.9	0.424	74.7	62.7	73.8	402	363	34.10	23.76	2.18	39.96	-	-	-	-
2280	16.0	0.420	78.1	65.0	76.2	425	386	35.40	23.74	2.01	38.85	15	0.1	-	< 0.2

Cond. ambianțe: p = 753 torr (100394 Pa); t = 14 °C. Pres. de supraalim.: 1038 torr (138391 Pa). m_{ar} = 1.07 kg/s

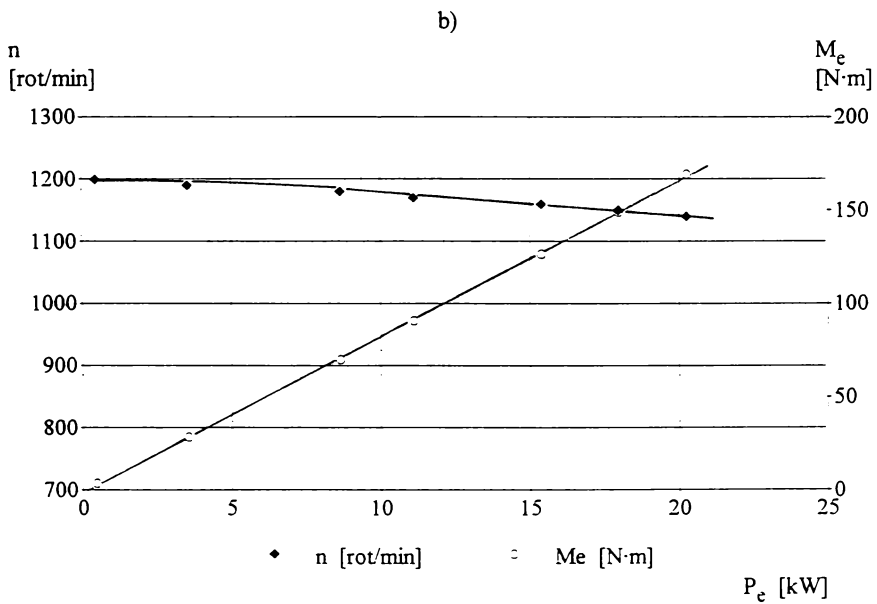
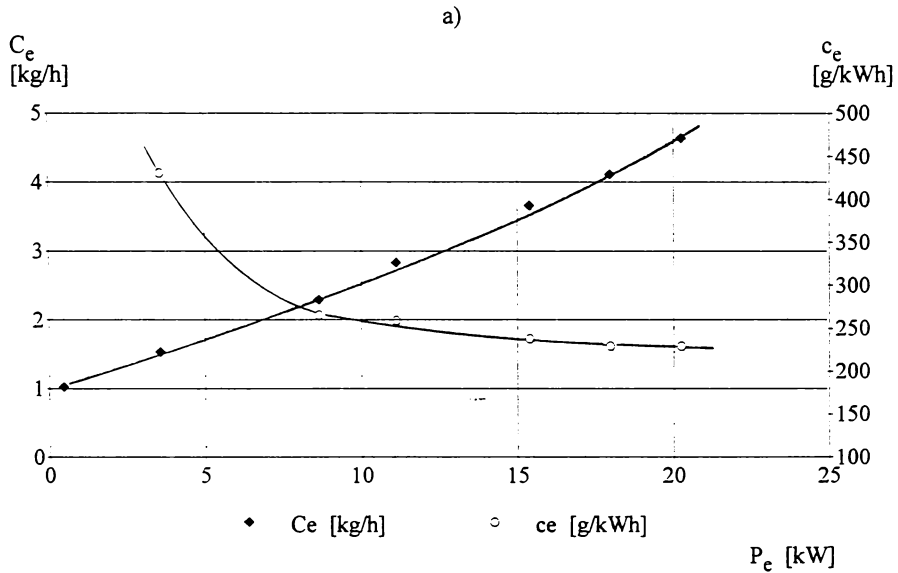


Fig.6.23 Caracteristica de regulator a motorului supraalimentat, cu răcire intermediară, pentru turatia de mers în gol $n = 1200$ rot/min

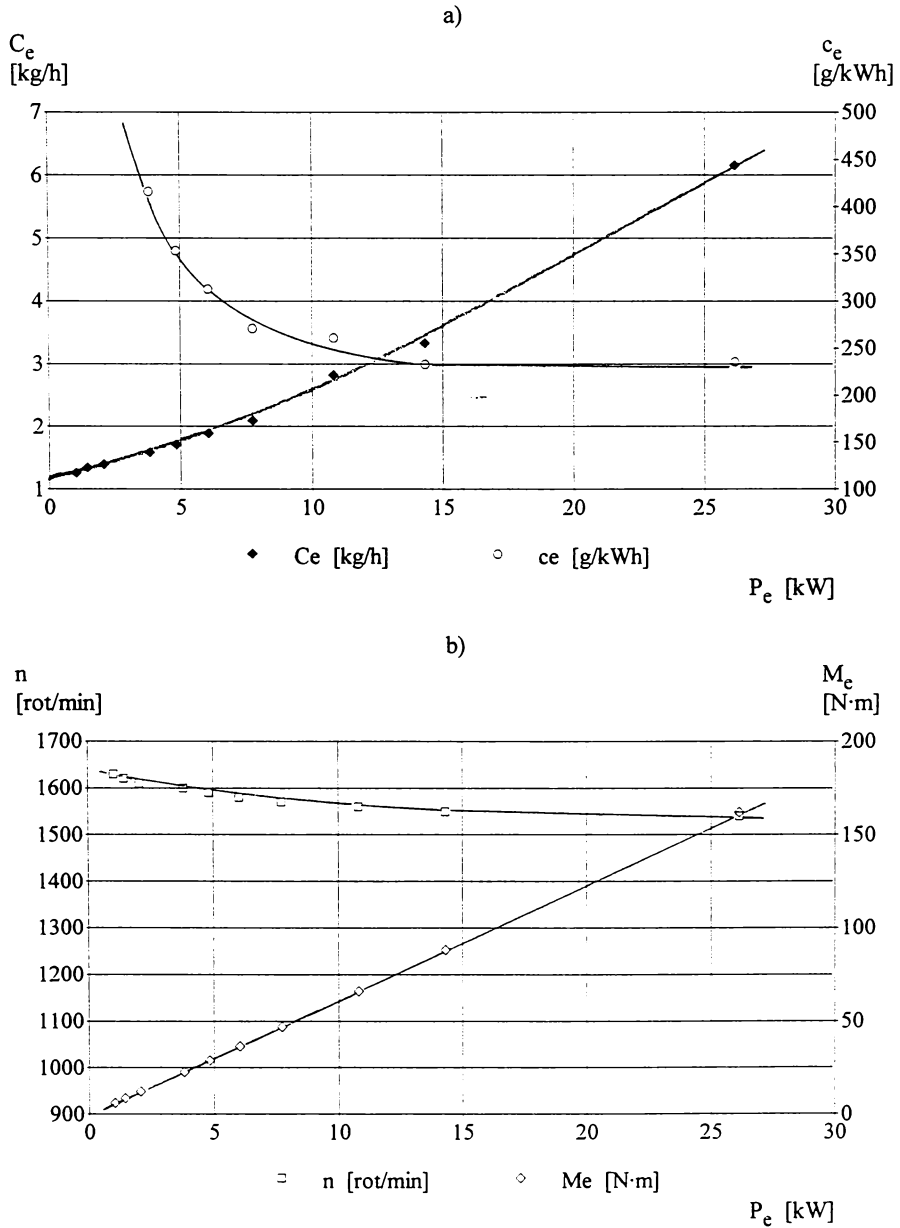


Fig.6.24 Caracteristica de reglator a motorului supraalimentat, cu răcire intermediară, pentru turatia de mers în gol $n = 1600$ rot/min

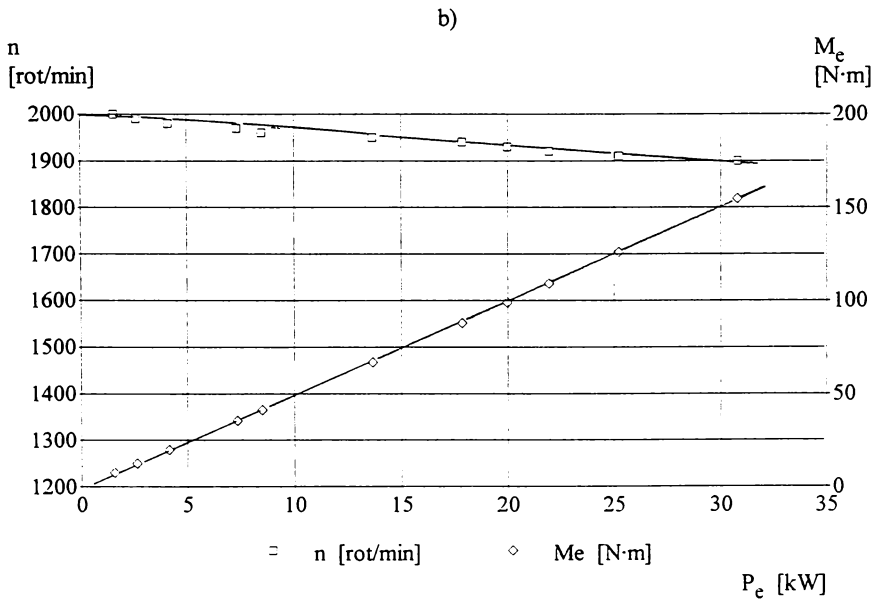
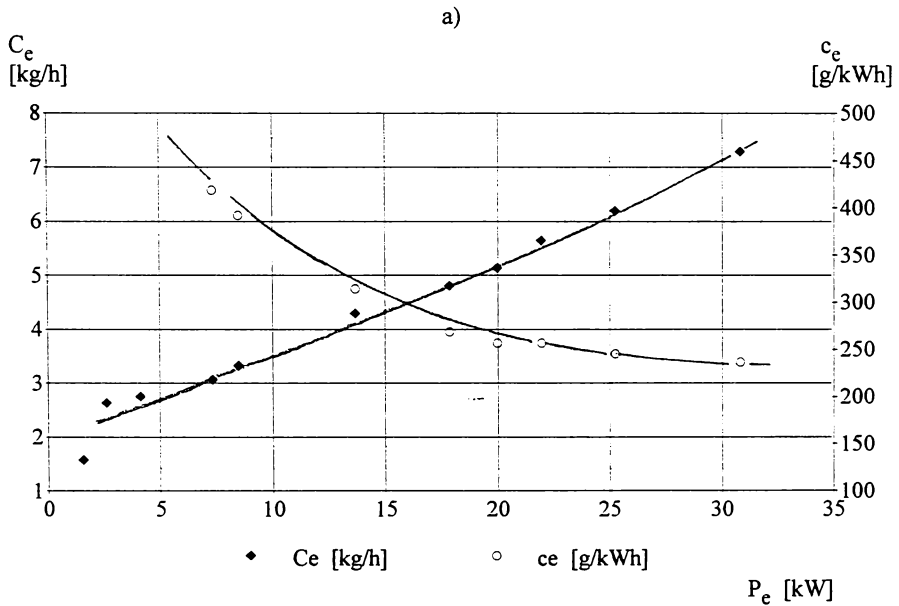


Fig.6.25 Caracteristica de regulator a motorului supraalimentat, cu răcire intermediară, pentru turatia de mers în gol $n = 2000$ rot/min

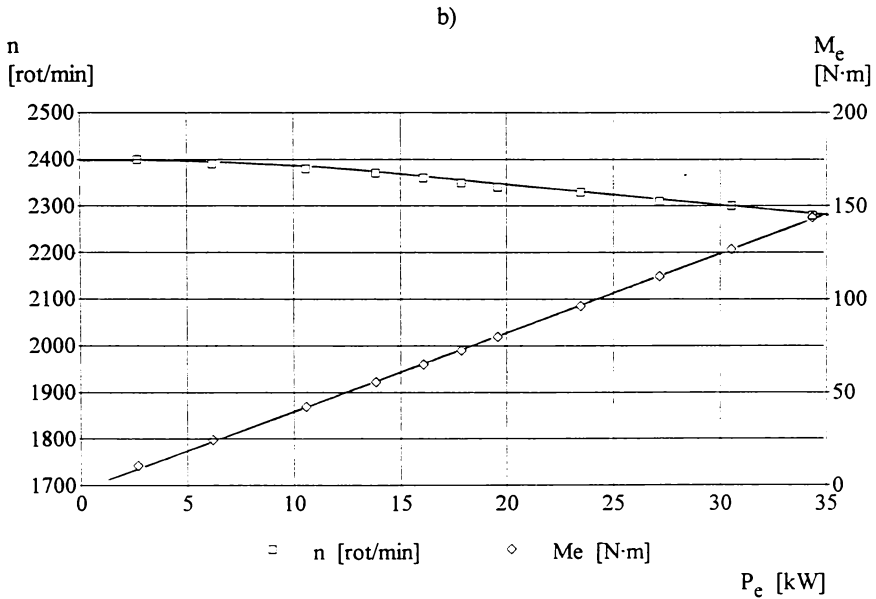
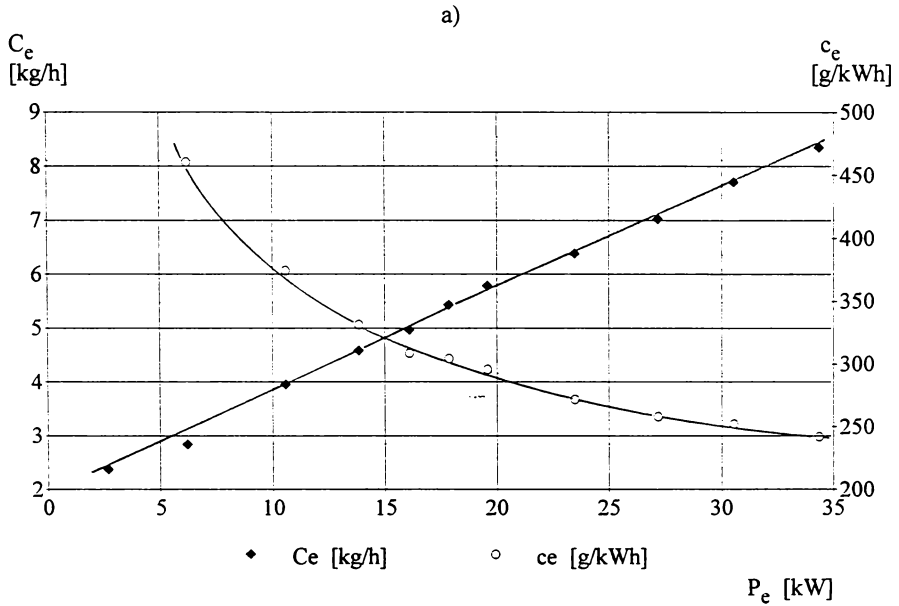


Fig.6.26 Caracteristica de regulator a motorului supraalimentat, cu răcire intermediară, pentru turatia de mers în gol $n = 2400$ rot/min

În tab. 6.1...6.3 mărimea „Conc.” reprezintă concentrația de funingine în gazele de ardere determinată prin cântărire, conform cap. 5.5.2. Valorile M_c , P_c și c_c sunt cele corectate conform cap.5.

În fig. 6.27...6.38 sunt reprezentate grafic variațiile componentelor bilanțului energetic cu turația.

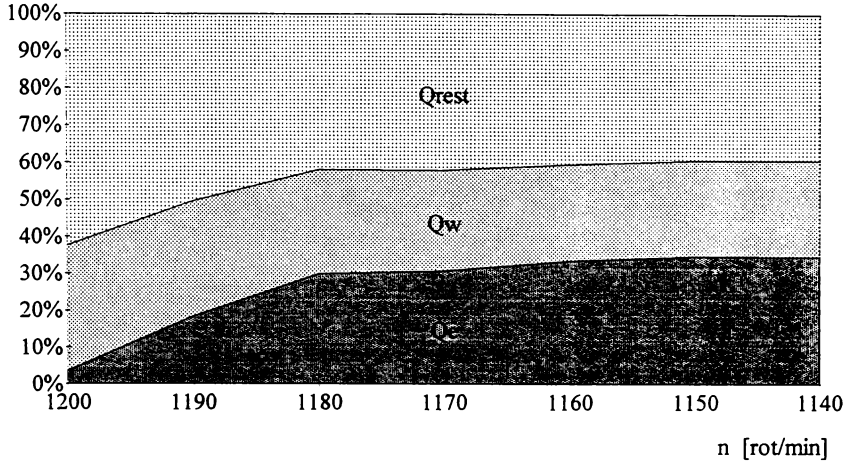


Fig. 6.27 Bilanțul termic al motorului cu aspirație naturală

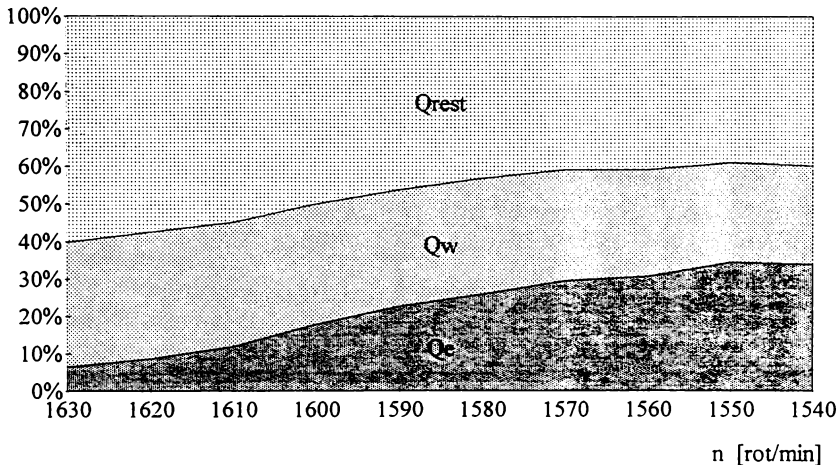


Fig. 6.28 Bilanțul termic al motorului cu aspirație naturală

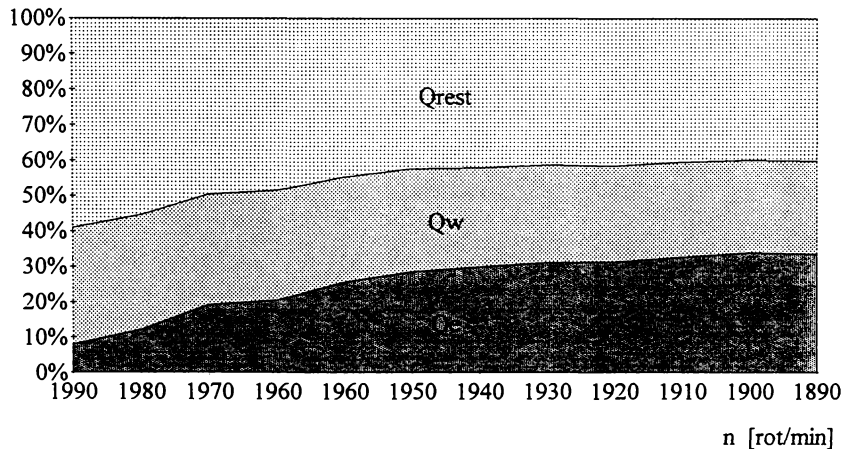


Fig. 6.29 Bilanțul termic al motorului cu aspirație naturală

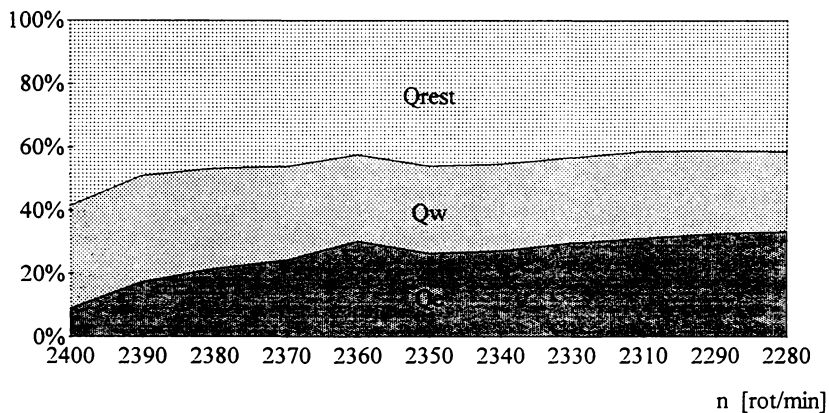


Fig. 6.30 Bilanțul termic al motorului cu aspirație naturală

În diagramele din figurile 6.27...6.38, Q_e reprezintă căldura transformată în lucru mecanic, Q_w reprezintă căldura transmisă apei de răcire, iar Q_{rest} reprezintă restul căldurii evacuate în mediul ambiant (cu gazele de ardere, cu uleiul de ungere prin ventilația carterului inferior, prin radiație și convecție).

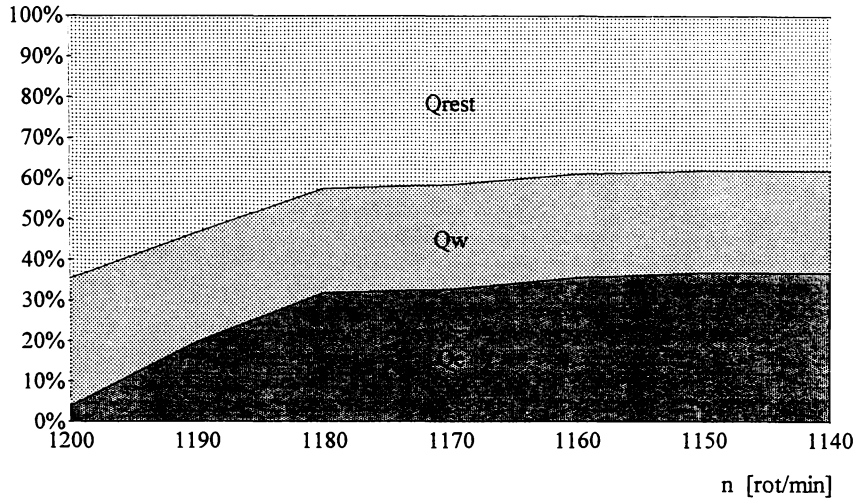


Fig. 6.31 Bilanțul termic al motorului supraalimentat

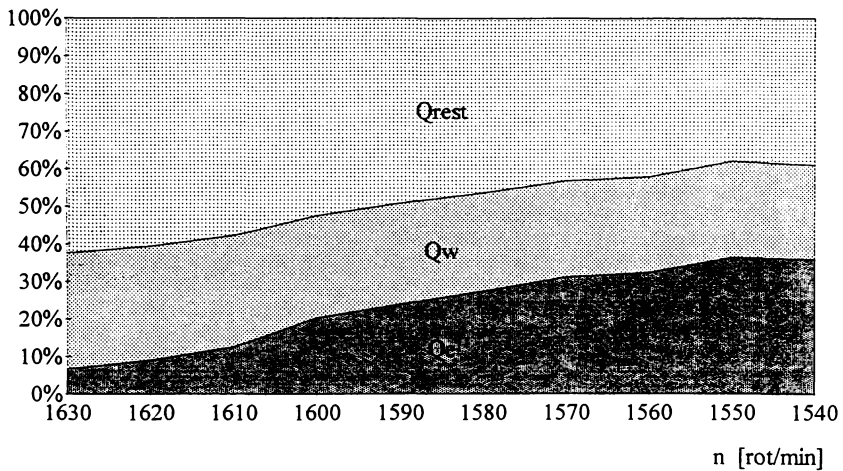


Fig. 6.32 Bilanțul termic al motorului supraalimentat

În fig. 6.35...6.38, Q_a reprezintă căldura transmisă aerului de răcire în răcitorul intermediar.

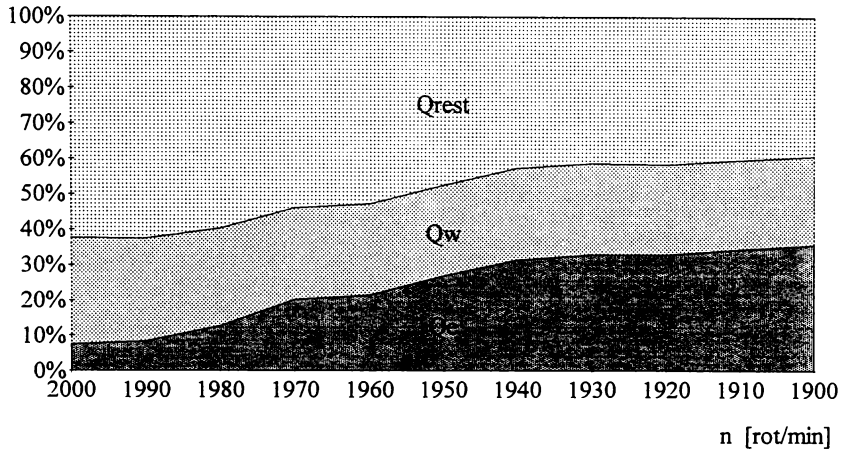


Fig. 6.33 Bilanțul termic al motorului supraalimentat

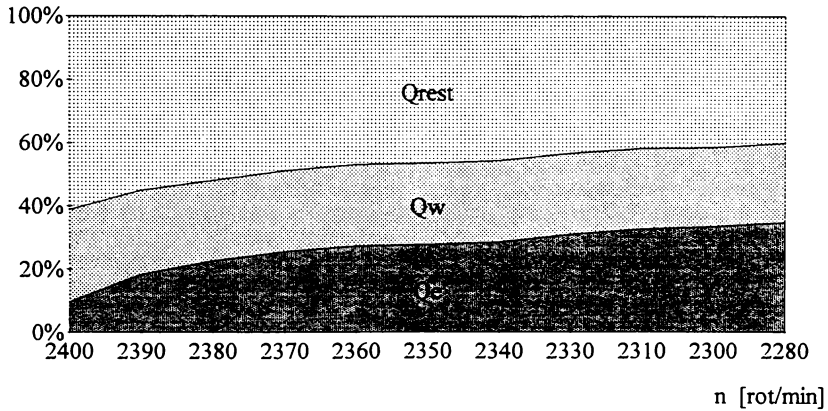


Fig. 6.34 Bilanțul termic al motorului supraalimentat

În timpul încercărilor, la turații de peste 2000 rot/min, s-au constatat vibrații ce cresc odată cu încărcarea motorului. Acestea nu au dispărut nici după recentrarea ansamblului frână-motor. Din acest motiv, pentru protejarea agregatului, s-a evitat încărcarea motorului la puterea maximă, domeniul încercărilor limitându-se la o scădere a turației cu cca 5% față de valoarea de mers în gol.

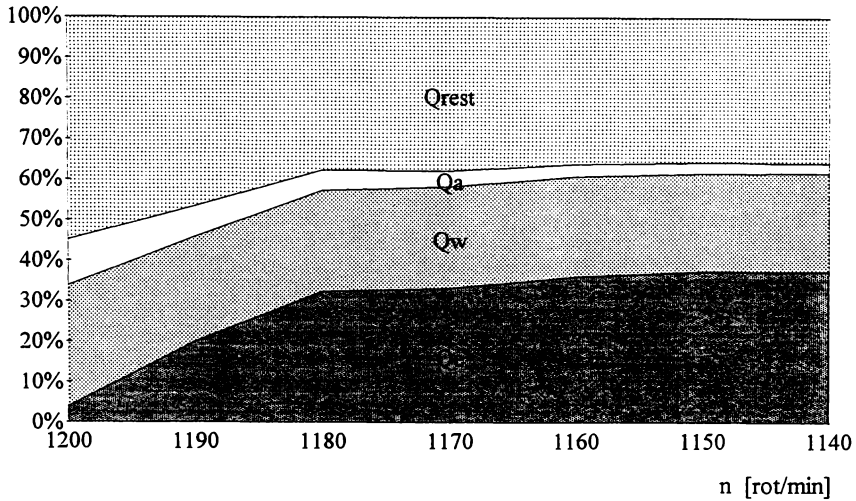


Fig. 6.35 Bilanțul termic al motorului supraalimentat, cu răcire intermediară

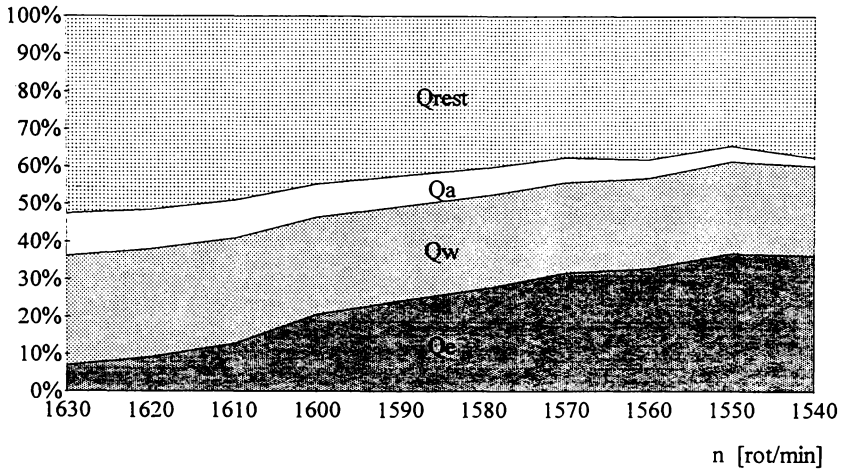


Fig. 6.36 Bilanțul termic al motorului supraalimentat, cu răcire intermediară

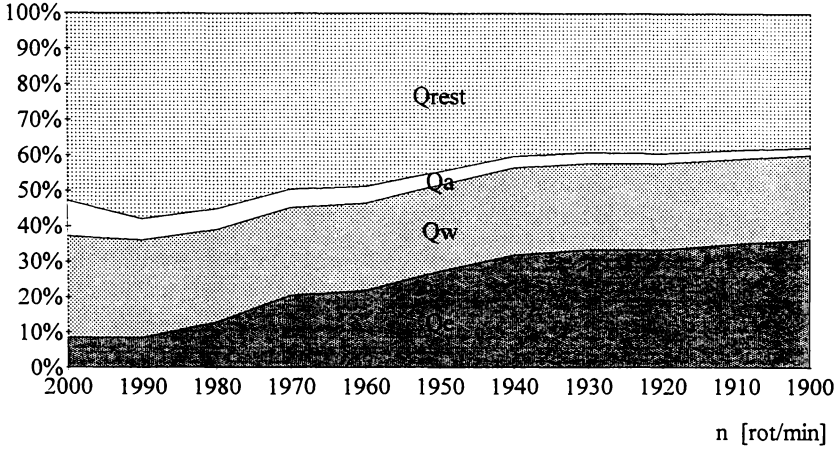


Fig. 6.37 Bilanțul termic al motorului supraalimentat, cu răcire intermediară

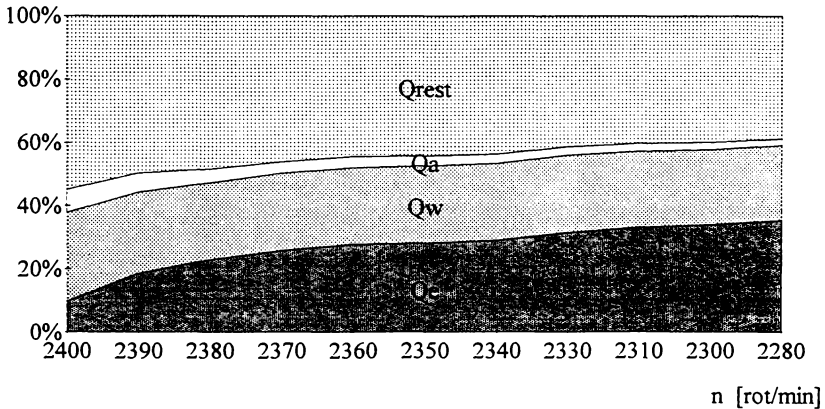


Fig. 6.38 Bilanțul termic al motorului supraalimentat, cu răcire intermediară

Din analiza măsurătorilor se constată că, la valori ale puterii ce depășesc 40CP, pompa de injecție lucrează aproape de capacitatea maximă și o sporire mai accentuată a puterii nu se poate obține decât prin modificarea/inlocuirea pompei.

7. Concluzii generale

Lucrarea de față sintetizează munca de mai multi ani a autorului cu scopul de a studia comportarea schimbătoarelor de căldură aer-aer compacte, în construcție brazată din aluminiu, utilizate pentru răcirea aerului de supraalimentare și influența răcirii intermediare asupra motorului Diesel supraalimentat. Utilizarea răcitoarelor de apă și aer din aluminiu s-a extins atât de mult în ultimii ani încât astăzi ele reprezintă practic norma pentru autovehiculele de toate capacitățile.

Studiul cuprinde atât cercetări teoretice cât și experimentale efectuate asupra aparatului de schimb de căldură și asupra motorului. Pentru ambele direcții de cercetare s-a utilizat tehnica de calcul. Astfel, lucrarea cuprinde un număr de 14 programe originale de calcul scrise în limbaj BASIC. Cu ocazia redactării acestei lucrări, programele de calcul au fost transcrise în limbajul QBasic v.1.1 al cărui interpretor face parte din pachetul standard de software al calculatoarelor IBM PC.

7.1 Concluzii asupra cercetărilor teoretice

Cercetările teoretice efectuate în cadrul acestei lucrări se structurează pe două direcții principale:

- studiul ciclului teoretic al motorului cu aprindere prin comprimare supraalimentat, cu răcirea aerului de supraalimentare, și
- studiul comportării schimbătoarelor de căldură aer-aer utilizate ca răcitoare de aer de supraalimentare.

Studiul ciclului teoretic al ciclului efectuat pe baza unui program de calcul descris în cap. 4 permite stabilirea influenței diferiților parametri — precum raportul de comprimare ε , presiunea de supraalimentare p_s , gradul de răcire τ_R și alții — asupra motorului. Deși face o serie de simplificări care îndepărtează într-o oarecare măsură rezultatele calculului de realitate, acest studiu permite scoaterea în evidență a limitelor performanțelor motorului precum și a influenței diferiților parametri asupra proceselor termodinamice considerate.

Studiul analitic este completat de o analiză exergetică menită să aprecieze gradul de perfecțiune termodinamică a proceselor. Se constată, astfel, că pierderile de exergie raportate $\pi_{q,R}$ în răcitorul de aer cresc pe măsura intensificării răcirii, dar rămân la valori neglijabile în raport cu căldura disponibilă prin arderea combustibilului. Din acest punct de vedere randamentul exergetic al schimbătorului de căldură se dovedește o mărime

paradoxală: cu cât aparatul este mai eficient, cu atât randamentul său exergetic este mai mic. Pierderile de exergie prin laminare au valori foarte mici datorită căderilor de presiune foarte mici ce caracterizează schimbătoarele de căldură aer-aer.

Introducerea unor noi criterii de evaluare termodinamică pentru răcitoarele intermediare aer-aer, $\Delta\rho$ și $\Delta\rho_{\Delta T1}$, permite aprecierea cantitativă a răcirii aerului de supraalimentare și a efectelor acestora asupra indicilor de performanță ai motorului.

Gradientul creșterii densității relative a aerului, $\Delta\rho_{\Delta T1}$, pe lângă utilitatea sa practică, estimează în mod realist funcționarea răcitorului și influența sa asupra aerului de supraalimentare; aceasta spre deosebire de coeficientul η_p care conduce, în privința influenței temperaturii T_2' , la concluzia falsă a existenței unui η_{pmax} pentru o anumită valoare T_2' .

Cu ajutorul parametrului θ s-a demonstrat că $\Delta\rho$ este principalul criteriu de evaluare termodinamică a răcitorului, $\Delta\rho_{\Delta T1}$ și η_p putând fi deduse cu ușurință din el.

Studiul variației lui $\Delta\rho$, $\Delta\rho_{\Delta T1}$ și η_p – în domeniul în care acestea au sens fizic – pune în evidență termodinamica răcitorului intermediar, și anume eficiența ϕ și căderea de presiune $\Delta p_1/p_1$, aceasta din urmă fiind cea mai importantă. Influența căderii de presiune $\Delta p_1/p_1$, deși cu efecte neglijabile asupra presiunilor ciclului, are un efect hotărâtor asupra indicilor de evaluare termodinamică ai răcitorului și, drept urmare, asupra indicilor de performanță ai motorului.

Indicii de evaluare termodinamică nu au extreme locale în raport cu $\Delta p_1/p_1$ și ϕ , deoarece în cazul real $\Delta p_1/p_1 > 0$ și $\phi < 1$; influențele lor sunt opuse: creșterea lui ϕ conduce la creșterea valorilor indicilor, în timp ce creșterea lui $\Delta p_1/p_1$ determină scăderea lor.

Raportul temperaturilor θ , determinat de raportul de comprimare în suflantă, conduce la o creștere continuă a $\Delta\rho$ și la existența unui maximum pentru $\Delta\rho_{\Delta T1}$ și η_p , ceea ce implică existența unui domeniu optim de funcționare a ansamblului turbosuflantă-răcitor de aer.

7.2 Concluzii asupra cercetărilor experimentale

Cercetările experimentale au fost făcute cu scopul studierii schimbătorului de căldură — pe de o parte — și cu scopul studierii comportării motorului — pe de altă parte. Ele au necesitat amenajarea a trei standuri de încercare, cu o investiție de timp de cca 60 ore de proiectare și cu utilizarea a circa 48 de aparate, dispozitive și instrumente de măsură; timpul afectat măsurătorilor efective a însumat peste 170 ore.

Pe baza încercărilor efectuate pe matricile de schimbător de căldură aer-apă, din aluminiu, s-au putut determina ecuațiile $j = j(Re)$ și $c_f = c_f(Re)$ pentru cinci tipuri de suprafețe compacte de schimb de căldură cu aripi onduate sinusoidale. Relațiile sunt utile pentru calculul de proiectare al schimbătoarelor de căldură aer-aer folosind astfel de suprafețe, deoarece nu există ecuații general valabile pentru transferul termic și pentru căderile de presiune.

La încercarea răcitorului de aer, atât separat cât și ca parte componentă a agregatului motor, eficiența ϕ a depășit valoarea 0,9 iar căderile relative de presiune s-au situat sub 0,5% de partea ambelor fluide, ceea ce confirmă justetea criteriilor de dimensionare a răcitorului.

În cazul funcționării cu supraalimentare a motorului D 115, se pot stabili următoarele concluzii prin comparație cu motorul nesupraalimentat:

- la o presiunea de supraalimentare de cca 1,38 bar, ceea ce corespunde la un coeficient de supraalimentare $\pi = 1,22$, creșterea puterii efective este de cca 22%;

- densitatea aerului admis în motor crește, gradul de umplere crește puțin;

- randamentul mecanic crește, deși pierderile prin frecare cresc, deoarece lucrul mecanic de pompaj este pozitiv;

- randamentul indicat crește ușor deoarece arderea este mai completă;

- crește, prin urmare, randamentul efectiv, iar consumul specific de combustibil scade cu cca 5%;

- temperatura gazelor la evacuarea din motor crește cu cca 70°C, viteza de oxidare a particulelor de funingine crește și gradul de fum scade în medie cu cca 7%;

- căldura evacuată cu apa de răcire scade cu cca 5% cu fiecare creștere a temperaturii apei cu 10°C;

- turatia motorului scade mai lent cu puterea efectivă, după cum se poate observa din caracteristica de regulator.

În cazul introducerii răcirii aerului de supraalimentare se pot observa următoarele efecte:

- coeficientul excesului de aer crește cu cca 1%, dozajul rămânând practic constant;

- puterea efectivă crește foarte puțin (cca 1,2%), datorită îmbunătățirii condițiilor de ardere;

- gradul de fum scade, valorile absolute diminuându-se în medie cu puțin peste 2%;

- pentru fiecare scădere a temperaturii aerului cu 10°C, consumul specific efectiv scade în medie cu 0,4%, iar temperatura gazelor la evacuare scade cu cca 22°C. Aceste valori concordă, în general, cu datele din literatura de specialitate:

- pierderile de căldură nu sporesc, introducerea răcirii aerului modificând doar distribuția acestora.

În toate cazurile $(CO)_f \leq 0,2\%$ iar gradul de fum se situează cu mult sub limita de 65% specificată pentru motoare cu puteri sub 50CP [15].

7.3 Propuneri

Cercetările teoretice au arătat că rezultatele calculelor efectuate pornind de la anumite date concrete sunt transmisibile și altor tipuri de motoare. În acest sens prezintă un interes deosebit studierea aplicabilității răcirii cu aer a aerului de supraalimentare la motoarele Diesel produse în țară.

Deși studiile teoretice și cercetările experimentale au pus în evidență mai ales efectele scăderii temperaturii aerului de supraalimentare, din punct de vedere industrial au importantă și alte caracteristici ale instalației de răcire, cum ar fi: tipul schimbătoarelor de căldură, dimensiuni de gabarit, greutate specifică, materialul folosit, tehnologia de fabricație, durabilitate, etc. De aceea cercetările trebuie continuate și în direcția gășirii de noi tipuri constructive de elemente de schimbătoare de căldură, cu calități superioare celor realizate până în prezent.

Se pot aduce, de asemenea, contribuții prin studiul posibilității de utilizare a schimbătoarelor de căldură în contracurent pentru răcirea aerului de supraalimentare.

7.4 Efecte economice

Răcirea aerului admis într-un motor Diesel supraalimentat produce o îmbunătățire a umplerii cilindrului și o scădere a nivelului temperaturilor ciclului. Corespunzător, scade consumul specific de combustibil și încărcarea termică. Aceasta permite, la menținerea neschimbată a limitei de încărcare a motorului, un grad de supraalimentare substanțial mai înalt. Răcirea aerului devine astfel mijlocul cel mai eficient și mai ieftin pentru majorarea puterii motoarelor supraalimentate. La aceasta se mai adaugă și influența favorabilă a răcirii aerului de supraalimentare asupra noxelor poluante din gazele evacuate.

Pentru supraalimentarea de joasă presiune, cea mai eficientă metodă de răcire este cea cu aer, acesta fiind mediul cu temperatura cea mai joasă. Luând în considerare cazul unui motor de tip D 115, pentru care se admite o durată de funcționare de 5000 h cu un consum mediu de 8 l/h, dacă economia de combustibil realizată prin răcirea aerului de

supraalimentare este de numai 2 %, se obtine – considerând pretul motorinei pe piata europeană la 1 US\$/l – o economie de 800 US\$, ceea ce acoperă cu prisosință pretul unei turbosuflante și al unui schimbător de căldură.

Bibliografie

1. Abăitancei, D. *Motoare pentru automobile si tractoare*. Vol. II, Bucuresti, Editura tehnică, 1980.
2. Anderson, V. si McLean, R. *Design of Experiments. A Realistic Approach*. Dekker, 1974.
3. Asavineii, I. si Niculescu, C. *Ghid pentru utilizarea termocuplurilor în măsurări industriale*. Bucuresti, Editura tehnică, 1981.
4. Bacon, D. H. *BASIC Thermodynamics and Heat Transfer*. London, Butterworths, 1986.
5. Bejan, A. *Heat transfer*. Wiley & Sons, Inc., New York, 1993.
6. Bernard, I. *Handbook of Flowmetering*. Elsevier, 1988.
7. Benedict, R. *Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements*. Third Edition. Wiley & Sons, Inc., New York, 1984.
8. Berindean, V. *Motoare cu ardere internă. Lucrări de laborator*. Institutul politehnic „Traian Vuia“ Timisoara, 1981.
9. Berindean, V. *Procese, caracteristici si supraalimentarea motoarelor cu ardere internă. Partea a II-a*. Institutul politehnic „Traian Vuia“ Timisoara, 1979.
10. Brun, R. *Science et technique du moteur Diesel industriel et de transport*. Tome I, Paris, Sociétés Editions Technip, 1976.
11. Burton, J. *Pratique de la mesure et du contrôle dans l'industrie*. Tome II, Paris, Dunod, 1966.
12. Carabogdan, I. Gh. s.a. *Metode de analiză a proceselor si sistemelor termoenergetice*. Editura tehnică, Bucuresti, 1989.
13. Dally, J. s.a. *Instrumentation for Engineering Measurements*. Second Edition. Wiley & Sons, Inc., New York, 1993.
14. Erokhin, V. G. si Makhariko, M. G. *Problems on Fundamentals of Hydraulics and Heat Engineering*. (Translated from Russian), Moscow, Mir Publishers, 1986.
15. Grünwald, B. *Teoria, calculul si constructia motoarelor pentru autovehicule rutiere*. Editia 2, Bucuresti, Editura didactică si pedagogică, 1980.
16. Herzfeld, C. si Brickwedde, F. G. *Temperature – Its Measurement And Control in Science and Industry*. Vol. 3, Part 1, Reinhold, New York, 1962.
17. Hicks, C. R. *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*. New York, 1966.
18. Kakak, A. E., Bergles, A. E. si Mayinger, F. *Heat Exchangers: Thermal-Hydraulic Fundamentals and Design*. Hemisphere, Washington, DC, 1981.
19. Kays, W. M. si London, A. L. *Compact Heat Exchangers*. Editia a 3-a, McGraw-Hill, New York, 1985.
20. Larionescu, D. *Metode numerice*. Bucuresti, Editura tehnică, 1989.
21. Marinescu, Gh., Rizoli, I. s.a. *Probleme de analiză numerică rezolvate cu calculatorul*. Bucuresti, Editura Academiei RSR, 1987.
22. McAdams, W. H. *Transmission de la chaleur*. (traduit de l'anglais). Deuxième édition. Paris, Dunod, 1961.

23. M o n t g o m e r y, D. C. *Design and Analysis of Experiments*. Third Edition. Wiley & Sons, Inc., New York, 1991.
24. N e g r e a, V. D. *Bazele cercetării experimentale a masinilor termice*. Institutul politehnic „Traian Vuia“ Timisoara, 1981.
25. N e r e s c u, I. si R a d c e n c o, V. *Analiza exergetică a proceselor termice*. Bucuresti, Editura tehnică, 1970.
26. N i c h o l a s, J. si W h i t e, D. *Traceable Temperatures. An Introduction to Temperature Measurement and Calibration*. Wiley & Sons, Inc., New York, 1994.
27. P o p a, B., T h e i l, H., si M ä d ä r ä s a n, T. *Schimbătoare de căldură industriale*. Bucuresti, Editura tehnică, 1977.
28. R a d c e n c o, V. *Termodinamică tehnică si masini termice. Procese ireversibile*. Bucuresti, Editura didactică si pedagogică, 1976.
29. R a d c e n c o, V. *Criterii de optimizare a proceselor termice (ireversibile)*. Bucuresti, Editura tehnică, 1977.
30. R a i c a, T. *Constructia si calculul motoarelor cu ardere internă*. Institutul politehnic „Traian Vuia“ Timisoara, 1984.
31. R u m s i s k i, L. Z. *Prelucrarea matematică a datelor experimentale* (trad. din limba rusă). Bucuresti, Editura tehnică, 1974.
32. T i r o n, M. *Teoria erorilor de măsurare si metoda celor mai mici pătrate*. Bucuresti, Editura tehnică, 1972.
33. T ö l l e, H. *Măsurări în instalatiile termice* (trad. din limba germană, adaptată). Bucuresti, Editura tehnică, 1972.
34. T u z u, C., si M o t o i u, C. *Motoare Diesel*. Editia 5, Bucuresti, Editura tehnică, 1971.
35. V a s i l e s c u, C. A. si P i m s n e r, V. *Supraalimentarea motoarelor Diesel*. Bucuresti, Editura tehnică, 1965.
36. W a d s w o r t h, H. M. *Handbook of Statistical Methods for Engineers and Scientists*. McGraw-Hill, New York, 1990.
37. Z i n n e r, K. *Aufladung von Verbrennungsmotoren. Grundlagen, Berechnungen, Ausführungen*. Dritte Auflage, Berlin, Springer-Verlag, 1985.
38. * * * *The Heat Transfer Problem Solver*. New York, R.E.A., 1986.
39. * * * *Manualul inginerului «Hütte»*. Bucuresti, Editura tehnică, 1951, p. 1082.
40. V.D.I.-Wärmeatlas. 4.Auflage, 1984, Gb5.
41. B a h r, A. *Fahrzeug-Dieselmotoren mit Abgas-Turboladern auf der IAA 79*. In: M.T.Z., **29**, 9, 1979, p. 606-611.
42. B a h r, A. *Vorbericht zur 48. Internationalen Automobil-Ausstellung in Frankfurt/Main, 13. bis 23. September 1979*. In: M.T.Z., **40**, 9, 1979, p. 403.
43. B e r i n d e a n, V. si R ä d u l e s c u, L. *Contributions to the study of the performances of a supercharged high-speed C.I. engine equipped with an intercooler*. MS, 1993.
44. B e r i n d e a n, V. si R ä d u l e s c u, L. *Contributions to the establishment of the criteria of thermodynamic evaluation for the intercoolers of the C.I. engines*. In: Revue Roumaine des Sciences Techniques, Série Electrotechnique et Energétique, **38**, 3, 1993, p. 429-436.

45. Berindean, V. si Rădulescu, L. *Contributii la stabilirea influentei căderii de presiune în răcitor a aerului admis în motorasupra indicilor de evaluare termodinamică a răcitorului*. Consfătuirea tehnico-stiințifică „Motoare cu consumuri specifice de combustibil reduse si utilizarea combustibililor grei si neconventionali”, Bucuresti, 5-6 Octombrie 1989.
46. Brandstetter, W. si Dzigell, R. *Ein Vierzylinder Turbodieselmotor mit Ladeluftkühlung für Volkswagen und Audi*. In: M.T.Z., **47**, 10, 1986, p.400.
47. Brandstetter, W., Koch, H. si Müller, E. *Der 2-Liter-Turbodieselmotor mit Ladeluftkühlung für den Audi 100*. In: M.T.Z., **49**, 9, 1988, p. 341-343.
48. Claydon, D. G. W. si Sugihara, A. *Brazing aluminum automotive heat exchanger assemblies using a non-corrosive flux process*. In: SAE Paper No. 870180, 1987.
49. Gaschler, E. *Der Dreizylinder-Turbodieselmotor des VW-Forschungsautos*. In: M.T.Z., **43**, 2, 1982, p. 83.
50. Helmich, M. J. *Development of combustion air refrigeration system enabling reliable operation at 220 psi BMEP for a large four-cycle spark ignited gas engine*. In: CIMAC, 1965, B2, p. 637-670.
51. Hripin, Iu. N. *Rascet dinamiceskikh karakteristik vozduhoohladietelia kak objekta s sosredotocennimi parametrami*. In: Dvigatellestrojenie, **111**, 3, 1988, p. 31-32.
52. Ivanov, P. V. si Gerasimov, O. M. *Injenernii metod rasceta ohladitelei naddyvocinogo vozduha Dizelei*. In: Dvigatellestrojenie, **10**, 1988, p. 8-10.
53. Jenz, S., Wallner, R. si Wilken, H. *Le refroidissement de l'air d'admission dans le véhicule*. In: Ingénieurs de l'Automobile, **4**, pag. 77-81, 1982.
54. Kargilis, A. *Design and development of automotive engine cooling systems*. U.C.C.E. Seminar, Troy MI, 21-22 martie 1996.
55. Lazarev, E. A. *Effektivnosti nekotorih sposobov ohlajdenia i tipov ohladitelei hadduvocinogo vozduha v Dizele*. In: Dvigatellestrojenie, **7**, 1989, p. 28-29, 59.
56. Leistra, G. F. L. *Die Kompressionskältemaschine als Mittel zur Zusatzkühlung eines aufgeladenen Viertakt-Dieselmotors*. In: M.T.Z., **29**, 9, 1968, p. 379.
57. Moshentsev, Iu. L. si Ivanov, N. L. *Calculation of air-to-air coolers for internal combustion engine charge air*. In: Dvigatellestrojenie, **10**, 1986, p. 24-25, 37.
58. Nikolajev, Yu. A. *Calculation of the heat exchange apparatus system of a small mass*. In: Dvigatellestrojenie, **10**, 1986, p. 20-23.
59. Passini, S. *Il Quadrifoglio ha messo il turbo*. In: AutoCapital, **2**, febr. 1986, p. 6-14.
60. Pickert, H. si Schulmeister, R. *Massnahmen zur Gestaltung von Hochleistung Dieselmotorenanlagen, insbesondere deren Kühlanlagen*. In M.T.Z., **34**, 10, p. 347-348.
61. Radcenco, V. s.a. *Un model de ciclu pentru studiul optimizării performanțelor motoarelor cu aprindere prin comprimare supraalimentate*. In: Buletinul Institutului politehnic „Gheorghe Gheorghiu-Dej” Bucuresti. tomul XXXIII, nr.4, iulie-august, 1971, p.73-92.

62. R a d c e n c o, V. s.a. *Determinarea performanțelor ciclurilor motoarelor supraalimentate cu ajutorul masinilor numerice de calcul*. In: Buletinul Institutului politehnic „Gheorghe Gheorghiu-Dej” București, tomul XXXIII, nr.5, septembrie-octombrie, 1971, p.79-90.
63. R ă d u l e s c u, L. *Stadiul actual al cercetării răcirii aerului de supraalimentare la motoarele cu aprindere prin comprimare în patru timpi*. Referat I, Institutul politehnic „Traian Vuia” Timisoara, 1984.
64. R ă d u l e s c u, L. *Studiul teoretic al răcirii aerului de supraalimentare la motoarele cu aprindere prin comprimare în patru timpi*. Referat II, Institutul politehnic „Traian Vuia” Timisoara, 1984, p. 41-50.
65. R ă d u l e s c u, L. *Considerations concerning the theoretical study of the intercooling influence on the thermal and gasodynamic process in the turbocharged C.I. engines*. In: Buletinul Stiintific si Tehnic al Universității Tehnice din Timisoara, Seria Mecanică, **38**, 52, Fascicola 1-2, ianuarie-decembrie 1993, p. 62-71.
66. R ă d u l e s c u, L. si B e r i n d e a n, V. *Cercetări experimentale ale reducerii gradului de fum prin răcirea aerului de supraalimentare*. Zilele Academice Timisene, Editia III, Timisoara, 20-22 mai 1993.
67. R ă d u l e s c u, L., L a z a, I. si P o p a, M. *Contributii la proiectarea asistată de calculator a schimbătoarelor de căldură cu suprafețe extinse*. Sesiunea de comunicări științifice „Tehnic 2000”, Timisoara, 15-15 mai 1987.
68. R ă d u l e s c u, L., N a g i, M. si L a z a, I. *Cercetări privind performanțele termice si aerodinamice ale unor suprafețe de schimb de căldură cu plăci aripate*. Simpozionul „Modelarea numerică a proceselor termice”, București, 15-16 noiembrie 1990.
69. R a d u l e s c u, L., si L a z a, I. *Contributii la studiul comparativ al unor ecuații criteriale pentru schimbul de căldură convectiv la curgerea turbulentă în interiorul tevilor*. Prima Conferință Națională de Termotehnică, Societatea Română a Termotehnicienilor, București, 24-25 mai, 1991.
70. R e i m o l d, H. W. *Bauarten und Berechnung von Ladeluftkühler für Otto- und Dieselmotoren*. In: M.T.Z., **4**, 1986, p. 151-152, 155-157.
71. R e u l e i n, H. *Einfluß der Turbokühkung und des Miller-Verfahrens auf die Leistung von Angeladenen Gasmotoren*. In: M.T.Z., **31**, **1**, 1970, p. 1-10.
72. R i c h e s o n, D. A., P e a r c e, J. F. si H i n k l e, S. J. *Application of air-to-air charge cooling to the two-stroke cycle diesel engine*. In: SAE Techn. Pap. Ser. 1985, No. 850317, p. 67-85.
73. S t a d l e r, H. *Weiterentwicklung eine Baureihe mittelschnellaufender Dieselmotoren der Klockner-Humboldt-Deutz A.G.*. In: M.T.Z., **40**, **1**, 1979, p. 25-34.
74. T h e i l, H. *Vergleichende Betrachtungen über die Wärmetechnischen Berechnungsmethoden von Wärmeaustauschern*. In: Buletinul Stiintific si Tehnic al Institutului politehnic „Traian Vuia” Timisoara, Seria Mecanică, **27**, **41**, 1982, p. 23-30.
75. T h e i l, H., B e j a n, I. si N e a c s u, E. *Transmiterea căldurii prin convecție pentru unele tipuri de suprafețe cu nervuri*. In: Buletinul Stiintific si Tehnic al Institutului politehnic „Traian Vuia” Timisoara, Seria Mecanică, 1977, p. 33-42.

76. Theil, H., s.a. *Cercetări privind performanțele termice și fluidodinamice ale unor suprafețe de schimb de căldură extinse prin aripăre.* „Universul tehnic și viitorul în construcția de mașini” - Simpozion, Timisoara, 5-6 mai 1988.
77. Tholen, P. și Streicher, K. *Neue Erkenntnisse bei der Entwicklung luftgekühlter Dieselmotoren unter besonderer Berücksichtigung der Umweltbelastung.* In: M.T.Z., **34**, 8, 1973, p. 263-264.
78. Vasilescu, C. A. *Unele probleme ridicate de procesele energetice din motoarele Diesel înalt supraalimentate.* Studii și Cercetări de Energetică și Electrotehnică, **19**, 2, p. 255-256.
79. Vlădeș, I., Theil, H. și Neiss, F. *Wärmeaustauscher mit Flachrohren und durchlaufenden Rippen.* The 4th International Heat Transfer Conference, Versailles, September 1970.
80. Wadman, B. *Mack accentuates progress with air-to-air intercooled 300 series Maxidyne Diesel.* In: Diesel and Gas Turbine Progress, iunie 1973, p. 15-17.
81. Wilde, K. *MTU-396-Motoren mit Mischkreis-Ladeluftkühlung.* In: M.T.Z., **51**, 5, 1990, p. 220-222.
82. Zender, G. și Meier, E. *Abgasturbolader und Aufladesysteme.* In: VDI-Z, **22**, 1977, p. 1081-1093.
83. Zinner, K. *Der Dieselmotor in den achtziger Jahren.* In: M.T.Z., **40**, 2, 1970, p. 7-12.
84. Zinner, K. *Der Einfluss der Ladeluftkühlung auf die Leistung aufgeladener Viertakt-Dieselmotoren bei veränderlichen Aussenbedingungen.* In: M.T.Z., **20**, 6, 1959, p. 169-172.
85. Zinner, K. și Reulein, H. *Thermodynamische Untersuchungen über die Anwendbarkeit der Turbokühlung bei aufgeladenen Viertakt-Dieselmotoren.* In: M.T.Z., **25**, 5, 1964, p. 188-195.
86. Zinner, K. *Einige Ergebnisse realer Kreisprozessrechnungen über die Beeinflussmöglichkeit des Wirkungsgrades von Dieselmotoren.* In: M.T.Z., **31**, 6, 1970, p. 243-254.
87. Zurner, H. *Entwicklung von aufgeladenen M.A.N.-Fahrzeug-Dieselmotoren in Sechszylinder-Reichenbauart.* In: M.T.Z., **40**, 2, 1980, p. 41-46.
88. * * * *Der Dreizylinder Turbodieselmotor der VW Forschungsautos.* In: M.T.Z., **43**, 2, 1982, p. 83-84.
89. * * * *Mehr Leistung durch Ladeluftkühler in Audi-Motoren.* In: M.T.Z., **49**, 12, 1988.
90. * * * *Perkins-Phaser Motor 210 Ti mit mehr Leistung.* In: M.T.Z., **51**, 7/8, 1990, p. 327.
91. * * * *Reference file: liquid flowmeters.* In: Plant Engineering, 21 noiembrie 1984, p. 5.
92. * * * *Turbodiesel für Fiat-Ritmo.* In: M.T.Z., **47**, 10, 1986, p. 439.
93. STAS 6635-82 *Motoare cu ardere internă pentru vehicule rutiere și tractoare agricole. Reguli și metode de încercare pe bancă.*
94. STAS 7347/1-83 *Determinarea debitelor fluidelor în sisteme de curgere sub presiune. Metoda micșorării locale a secțiunii de curgere. Măsurarea cu diafragme și ajutaje.*

95. STAS 8421-82 *Termocupluri tehnice. Conditii tehnice generale de calitate.*
96. STAS R 12091-82 *Măsurarea debitelor fluidelor. Calculul erorii limită de măsurare a debitelor.*

Notiță autobiografică

- 1951** - născut la 20 august în orașul Câmpina, județul Prahova.
- 1970** - absolvent al Liceului nr. 2 „Nikolaus Lenau” din Timișoara.
- 1975** - absolvent al Facultății de Mecanică din Timișoara, secția Mașini Termice.
- 1975 - 1979** - inginer stagiar la T.M.U.Ch.B. - Grup Șantiere Ploiești (șantierul Combinatului Petrochimic Brazi) și apoi Grup Șantiere Arad (șantierul Combinatului Petrochimic „Solvantul” Timișoara).
- 1979 - 1993** - asistent universitar și apoi șef de lucrări la Catedra de Termotehnică și Mașini Termice a Facultății de Mecanică din Timișoara. Discipline: Termotehnică, Generatoare de abur, Turbine cu abur și cu gaze.
- 1993** - emigrat în Canada.
- 1994 - 1996** - inginer proiectant la Valeo Engine Cooling, Ltd. - fabrică de radiatoare pentru autovehicule în Stratford, Ontario.
- din 1996** - inginer de produs la Allied Signal Automotive, Ltd. - fabrică de filtre pentru autovehicule în Stratford, Ontario.

REM Program CITMACS1.BAS

```
LPRINT CHR$(27); CHR$(69);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(107); CHR$(50); CHR$(83); : ' Pitch: compressed
LPRINT CHR$(27); CHR$(40); CHR$(115); "9"; CHR$(86);
WIDTH LPRINT 177
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(48); CHR$(79); : ' Orientation: Portrait
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "62"; CHR$(80);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "10"; CHR$(69);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(97); "20"; CHR$(76);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(56); CHR$(68);
```

```
14 CLS : PRINT " Calculul ciclului pentru qa=const.": PRINT
15 LPRINT " CALCULUL CICLULUI M.A.C. PENTRU qa=const": LPRINT
17 LPRINT " Date initiale:"
18 READ rc, ps, py, ea, cb, rs, rt, za, ze, z1, z2, z3, aa
22 LPRINT "Raportul de comprimare nominal [-]:"; TAB(55); rc
26 LPRINT "Presiunea de supraalimentare [bar]:"; TAB(55); ps
30 LPRINT "Presiunea maxima de ardere [bar]:"; TAB(55); py
34 LPRINT "Coeficientul de baleiaj [-]:"; TAB(55); cb
38 LPRINT "Randamentul suflantei [-]:"; TAB(55); rs
42 LPRINT "Randamentul turbinei [-]:"; TAB(55); rt
46 LPRINT "Coeficientii pierderilor relative de presiune (C.p.r.p.):": LPRINT " C.p.r.p. la admisia in motor [-
50 LPRINT " C.p.r.p. la evacuarea din mot. [-]:"; TAB(55); ze
54 LPRINT " C.p.r.p. la aspiratia in sufl. [-]:"; TAB(55); z1
58 LPRINT " C.p.r.p. in racitorul suflantei [-]:"; TAB(55); z2
62 LPRINT " C.p.r.p. la evacuare din turbina [-]:"; TAB(55); z3
66 LPRINT "Raportul temperaturilor la admisia in cilindru [-]:"; TAB(55); aa
70 ps = "###.###": ts = "###.##"
75 p0 = 1; T0 = 298; Lm = 14.7; Hi = 41.45; R = 287
78 joker = 1
97 LPRINT "Presiunea ambienta [bar]:"; p0
102 LPRINT "Temperatura ambienta [K]:"; T0
107 LPRINT "Hi combustibil [MJ/kg]:"; Hi
112 LPRINT "Aer minim neces. [kg/kg]:"; Lm
115 FOR x = 0 TO 1.05 STEP .1: ar = x
117 PRINT : PRINT TAB(10); "Gradul de racire =": USING "#.#": x
118 PRINT TAB(9); STRING$(24, " "): PRINT
120 LPRINT : LPRINT TAB(10); "Gradul de racire =": USING "#.#": x
122 LPRINT TAB(9); STRING$(24, " "): LPRINT
125 p1 = (1 - z1) * p0
130 p2 = (1 - z2) * ps
135 p3 = p0 / (1 - z3)
140 pa = (1 - za) * p2
145 x0 = 350
150 k0 = 1.434 - (T0 + x0) / 20000
155 Ts = T0 * (1 + ((ps / p1) ^ ((k0 - 1) / k0) - 1) / rs)
160 IF ABS(Ts - x0) <= 2 THEN 170
165 x0 = Ts: GOTO 150
170 T2 = T0 * ar + (1 - ar) * Ts
175 d2 = p2 / (R * T2) * 100000
180 Ta = aa * T2
185 x1 = 1000
190 ka = 1.434 - (Ta + x1) / 20000
195 Tc = Ta * rc ^ (ka - 1)
200 IF ABS(Tc - x1) <= 2 THEN 210
205 x1 = Tc: GOTO 190
210 pc = pa * rc ^ ka
215 rp = py / (pa * rc ^ ka)
220 Ty = rp * Tc
225 w = .25: REM Se adopta w=pr/pd=0.25
230 kd = 1.3
235 cu = (1 - za) / aa * (rc - w ^ (1 / kd)) / (rc - 1)
237 IF joker > 1 THEN 242
```

```

240 qa = cu * d2 * Hi / (ea * Lm)
242 ea = cu * d2 * Hi / (qa * Lm)
245 x3 = 2230
250 kc = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Tc + x3)
255 rv = 1 + (kc - 1) * (rc - 1) * qa / (kc * py / 10) - (rp - 1) / (kc * rp)
260 Tz = rv * Ty
265 IF ABS(Tz - x3) <= 2 THEN 275
270 x3 = Tz: GOTO 250
275 x4 = 1200
280 kz = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Tz + x4)
285 Td = Tz / (rc / rv) ^ (kz - 1)
290 IF ABS(Td - x4) <= 2 THEN 300
295 x4 = Td: GOTO 280
300 pd = py / (rc / rv) ^ kz
305 Tr = Td * w ^ ((kd - 1) / kd)
310 pr = pd * w
315 x5 = 900
320 kf = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Td + x5)
325 Te = Td * (1 + (kf * (rc - 1) / rc - 1) * w) / (kf * (1 - (1 / rc) * w ^ (1 / kf)))
330 IF ABS(Te - x5) <= 2 THEN 340
335 x5 = Te: GOTO 320
340 gr = w ^ (1 / kf) / rc
345 Tb = Ta * (1.403 * (cb / aa * (1 - gr) - 1) + 1 / rc * (1.403 + pr / pa - 1)) / (1.4 * (cb - 1) * (1 - gr))
350 Tt = ((cb - 1) * Tb + Te) / cb
355 x6 = 790
360 kt = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Tt + x6)
365 pt = p3 / (1 - T0 / Tt * ((ps / p1) ^ ((1.403 - 1) / 1.403) - 1) / (rs * rt) * 1.403 * (kt - 1) / (kt * (1.403 - 1)))
370 T3 = Tt * (1 - rt * (1 - (p3 / pt) ^ ((kt - 1) / kt)))
375 IF ABS(T3 - x6) <= 2 THEN 385
380 x6 = T3: GOTO 360
385 xp = pt / (1 - ze)
390 IF ABS(xp - pr) <= .01 THEN 400
395 pr = xp: w = pr / pd: GOTO 235
400 x2 = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Tr + Td)
405 IF ABS(kd - x2) <= .005 THEN 416
410 kd = x2: GOTO 235
416 LPRINT "Parametrii ciclului teoretic:"
419 LPRINT : LPRINT "LAMBDA =": USING p$: ea:
422 LPRINT TAB(22): "p1 [bar] =": USING p$: p1:
427 LPRINT TAB(44): "Ts [K] =": USING t$: Ts
432 LPRINT "p2 [bar] =": USING p$: p2:
437 LPRINT TAB(22): "T2 [K] =": USING t$: T2: : LPRINT TAB(44): "d2 [kg/m3] =": USING p$: d2
442 LPRINT "pa [bar] =": USING p$: pa: : LPRINT TAB(22): "Ta [K] =": USING t$: Ta: : LPRINT TAB(44): "Tb [K] =":
447 LPRINT TAB(22): "pc [bar] =": USING p$: pc: : LPRINT TAB(44): "Tc [K] =": USING t$: Tc
452 LPRINT "Ty [K] =": USING t$: Ty:
457 LPRINT TAB(22): "Tz [-] =": USING t$: Tz: : LPRINT TAB(44): "qar [MJ/m3] =": USING p$: qa
462 LPRINT "pd [bar] =": USING p$: pd: : LPRINT TAB(22): "Td [K] =": USING t$: Td:
467 LPRINT TAB(44): "pr [bar] =": USING p$: pr: LPRINT "Tr [K] =": USING t$: Tr: : LPRINT TAB(22): "gr [-] =": US
472 LPRINT TAB(44): "pt [bar] =": USING p$: pt: LPRINT "Tt [K] =": USING t$: Tt:
477 LPRINT TAB(22): "p3 [bar] =": USING p$: ps: : LPRINT TAB(44): "T3 [K] =": USING t$: T3
480 Ly = pa * rc ^ ka / (rc - 1) * rp * (rv - 1)
485 Lz = pa * rc ^ ka / (rc - 1) * rp * rv * (1 - (rv / rc) ^ (kz - 1)) / (kz - 1)
490 La = pa
495 Lc = pa * rc ^ ka / (rc - 1) * (1 - rc ^ (1 - ka)) / (ka - 1)
500 Lr = pr
505 pm = Ly + Lz + La - Lc - Lr
512 LPRINT "pm [bar] =": USING p$: pm
515 :
520 Rh = pm / (10 * qa) * 100
527 LPRINT "Randamentul termic [%] =": USING "##.##": Rh
532 LPRINT "Calculul pierderilor prin ireversibilitate:"
535 ba = (1 + ea * Lm) * R * T0 * LOG(rp * rv ^ kc) / ((kc - 1) * 10000 * Hi)
540 ` Introducem notatiile "Wx" si "Wy" conform liniilor [545] si [550]
545 Wx = cb * ea * Lm * R * T0
550 Wy = (1 + cb * ea * Lm) * R * T0

```

```

555 bb = Wx / T0 * k0 / (k0 - 1) * (Ts - T2 - T0 * LOG(Ts / T2)) / (10000 * Hi)
560 ke = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (T3 + T0)
565 bc = Wy * ke / (ke - 1) * (T3 / T0 - 1 - LOG(T3 / T0)) / (10000 * Hi)
570 bd = Wx * (k0 / (k0 - 1) * LOG(Ts / T0) - LOG(ps / p1)) / (10000 * Hi)
575 be = Wy * (LOG(pt / p3) - kt / (kt - 1) * LOG(Tt / T3)) / (10000 * Hi)
580 bf = Wx * 1.403 / (1.403 - 1) * LOG(Ta / T2) / (10000 * Hi)
585 kr = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Te + Tr)
590 bg = Wy * kr / (kr - 1) * LOG(Te / Tr) / (10000 * Hi)
595 kb = 1.434 - (Tt + Tb) / 20000
600 kv = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Tt + Te)
605 bh = R * T0 * ((cb - 1) * ea * Lm * kb * (kb - 1) * LOG(Tt / Tb) - (1 + ea * Lm) * kv * (kv - 1) * LOG(Te / T
610 bi = Wx * LOG(1 / (1 - z1)) / (10000 * Hi)
615 bj = Wx * LOG(1 / (1 - z2)) / (10000 * Hi)
620 bk = Wx * LOG(1 / (1 - za)) / (10000 * Hi)
625 bl = Wy * LOG(1 / (1 - ze)) / (10000 * Hi)
630 bm = Wy * LOG(1 / (1 - z3)) / (10000 * Hi)
637 LPRINT "PIr.ar [%] =": USING "##.##": ba:
642 LPRINT TAB(22): "PIqR [%] =": USING "#.####": bb:
647 LPRINT TAB(44): "PIqeT [%] =": USING "##.##": bc
652 LPRINT "PIrS [%] =": USING "#.####": bd:
657 LPRINT TAB(22): "PIrT [%] =": USING "#.####": be:
662 LPRINT TAB(44): "PIr.ba [%] =": USING "#.####": bf
667 LPRINT "PIr.e [%] =": USING "#.####": bg:
682 LPRINT TAB(22): "PIr.eb [%] =": USING "#.####": bh:
687 LPRINT TAB(44): "PIl.as [%] =": USING "#.####": bi
692 LPRINT "PIr [%] =": USING "#.####": bj:
697 LPRINT TAB(22): "PIl.aM [%] =": USING "#.####": bk:
702 LPRINT TAB(44): "PIl.eM [%] =": USING "#.####": bl
707 LPRINT "PIl.eT [%] =": USING "#.####": bm
710 rd = 100 - (ba + bb + bc + bd + be + bf + bg + bh + bi + bj + bk + bl + bm)
717 LPRINT "Randamentul termic (verificare) [%] =": USING "##.##": rd
720 er = 100 - ba
727 LPRINT "Randamentele exergetice:": LPRINT "ETAe.ar [%] =": USING "##.##": er
730 ec = rd / er * 100
737 LPRINT "ETAe.cl [%] =": USING "##.##": ec
740 qt = Wy * ke / (ke - 1) * (T3 / T0 - 1) / (10000 * Hi)
745 qr = Wx / T0 * k0 / (k0 - 1) * (Ts - T2) / (10000 * Hi)
752 LPRINT "Caldura cedata mediului ambiant:":
760 q0 = qt + qr
777 LPRINT "q eT [%] =": USING "##.##": qt
782 LPRINT "qR [%] =": USING "#.####": qr
790 rn = 100 - q0
797 LPRINT "Randamentul termic (verificare) [%] =": USING "##.##": rn
800 c = 360000 / (Hi * rd)
807 LPRINT "Consumul specific de combustibil: c [g/kWh] =": USING "###.#": c: LPRINT
808 joker = joker + 1
NEXT x
END

900 DATA 17, 1.38, 105, 1.8, 1.1, 0.75, 0.83, 0.02, 0.05, 0.01, 0.002, 0.01, 1.05

REM Originalul scris în BASIC pentru microcalculatorul PRAE 1000 (1984)
REM Versiunea actuală transcrisă în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1996)

```


Tab. A1. Calculul ciclului pentru mc = const.

Parametrul	UM	τ_R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
λ	-	1.600	1.621	1.643	1.665	1.688	1.712	1.736	1.761	1.786	1.812	1.839
ρ_1	csr	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990
T_s	K	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7
ρ_2	csr	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377
T_z	K	337.7	333.7	329.6	325.6	321.6	317.9	313.9	309.9	305.9	302.0	298.0
ρ_2	kg/m ³	1.421	1.438	1.455	1.473	1.491	1.510	1.529	1.548	1.569	1.590	1.610
ρ_a	csr	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350
T_0	K	354.6	350.4	346.3	342.1	337.9	333.8	329.6	325.4	321.2	317.0	312.9
T_b	K	292.4	289.3	286.1	282.8	279.5	276.2	273.0	269.7	266.4	263.1	259.9
η_v	-	0.9689	0.9688	0.9687	0.9687	0.9686	0.9686	0.9686	0.9685	0.9684	0.9683	0.9683
ρ_c	csr	64.965	64.930	64.894	64.858	64.821	64.784	64.747	64.710	64.673	64.636	64.599
T_c	K	1001.2	991.2	981.1	971.0	961.0	951.0	941.0	931.2	921.1	911.0	900.8
T_y	K	1622.7	1603.6	1584.6	1565.5	1546.4	1527.3	1508.1	1489.1	1470.1	1451.0	1431.9
T_z	K	2302.7	2279.7	2256.4	2233.4	2210.2	2186.9	2163.6	2140.3	2116.8	2093.4	2069.8
q_{or}	M ² /m ³	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157
ρ_d	csr	4.395	4.400	4.402	4.404	4.407	4.409	4.411	4.413	4.415	4.417	4.419
T_d	K	1165.5	1143.5	1121.3	1100.0	1078.3	1057.0	1035.0	1014.0	993.0	972.0	951.0
ρ_r	csr	1.254	1.290	1.293	1.297	1.300	1.303	1.307	1.310	1.314	1.318	1.322
T_r	K	664.1	654.5	644.4	634.4	624.4	614.3	604.3	594.3	584.2	574.0	564.1
q_r	-	0.02397	0.02395	0.02393	0.02391	0.02389	0.02387	0.02385	0.02383	0.02381	0.02379	0.02377
ρ_l	csr	1.232	1.232	1.232	1.231	1.231	1.231	1.231	1.231	1.231	1.231	1.231
T_t	K	926.2	894.7	864.1	833.6	803.1	772.6	742.1	711.4	680.8	650.1	619.6
ρ_3	csr	1.387	1.387	1.387	1.387	1.387	1.387	1.387	1.387	1.387	1.387	1.387
T_3	K	671.5	661.0	650.3	639.7	629.1	618.4	607.7	597.1	586.4	575.7	565.0
ρ_m	csr	12.387	12.397	12.410	12.424	12.439	12.454	12.468	12.483	12.498	12.513	12.528
η_l	η	67.43	67.43	67.64	67.61	67.63	67.74	67.83	67.91	67.99	68.07	68.15
$\pi_{ir,or}$	η	19.88	19.23	19.22	19.41	19.60	19.79	19.99	20.20	20.41	20.61	20.81
$\pi_{q,R}$	η	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$\pi_{q,eI}$	η	19.87	19.43	19.24	19.69	19.87	19.89	19.99	20.09	20.19	20.29	20.38
$\pi_{ir,S}$	η	0.6293	0.6320	0.6340	0.6370	0.6390	0.6420	0.6450	0.6480	0.6510	0.6540	0.6570
$\pi_{ir,I}$	η	0.2030	0.2078	0.2128	0.2181	0.2236	0.2292	0.2349	0.2410	0.2473	0.2540	0.2610
$\pi_{ir,bo}$	η	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
$\pi_{ir,e}$	η	2.6842	2.6990	2.7020	2.7060	2.7110	2.7160	2.7210	2.7260	2.7310	2.7370	2.7430
$\pi_{ir,eb}$	η	0.1632	0.1655	0.1689	0.1739	0.1799	0.1870	0.1950	0.2040	0.2140	0.2250	0.2370
$\pi_{l,os}$	η	0.0604	0.0611	0.0618	0.0626	0.0633	0.0641	0.0649	0.0657	0.0665	0.0673	0.0681
$\pi_{l,R}$	η	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$\pi_{l,oaM}$	η	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$\pi_{l,eM}$	η	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$\pi_{l,eI}$	η	0.0604	0.0611	0.0618	0.0626	0.0633	0.0641	0.0649	0.0657	0.0665	0.0673	0.0681
η_t (verif)	η	68.33	68.33	68.71	68.22	68.33	68.44	68.55	68.66	68.77	68.88	68.99
η_e,or	η	68.14	68.37	68.75	68.69	68.40	68.21	68.01	67.81	67.61	67.41	67.21
η_e,cl	η	68.36	69.15	69.45	69.75	70.05	70.35	70.65	70.95	71.25	71.55	71.85
q_{eI}	η	44.75	44.31	43.84	43.35	42.92	42.42	41.93	41.43	40.92	40.41	39.87
q_R	η	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
η_t (verif)	η	68.25	68.41	68.59	68.75	68.92	69.10	69.27	69.45	69.62	69.79	69.97
C	1	155.4	155.7	156.3	156.8	157.2	157.6	158.0	158.4	158.8	159.2	159.6

REM Program CITMACS2.BAS

```
LPRINT CHR$(27); CHR$(69);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(107); CHR$(50); CHR$(83); : ' Pitch: compressed
LPRINT CHR$(27); CHR$(40); CHR$(115); "9"; CHR$(86);
WIDTH LPRINT 177
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(48); CHR$(79); : ' Orientation: Portrait
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "62"; CHR$(80);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "10"; CHR$(69);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(97); "20"; CHR$(76);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(56); CHR$(68);
```

```
14 CLS : PRINT " Calculul ciclului pentru LAMBDA=const.": PRINT
15 LPRINT " CALCULUL CICLULUI M.A.C. PENTRU LAMBDA=const": LPRINT
17 LPRINT " Date initiale:"
18 READ rc, ps, py, ea, cb, rs, rt, za, ze, z1, z2, z3, aa
22 LPRINT "Raportul de comprimare nominal [-]": TAB(55); rc
26 LPRINT "Presiunea de supraalimentare [bar]": TAB(55); ps
30 LPRINT "Presiunea maxima de ardere [bar]": TAB(55); py
34 LPRINT "Coeficientul de baleiaj [-]": TAB(55); cb
38 LPRINT "Randamentul suflantei [-]": TAB(55); rs
42 LPRINT "Randamentul turbinei [-]": TAB(55); rt
46 LPRINT "Coeficientii pierderilor relative de presiune (C.p.r.p.):": LPRINT " C.p.r.p. la admisia in motor [-]
50 LPRINT " C.p.r.p. la evacuarea din mot. [-]": TAB(55); ze
54 LPRINT " C.p.r.p. la aspiratia in sufl. [-]": TAB(55); z1
58 LPRINT " C.p.r.p. in racitorul suflantei [-]": TAB(55); z2
62 LPRINT " C.p.r.p. la evacuare din turbina [-]": TAB(55); z3
66 LPRINT "Raportul temperaturilor la admisia in cilindru [-]": TAB(55); aa
70 p$ = "###.###": t$ = "####.#"
75 p0 = 1: T0 = 298: Lm = 14.7: Hi = 41.45: R = 287
97 LPRINT "Presiunea ambienta [bar]": p0
102 LPRINT "Temperatura ambienta [K]": T0
107 LPRINT "Hi combustibil [MJ/kg]": Hi
112 LPRINT "Aer minim neces. [kg/kg]": Lm
115 FOR x = 0 TO .15 STEP .1: ar = x
120 LPRINT : LPRINT TAB(10): "Gradul de racire =": USING "#.#": x
122 LPRINT TAB(9): STRING$(24, "-"): LPRINT
125 p1 = (1 - z1) * p0
130 p2 = (1 - z2) * ps
135 p3 = p0 / (1 - z3)
140 pa = (1 - za) * p2
145 x0 = 350
150 k0 = 1.434 - (T0 + x0) / 20000
155 Ts = T0 * (1 + ((ps / p1) ^ ((k0 - 1) / k0) - 1) / rs)
160 IF ABS(Ts - x0) <= 2 THEN 170
165 x0 = Ts: GOTO 150
170 T2 = T0 * ar + (1 - ar) * Ts
175 d2 = p2 / (R * T2) * 100000
180 Ta = aa * T2
185 x1 = 1000
190 ka = 1.434 - (Ta + x1) / 20000
195 Tc = Ta * rc ^ (ka - 1)
200 IF ABS(Tc - x1) <= 2 THEN 210
205 x1 = Tc: GOTO 190
210 pc = pa * rc ^ ka
215 rp = py / (pa * rc ^ ka)
220 Ty = rp * Tc
225 w = .25: REM Se adopta w=pr/pd=0.25
230 kd = 1.3
235 cu = (1 - za) / aa * (rc - w ^ (1 / kd)) / (rc - 1)
240 qa = cu * d2 * Hi / (ea * Lm)
242 ea = cu * d2 * Hi / (qa * Lm)
245 x3 = 2230
250 kc = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Tc + x3)
```

```

255 rv = 1 + (kc - 1) * (rc - 1) * qa / (kc * py / 10) - (rp - 1) / (kc * rp)
260 Tz = rv * Ty
265 IF ABS(Tz - x3) <= 2 THEN 275
270 x3 = Tz: GOTO 250
275 x4 = 1200
280 kz = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Tz + x4)
285 Td = Tz / (rc / rv) ^ (kz - 1)
290 IF ABS(Td - x4) <= 2 THEN 300
295 x4 = Td: GOTO 280
300 pd = py / (rc / rv) ^ kz
305 Tr = Td * w ^ ((kd - 1) / kd)
310 pr = pd * w
315 x5 = 900
320 kf = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Td + x5)
325 Te = Td * (1 + (kf * (rc - 1) / rc - 1) * w) / (kf * (1 - (1 / rc) * w ^ (1 / kf)))
330 IF ABS(Te - x5) <= 2 THEN 340
335 x5 = Te: GOTO 320
340 gr = w ^ (1 / kf) / rc
345 Tb = Ta * (1.403 * (cb / aa * (1 - gr) - 1) + 1 / rc * (1.403 + pr / pa - 1)) / (1.4 * (cb - 1) * (1 - gr))
350 Tt = ((cb - 1) * Tb + Te) / cb
355 x6 = 790
360 kt = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Tt + x6)
365 pt = p3 / (1 - T0 / Tt * ((ps / p1) ^ ((1.403 - 1) / 1.403) - 1) / (rs * rt) * 1.403 * (kt - 1) / (kt * (1.403 - 1) / (1 - rt * (1 - (p3 / pt) ^ ((kt - 1) / kt))))
370 T3 = Tt * (1 - rt * (1 - (p3 / pt) ^ ((kt - 1) / kt)))
375 IF ABS(T3 - x6) <= 2 THEN 385
380 x6 = T3: GOTO 360
385 xp = pt / (1 - ze)
390 IF ABS(xp - pr) <= .01 THEN 400
395 pr = xp: w = pr / pd: GOTO 235
400 x2 = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Tr + Td)
405 IF ABS(kd - x2) <= .005 THEN 416
410 kd = x2: GOTO 235
416 LPRINT "Parametrii ciclului teoretic:"
419 LPRINT : LPRINT "LAMBDA =": USING p$: ea:
422 LPRINT TAB(22): "p1 [bar] =": USING p$: p1:
427 LPRINT TAB(44): "Ts [K] =": USING t$: Ts
432 LPRINT "p2 [bar] =": USING p$: p2:
437 LPRINT TAB(22): "T2 [K] =": USING t$: T2: : LPRINT TAB(44): "d2 [kg/m3] =": USING p$: d2
442 LPRINT "pa [bar] =": USING p$: pa: : LPRINT TAB(22): "Ta [K] =": USING t$: Ta: : LPRINT TAB(44): "Tb [K] =":
447 LPRINT TAB(22): "pc [bar] =": USING p$: pc: : LPRINT TAB(44): "Tc [K] =": USING t$: Tc
452 LPRINT "Ty [K] =": USING t$: Ty:
457 LPRINT TAB(22): "Tz [-] =": USING t$: Tz: : LPRINT TAB(44): "qar [MJ/m3] =": USING p$: qa
462 LPRINT "pd [bar] =": USING p$: pd: : LPRINT TAB(22): "Td [K] =": USING t$: Td:
467 LPRINT TAB(44): "pr [bar] =": USING p$: pr: LPRINT "Tr [K] =": USING t$: Tr: : LPRINT TAB(22): "gr [-] =": US
472 LPRINT TAB(44): "pt [bar] =": USING p$: pt: LPRINT "Tt [K] =": USING t$: Tt:
477 LPRINT TAB(22): "p3 [bar] =": USING p$: ps: : LPRINT TAB(44): "T3 [K] =": USING t$: T3
480 Ly = pa * rc ^ ka / (rc - 1) * rp * (rv - 1)
485 Lz = pa * rc ^ ka / (rc - 1) * rp * rv * (1 - (rv / rc) ^ (kz - 1)) / (kz - 1)
490 La = pa
495 Lc = pa * rc ^ ka / (rc - 1) * (1 - rc ^ (1 - ka)) / (ka - 1)
500 Lr = pr
505 pm = Ly + Lz + La - Lc - Lr
512 LPRINT "pm [bar] =": USING p$: pm
515 :
520 Rh = pm / (10 * qa) * 100
527 LPRINT "Randamentul termic [%] =": USING "## ##": Rh
532 LPRINT "Calculul pierderilor prin ireversibilitate:"
535 ba = (1 + ea * Lm) * R * T0 * LOG(rp * rv ^ kc) / ((kc - 1) * 10000 * Hi)
540 ' Introducem notatiile "Wx" si "Wy" conform liniilor [545] si [550]
545 Wx = cb * ea * Lm * R * T0
550 Wy = (1 + cb * ea * Lm) * R * T0
555 bb = Wx / T0 * k0 / (k0 - 1) * (Ts - T2 - T0 * LOG(Ts / T2)) / (10000 * Hi)
560 ke = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (T3 + T0)
565 bc = Wy * ke / (ke - 1) * (T3 / T0 - 1 - LOG(T3 / T0)) / (10000 * Hi)
570 bd = Wx * (k0 / (k0 - 1) * LOG(Ts / T0) - LOG(ps / p1)) / (10000 * Hi)

```

```

575 be = Wy * (LOG(pt / p3) - kt / (kt - 1) * LOG(Tt / T3)) / (10000 * Hi)
580 bf = Wx * 1.403 / (1.403 - 1) * LOG(Ta / T2) / (10000 * Hi)
585 kr = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Te + Tr)
590 bg = Wy * kr / (kr - 1) * LOG(Te / Tr) / (10000 * Hi)
595 kb = 1.434 - (Tt + Tb) / 20000
600 kv = 1.254 - .0372 / ea + 153.4 / (Tt + Te)
605 bh = R * T0 * ((cb - 1) * ea * Lm * kb * (kb - 1) * LOG(Tt / Tb) - (1 + ea * Lm) * kv * (kv - 1) * LOG(Te / T)
610 bi = Wx * LOG(1 / (1 - z1)) / (10000 * Hi)
615 bj = Wx * LOG(1 / (1 - z2)) / (10000 * Hi)
620 bk = Wx * LOG(1 / (1 - za)) / (10000 * Hi)
625 bl = Wy * LOG(1 / (1 - ze)) / (10000 * Hi)
630 bm = Wy * LOG(1 / (1 - z3)) / (10000 * Hi)
637 LPRINT "PIir.ar [%] =": USING "###.#": ba:
642 LPRINT TAB(22): "PIqR [%] =": USING "#.####": bb:
647 LPRINT TAB(44): "PIqeT [%] =": USING "###.#": bc
652 LPRINT "PIirS [%] =": USING "#.####": bd:
657 LPRINT TAB(22): "PIirT [%] =": USING "#.####": be:
662 LPRINT TAB(44): "PIir.ba [%] =": USING "###.#": bf
667 LPRINT "PIir.e [%] =": USING "###.#": bg:
682 LPRINT TAB(22): "PIir.eb [%] =": USING "#.####": bh:
687 LPRINT TAB(44): "PIl.as [%] =": USING "###.#": bi
692 LPRINT "PIIR [%] =": USING "###.#": bj:
697 LPRINT TAB(22): "PIl.aM [%] =": USING "###.#": bk:
702 LPRINT TAB(44): "PIl.eM [%] =": USING "#.####": bl
707 LPRINT "PIl.eT [%] =": USING "###.#": bm
710 rd = 100 - (ba + bb + bc + bd + be + bf + bg + bh + bi + bj + bk + bl + bm)
717 LPRINT "Randamentul termic (verificare) [%] =": USING "###.#": rd
720 er = 100 - ba
727 LPRINT "Randamentele exergetice:": LPRINT "ETAe.ar [%] =": USING "###.#": er
730 ec = rd / er * 100
737 LPRINT "ETAe.cl [%] =": USING "###.#": ec
740 qt = Wy * ke / (ke - 1) * (T3 / T0 - 1) / (10000 * Hi)
745 qr = Wx / T0 * k0 / (k0 - 1) * (Ts - T2) / (10000 * Hi)
752 LPRINT "Caldura cedata mediului ambiant:":
760 q0 = qt + qr
777 LPRINT "qeT [%] =": USING "###.#": qt
782 LPRINT "qR [%] =": USING "#.####": qr
790 rn = 100 - q0
797 LPRINT "Randamentul termic (verificare) [%] =": USING "###.#": rn
800 c = 360000 / (Hi * rd)
807 LPRINT "Consumul specific de combustibil: c [g/kWh] =": USING "###.#": c: LPRINT
810 NEXT x
      END

```

```
900 DATA 17, 1.38, 105, 1.8, 1.1, 0.75, 0.83, 0.02, 0.05, 0.01, 0.002, 0.01, 1.05
```

REM Originalul scris în BASIC pentru microcalculatorul PRAE 1000 (1984)

REM Versiunea actuală transcrisă în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1996)

Tab. A2. Calculul ciclului pentru LAMBDA = const.

Parame- trul	UM	τ_R												
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0		
λ	-	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
ρ_1	bar	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990
T_s	K	333.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7	337.7
ρ_2	bar	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377
T_2	K	337.7	333.7	329.8	325.8	321.8	317.9	313.9	309.9	305.9	302.0	298.0	298.0	298.0
ρ_2	kg/m ³	1.421	1.438	1.455	1.473	1.491	1.510	1.529	1.548	1.569	1.589	1.610	1.610	1.610
ρ_a	bar	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350	1.350
T_a	K	354.6	350.4	346.3	342.1	337.9	333.8	329.6	325.4	321.2	317.1	312.9	312.9	312.9
T_b	K	292.4	289.6	286.7	283.8	280.9	278.0	275.1	272.2	269.3	266.4	263.4	263.4	263.4
η_v	-	0.9689	0.9690	0.9692	0.9693	0.9694	0.9696	0.9697	0.9699	0.9700	0.9701	0.9703	0.9703	0.9703
ρ_c	bar	64.768	64.900	65.014	65.142	65.271	65.400	65.530	65.661	65.792	65.924	66.057	66.057	66.057
T_c	K	1001.0	991.2	981.1	971.2	961.3	951.3	941.3	931.2	921.1	911.0	900.8	900.8	900.8
T_y	K	1622.7	1603.6	1584.6	1565.5	1546.4	1527.3	1508.2	1489.1	1470.1	1451.0	1431.9	1431.9	1431.9
T_z	K	2302.7	2292.1	2281.3	2270.6	2259.9	2249.2	2238.5	2227.8	2217.1	2206.4	2195.5	2195.5	2195.5
q_{ar}	MJ/m ³	2.157	2.183	2.209	2.236	2.264	2.293	2.322	2.352	2.383	2.415	2.448	2.448	2.448
ρ_d	bar	4.398	4.437	4.476	4.517	4.558	4.601	4.645	4.690	4.737	4.784	4.833	4.833	4.833
T_d	K	1155.5	1152.0	1148.4	1144.8	1141.2	1137.7	1134.2	1130.8	1127.4	1124.0	1120.5	1120.5	1120.5
ρ_r	bar	1.284	1.285	1.286	1.287	1.288	1.289	1.290	1.291	1.292	1.293	1.297	1.297	1.297
T_r	K	864.1	859.6	855.1	850.6	846.1	841.6	837.1	832.6	828.1	823.6	819.0	819.0	819.0
q_r	-	0.02291	0.02278	0.02264	0.02250	0.02236	0.02222	0.02208	0.02193	0.02178	0.02163	0.02148	0.02148	0.02148
ρ_t	bar	1.220	1.221	1.222	1.223	1.224	1.225	1.226	1.227	1.228	1.229	1.230	1.230	1.230
T_t	K	905.0	901.4	897.7	894.1	890.4	886.8	883.2	879.7	876.1	872.6	869.0	869.0	869.0
ρ_3	bar	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380	1.380
T_3	K	871.5	867.9	864.1	860.5	856.7	853.1	849.5	845.9	842.3	838.8	835.2	835.2	835.2
ρ_m	bar	12.387	12.528	12.672	12.820	12.970	13.125	13.284	13.447	13.613	13.784	13.958	13.958	13.958
η_t	%	57.43	57.40	57.36	57.32	57.28	57.24	57.20	57.16	57.12	57.07	57.02	57.02	57.02
$\pi_{ir,ar}$	%	18.86	18.98	19.12	19.25	19.39	19.53	19.67	19.81	19.96	20.11	20.27	20.27	20.27
$\pi_{q,R}$	%	0.0000	0.0314	0.0597	0.0851	0.1073	0.1264	0.1422	0.1546	0.1636	0.1691	0.1709	0.1709	0.1709
$\pi_{q,eI}$	%	19.80	19.59	19.39	19.19	18.98	18.78	18.58	18.39	18.19	18.00	17.80	17.80	17.80
$\pi_{ir,S}$	%	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250
$\pi_{ir,I}$	%	0.2030	0.2038	0.2047	0.2056	0.2065	0.2073	0.2082	0.2091	0.2100	0.2109	0.2118	0.2118	0.2118
$\pi_{ir,bo}$	%	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200	1.0200
$\pi_{ir,e}$	%	2.8840	2.9160	2.9480	2.9820	3.0150	3.0500	3.0850	3.1210	3.1590	3.1970	3.2350	3.2350	3.2350
$\pi_{ir,eb}$	%	0.1632	0.1646	0.1660	0.1674	0.1688	0.1703	0.1719	0.1734	0.1750	0.1767	0.1783	0.1783	0.1783
$\pi_{l,as}$	%	0.0604	0.0604	0.0604	0.0604	0.0604	0.0604	0.0604	0.0604	0.0631	0.0604	0.0604	0.0604	0.0604
$\pi_{l,R}$	%	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120
$\pi_{l,oM}$	%	0.1213	0.1213	0.1213	0.1213	0.1213	0.1213	0.1213	0.1213	0.1213	0.1213	0.1213	0.1213	0.1213
$\pi_{l,eM}$	%	0.3186	0.3186	0.3186	0.3186	0.3186	0.3186	0.3186	0.3186	0.3186	0.3186	0.3186	0.3186	0.3186
$\pi_{l,eI}$	%	0.0624	0.0624	0.0624	0.0624	0.0624	0.0624	0.0624	0.0624	0.0624	0.0624	0.0624	0.0624	0.0624
$\eta_{l,verif}$	%	55.88	55.89	55.90	55.90	55.91	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92	55.92
$\eta_{e,ar}$	%	81.14	81.02	80.88	80.75	80.61	80.47	80.33	80.19	80.04	79.89	79.73	79.73	79.73
$\eta_{e,cl}$	%	68.86	68.98	69.11	69.23	69.36	69.49	69.61	69.74	69.87	69.99	70.13	70.13	70.13
q_{eI}	%	44.75	44.43	44.10	43.78	43.45	43.14	42.82	42.51	42.19	41.88	41.57	41.57	41.57
q_R	%	0.000	0.279	0.558	0.837	1.116	1.395	1.674	1.953	2.232	2.511	2.790	2.790	2.790
$\eta_{l,verif}$	%	55.25	55.29	55.34	55.38	55.43	55.47	55.50	55.54	55.57	55.61	55.64	55.64	55.64
c	q/kWh	155.4	155.4	155.4	155.4	155.3	155.3	155.3	155.3	155.3	155.3	155.3	155.3	155.3

```

REM Program DIAFRAG.BAS

REM Program interactiv pentru calculul debitelor de fluid (aer, metan sau abur)
REM măsurate cu diafragma simplă standardizată ( STAS 7347/1-83 )

PI = 3.1416
INPUT "Diametrul orificiului [mm]: ". d: PRINT
INPUT "Diametrul conductei [mm]: ". Dc: PRINT
INPUT "Presiunea barometrică [torr]: ". pb
PRINT "Natura fluidului: aer » 1"
PRINT "                metan » 2"
PRINT "                abur » 3"
INPUT "Introduceti codul fluidului... ". a$: PRINT
PRINT "Lichid manometric: apă » 1"
PRINT "                mercur » 2"
INPUT "Introduceti codul fluidului... ". b$
IF b$ = "2" THEN INPUT "Cu gardă de apă ? ( d/n ) ". C$
REM Corectii conform Tölle pag.414 fig. A3 si pag.426 fig. A22 si A25
PRINT : INPUT "Temperatura fluidului [°C]: ". t: PRINT
INPUT "Corectia pentru rugozitate r0 : ". r0: PRINT
INPUT "Corectia pentru dilatare k : ". k: PRINT
INPUT "Corectia pentru tocirea muchiilor f : ". f: PRINT

d = k * d: Dc = k * Dc: beta = d / Dc: E = 1 / SQR(1 - beta ^ 4)

40 INPUT "Căderea de presiune la diafragmă [mm]: ". delpa
INPUT "Suprapresiunea în amonte de diafragmă [Pa]: ". h
IF b$ = "1" THEN delpa = 9.81 * delpa
IF b$ = "2" THEN delpa = 133.3225 * delpa
IF C$ = "d" AND b$ = "2" THEN delpa = (13.546 - .9982) * 9.81 * delpa / 133.3225
p = pb * 133.3225 + h
IF a$ = "2" OR a$ = "3" THEN GOTO 80
ro = 3.48564 * .001 * p / (t + 273.15): kapa = 1.4: eta0 = 17.19 * .000001: Ct = .76
GOTO 94
80 IF a$ = "3" THEN 90
ro = 1.93233 * .001 * p / (t + 273.15): kapa = 1.319: eta0 = 10.2 * .000001: Ct = .855
GOTO 94
90 PRINT "Starea aburului: p =": p * .00001: " bar"
PRINT "                t =": t: " °C"
INPUT "Volumul specific al aburului [m3/kg]: ". v

ro = 1 / v: kapa = 1.3: eta = 9.04 * .000001: Ct = 1.09
94 eta = eta0 * ((t + 273.15) / 273.15) ^ Ct: eps = 1 - (.41 + .35 * beta ^ 4) * delpa / kapa / p
Re = 1000000!
100 C = .5959 + .0312 * beta ^ 2.1 - .184 * beta ^ 8 + .0029 * beta ^ 2.5 * (1000000! / Re) ^ .75 + .09 * 25.4 / m
m = C * E * eps * PI / 4 * d ^ 2 * SQR(2 * delpa * ro) * .000001
Re = 4 * m / Dc * 1000! / PI / eta
C1 = .5959 + .0312 * beta ^ 2.1 - .184 * beta ^ 8 + .0029 * beta ^ 2.5 * (1000000! / Re) ^ .75 + .09 * 25.4 / Dc
IF ABS(C1 - C) > .0001 THEN 100
r = (r0 - 1) * (LOG(Re) / LOG(10) / 6) ^ 2 + 1
m = m * f * r
PRINT : PRINT "h = ": h: " Pa"
PRINT "delpa =": delpa: " Pa"
PRINT "t = ": t: " °C"
PRINT "m =": m: " kg/s"
PRINT : PRINT : PRINT
GOTO 40

REM Originalul scris în BASIC pentru microcalculatorul ZX Spectrum (1987)
REM Versiunea actuală transcrisă în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1997)

```

```

REM Program POLINOM.BAS

REM Programul determină valorile coeficientilor polinomului de aproximare
REM prin metoda regresiei polinomiale

DEFINT K, M-N, W
30 CLS : PRINT TAB(3): "The general form of the polynome is:": PRINT
PRINT TAB(7): "y = a0 + a1·x + a2·x² + ... ": PRINT
DATA 6
DATA 1.2,3,4,5,6:
DATA 6,17,34,57,86,121
'LPRINT CHR$(27): CHR$(24):
'LPRINT CHR$(27): CHR$(108): CHR$(14):
'LPRINT CHR$(27): CHR$(82): CHR$(1):

' * * * Part one * * *
540 PRINT : INPUT " Degree of the aproximation polynome ": n
IF n < 1 THEN 540
550 n = n + 1: k = 2 * n - 1: eps = .000001
READ w
IF n > w THEN 870
DIM x(w), Y(w)
DIM s(k)
DIM a(n * n)
DIM b(n)
FOR i = 1 TO k
s(i) = 0
NEXT i
FOR i = 1 TO n
b(i) = 0
NEXT i
FOR m = 1 TO w: READ x(m): NEXT m
FOR m = 1 TO w: READ Y(m): NEXT m
GOSUB 1350
670 FOR m = 1 TO w
b(1) = b(1) + Y(m): t = 1
FOR i = 2 TO k
t = t * x(m): s(i) = s(i) + t
IF i > n THEN 750
b(i) = b(i) + t * Y(m)
NEXT i
750 NEXT m
m = m - 1: s(1) = m: ia = 1: ies = 1: id = n
FOR j = 1 TO n
FOR i = ies TO id
a(ia) = s(i): ia = ia + 1
NEXT i
ies = ies + 1: id = id + 1
NEXT j
GOSUB 1600
870 CLS : GOTO 890
CLS : LOCATE 3, 5: PRINT "Too high degree !": PRINT
GOTO 1250
890 PRINT TAB(4): "The coefficients of the polynome:"
'LPRINT "The coefficients of the polynome:"
FOR i = 1 TO n
PRINT TAB(10): "a": : PRINT USING "#": i - 1: : PRINT " = ": b(i)
'LPRINT "a": : LPRINT USING "#": i - 1: : LPRINT " = ": b(i)
NEXT i
PRINT : 'LPRINT
PRINT TAB(4): " x": TAB(14): " y given": TAB(28): " y calc.": TAB(43): " differ.": TAB(56): " error [ξ]"
1020 'LPRINT . " x y given y calc diff err[ξ]"
PRINT TAB(4): STRING$(62, "=")
'LPRINT STRING$(66, "-")
FOR j = 1 TO m

```

```

1120 f = 0: t = 1
    FOR i = 1 TO n
        f = f + t * b(i): t = t * x(j)
    NEXT i
1160 df = Y(j) - f
    ef = 0
    IF Y(j) <> 0 THEN ef = df / Y(j)
    IF ABS(ef) < .0001 THEN ef = 0
    PRINT TAB(4): x(j); TAB(14): Y(j); TAB(28): f: : PRINT USING "+#.##^####"; TAB(43): df:
    PRINT USING "+###.##"; TAB(56): ef * 100
    LPRINT x(j), y(j), f, df, : LPRINT USING "###.##": ef * 100
    NEXT j
1250 PRINT : INPUT " Another degree ? (y/n) ", u$
    IF u$ = "n" THEN 1340
    ERASE b, a, s
1280 CLS : PRINT : INPUT " Degree of the aproximation polynome "; n
    IF n < 1 THEN 1280
    n = n + 1: k = 2 * n - 1: DIM b(n), a(n * n), s(k)
    IF n > w THEN 870
    GOTO 670
1340 END

1350 CLS : PRINT "no.", " x", " y": PRINT STRING$(39, "-")
    FOR m = 1 TO w
        PRINT USING "##"; m: : PRINT ")". x(m), Y(m): NEXT m
    RETURN

1600 ' * * * Part two * * *
    jj = -n
    FOR j = 1 TO n
        jy = j + 1: jj = jj + n + 1: em = 0: it = jj - j
        FOR i = j TO n
            ij = it + i
            IF ABS(em) >= ABS(a(ij)) THEN 2400
            em = a(ij): in = i
2400 NEXT i: IF ABS(em) < eps THEN PRINT "Singular system !": STOP
            ii = j + n * (j - 2): it = in - j
            FOR k = j TO n
                ii = ii + n: ij = ii + it
                r = a(ii): a(ii) = a(ij): a(ij) = r
                a(ii) = a(ii) / em
            NEXT k
            r = b(in): b(in) = b(j): b(j) = r / em
            IF j = n THEN 4400
            io = n * (j - 1)
            FOR g = jy TO n
                il = io + g: it = j - g
                FOR h = jy TO n
                    im = n * (h - 1) + g: jl = im + it: a(im) = a(im) - a(il) * a(jl)
                NEXT h
                b(g) = b(g) - b(j) * a(il)
            NEXT g
        NEXT j
4400 it = n * n
    FOR j = 1 TO n - 1
        ia = it - j: ib = n - j: ic = n
        FOR k = 1 TO j
            b(ib) = b(ib) - a(ia) * b(ic)
            ia = ia - n: ic = ic - 1
        NEXT k
    NEXT j
    RETURN

REM Originalul scris în BASIC pentru microcalculatorul ZX Spectrum (1987)
REM Versiunea actuală transcrisă în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1996)

```



```

REM Program ARIPA.BAS

REM Program interactiv pentru calculul suprafetei de schimb de căldură de
REM partea aerului la un schimbător de căldură apă-aer cu plăci.

i% = 1
20 INPUT "Distanța dintre plăci s [mm]: ", s: s = s / 1000
INPUT "Grosimea aripioarei b [mm]: ", b: b = b / 1000
INPUT "Raza de îndoire transversală r [mm]: ", r: r = r / 1000
INPUT "Pasul de ondulare transversal pt [mm]: ", pt: pt = pt / 1000
INPUT "Pasul de ondulare longitudinal pl [mm]: ", pl: pl = pl / 1000
INPUT "Raza de ondulare longitudinală rc [mm]: ", rc: rc = rc / 1000
INPUT "Lungimea canalului de curgere a aerului la [mm]: ", la: la = la / 1000
INPUT "Lățimea canalului de curgere a aerului dt [mm]: ", dt: dt = dt / 1000
INPUT "Numărul de drumuri de partea aerului nd [-]: ", nd

40 CONST PI = 3.141593
lt = 2 * PI * r + 2 * SQR((pt / 2 - 2 * r) ^ 2 + (s - b - 2 * r) ^ 2)
nt = dt / pt: lu = lt * nt
sinus = pl / 4 / rc
ii = 4 * ATN(sinus / SQR(1 - sinus ^ 2)) * rc
nl = la / pl: lm = ll * nl
Ara = 2 * nd * lm * (lu - nt * r): REM Suprafata totală a aripioarelor
Apa = 2 * nd * (dt * la - nt * lm * r): REM Suprafata totală a peretilor
Aa = Ara + Apa: REM Suprafata totală de schimb de căldură
Ala = nd * (s * dt - lu * b): REM Aria secțiunii libere de curgere a aerului
rha = la * Ala / Aa: REM Raza hidraulică
V = nd * (s * la * dt): REM Volumul dintre plăci
PRINT : PRINT "Datele suprafetei aripate nr.": i%: PRINT
PRINT "s = ": s: " m": TAB(20): "rc = ": rc: " m": TAB(40): "b = ": b: " m": TAB(60): "la = ": la: " m"
PRINT "r = ": r: " m": IAB(20): "dt = ": dt: " m": IAB(40): "pt = ": pt: " m": IAB(60): "nd = ": nd
PRINT "pl = ": pl: " m"
PRINT "Diametrul hidraulic: ". 4 * rha: " m"
PRINT "Aria supraf. aripioarelor: ". Ara: " m²"
PRINT "Aria suprafetei peretilor: ". Apa: " m²"
PRINT "Aria suprafetei totale: ". Aa: " m²"
PRINT "Aria liberă de curgere: ". Ala: " m²"
PRINT "Gradul de aripare: ". Ara / Aa
PRINT "Aria totală / Volum: ". Aa / V: " m²/m³"
PRINT
INPUT "Alte dimensiuni ? ". a$
IF a$ = "d" OR a$ = "da" THEN i = i + 1: GOTO 20

REM Originalul scris în BASIC pentru microcalculatorul ZX Spectrum (1987)
REM Versiunea actuală transcrisă în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1997)

```

Tab. D.1 Caracteristicile geometrice complete ale suprafețelor de schimb de căldură

Mărimea	Simbol	U.M.	Matricea 1	Matricea 2	Matricea 3	Matricea 4	Matricea 5
1. Distanța dintre plăci	s	mm	5,6	4,5	4,0	3,13	4,7
2. Grosimea aripoarei	b	mm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
3. Raza de îndoire transversală	r	mm	1,04	1,14	1,07	0,90	0,95
4. Pasul de ondulare transversal	pt	mm	4,179	4,592	4,288	3,620	3,810
5. Pasul de ondulare longitudinal	pl	mm	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
6. Raza de ondulare longitudinală	rc	mm	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
7. Lungimea canalului de aer	la	mm	98,7	99,8	99,1	98,8	99,1
8. Lățimea canalului de aer	dt	mm	82,60	85,95	85,475	86,20	86,10
9. Numărul de drumuri de aer	nd	–	8	9	10	11	9
10. Diametrul hidraulic - aer	4r _{ha}	mm	2,625	2,640	2,407	1,942	2,193
11. Aria suprafeței aripate	A _{ra}	m ²	0,39758	0,355147	0,372102	0,381100	0,423922
12. Aria suprafeței peretilor	A _{pa}	m ²	0,096367	0,114167	0,1250396	0,1384702	0,113389
13. Aria suprafeței totale - aer	A _a	m ²	0,493947	0,469314	0,497142	0,5195703	0,537311
14. Aria liberă de curgere - aer	A _{la}	m ²	0,0032838	0,0031035	0,0030186	0,0025532	0,0029727
15. Grad de aripare	A _{ra} /A _a	m ²	0,8049	0,7567	0,7485	0,7335	0,7890
16. Aria supr. tot./Vol. dintre plăci	A _a /V	m ² /m ³	1352,4	1350,9	1467,3	1771,9	1488,7
17. Aria supr. frontale - aer	A _{fra}	m ²	0,008590	0,009240	0,009736	0,01004	0,009196
18. Grosimea plăcii dintre drumuri	a	mm	1	1	1	1	0,5
19. Aria suprafeței totale - apă	A _w	m ²	0,14552	0,16253	0,17936	0,193474	0,16220
20. Aria liberă de curgere - apă	A _{lw}	m ²	0,002891	0,003290	0,003589	0,003992	0,003273
21. Lungimea canalului de apă	lw	mm	99,4	99,3	100,3	99,0	99,4
22. Numărul de drumuri de apă	–	–	9	10	11	12	10

NOTA: Mărimile calculate au fost obținute cu ajutorul programului ARIPA.BAS

Anexa E

```

REM      Program SCARAP.BAS

REM      Programul efectuează calculul termic al schimbătorului de căldură
REM      aer-apă si calculează valorile criteriului Colburn j

DECLARE SUB Stevens (KAPA!, MI!, PHI!, FI!, w!)
DECLARE SUB Aer (t!, p, eta!, Pr!, cp!, v!, lambda!)
DECLARE SUB Apa (t!, eta!, Pr!, c!, ro!, lambda!)

      LPRINT CHR$(27); CHR$(69);
      LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(107); CHR$(50); CHR$(83);   ' Pitch: compressed
      LPRINT CHR$(27); CHR$(40); CHR$(115); "9"; CHR$(86);
      WIDTH LPRINT 177
      LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(48); CHR$(79);   ' Orientation: Portrait

      LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "62"; CHR$(80);
      LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "10"; CHR$(69);

      LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(97); "20"; CHR$(76);
      LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(56); CHR$(68);

RESTORE 420

20 FOR y% = 1 TO 5

  READ s, b, Aa, Aw, Ala, Alw, Ara, la, lw, lbd, reg%, y%

  DIM u(reg%), v(reg%), w(reg%), x(reg%), y(reg%), z(reg%)
  RFM u(i)=ma, v(i)=mw, w(i)=p, x(i)=ta1, y(i)=ta2, z(i)=tw1

  FOR i% = 1 TO reg%: READ u(i%): NEXT i%
  FOR i% = 1 TO reg%: READ v(i%): NEXT i%
  FOR i% = 1 TO reg%: READ w(i%): NEXT i%
  FOR i% = 1 TO reg%: READ x(i%): NEXT i%
  FOR i% = 1 TO reg%: READ y(i%): NEXT i%
  FOR i% = 1 TO reg%: READ z(i%): NEXT i%

  s = s / 1000: b = b / 1000: la = la / 1000: lw = lw / 1000

IF y% > 2 THEN LPRINT CHR$(27); CHR$(12)
LPRINT : LPRINT
LPRINT SPC(20); "Tab. E": y%; " Mărimi măsurate si calculate pentru matricea ": y%
LPRINT
LPRINT
LPRINT "      Λ P Λ      Λ Ε R"
LPRINT "      mw   tw1   tw2   Rew   cw   ma   ta1   ta2   Q   ka   Rea   ca   1000-j"
LPRINT "      [kg/s] [°C] [°C] [-] [W/m²K] [kg/s] [°C] [°C] [W] [W/m²K] [-] [W/m²K] [-]"
LPRINT

FOR u% = 1 TO reg%
CLS : PRINT "Regim de functionare nr. ": u%: PRINT

ma = u(u%): mw = v(u%): p = w(u%): ta1 = x(u%): ta2 = y(u%): tw1 = z(u%)

REM Calculul lui cw
ta = (ta1 + ta2) / 2: x = .01: CALL Aer(ta, p, etaa, Pra, ca, va, laa)
Q = ma * ca * (ta2 - ta1): tw2 = tw1 - Q / mw / 4191: lw = (tw1 + tw2) / 2: tp = tw
CALL Apa(tw, etaw, Prw, cw, row, law)
Prp = Prw
rhw = lw * Alw / Aw: Rew = mw / Alw * 4 * rhw / etaw

200 Ntw = .012 * (Rew ^ .87 - 280) * Prw ^ .4 * (1 + (4 * rhw / lw) ^ .666) * (Prw / Prp) ^ .1
AlFAw = Ntw * law / 4 / rhw

```

```

tp = tw - Q / ALFAw / Aw: CALL Apa(tp, etawp, Prpe, cwp, rowp, lawp)
IF ABS(Prp - Prpe) >= .05 THEN Prp = Prpe: GOTO 200

REM Calculul lui ka
PHI = (ta2 - ta1) / (tw1 - ta1): MI = ma * ca / mw / cw: ' Se consideră implicit că Caer<Capă

REM Determinare KAPA(FI,MI)
KAPAMin = .1: KAPAMax = 4: eps = .001
CALL Stevens(KAPAMin, MI, PHI, FI, w)
dFImin = w: CALL Stevens(KAPAMax, MI, PHI, FI, w)
dFImax = w
210 KAPAMed = (KAPAMin + KAPAMax) / 2: CALL Stevens(KAPAMed, MI, PHI, FI, w)
d = dFImin * w
IF d = 0 THEN 270
IF d < 0 THEN 250
KAPAMin = KAPAMed: dFImin = w
GOTO 260
250 KAPAMax = KAPAMed: dFImax = w
260 IF KAPAMax - KAPAMin > eps THEN 210

270 ka = KAPAMed * ma * ca / Aa

REM Calculul randamentului suprafeței aripate
h = s / 2: afa = ka: ' Se estimează α aer = ka [W/m²K]
280 m = SQR(2 * afa / lbd / b)
mh = m * h
era = (EXP(mh) - EXP(-mh)) / (EXP(mh) + EXP(-mh)) / mh
ea = 1 - (1 - era) * Ara / Aa

REM Calculul lui αa
ALFAa = ka / ea / (1 - ka * Aa / Aw / ALFAw)
IF ABS(afa - ALFAa) > .5 THEN afa = ALFAa: GOTO 280

REM Calculul Rea, Nua, ja
rha = la * Ala / Aa: Rea = ma / Ala * 4 * rha / etaa
Nua = ALFAa * 4 * rha / laa
ja = Nua / Rea / Pra ~ 333

REM Afisare rezultate
LPRINT "||":
LPRINT USING "## ####": mw:
LPRINT USING "#### ##": tw1:
LPRINT USING "#### ##": tw2:
LPRINT USING "#####": Rew:
LPRINT USING "#####": ALFAw:
LPRINT "|":
LPRINT USING "## ####": ma:
LPRINT USING "#### ##": ta1:
LPRINT USING "#### ##": ta2:
LPRINT USING "#####": Q:
LPRINT USING "#####": ka:
LPRINT USING "#####": Rea:
LPRINT USING "#####": ALFAa:
LPRINT USING "#####": ja * 1000:
LPRINT "||"

NEXT uz

LPRINT "-----"
LPRINT "Program SCARAP.BAS Rulare la data: ": DATE$
LPRINT : LPRINT : LPRINT

ERASE u, v, w, x, y, z:
NEXT y%

```

Anexa E

LPRINT CHR\$(27): CHR\$(12)

END

REM DATA: s[mm], b[mm], Aa[m²], Aw[m²], Ala[m²], Alw[m²], Ara[m²],
RFM la[mm], lw[mm], lbd[W/m-K], regim. matrice

```

120 DATA 5.6, 0.2, 0.493917, 0.14552, 0.0032838, 0.002891, 0.39758, 98.7, 99.4, 230, 16, 1
DATA 0.08674, 0.08604, 0.0879, 0.08887, 0.08934, 0.08506, 0.08493, 0.08183, 0.08197, 0.07662, 0.07642
DATA 0.06843, 0.06108, 0.05199, 0.06786, 0.05939
DATA 4.1264, 4.1042, 4.1263, 3.9493, 3.9493, 4.1484, 4.1484, 4.1263, 4.1263, 4.0599, 4.0599, 3.9714
DATA 3.9714, 3.9714, 4.0821, 4.1044
DATA 104980, 104980, 105000, 105200, 104500, 103700, 104000, 104000, 104000, 104000, 104000
DATA 102700, 102200, 103000, 102500
DATA 25.45, 25.8, 26.95, 24.86, 24.95, 25.6, 25.55, 25.55, 25.75, 26.55, 26.55, 27.55, 28.35, 29, 28, 29.5
DATA 57.64, 58.54, 58.95, 59.35, 58.98, 59.17, 59.12, 59.4, 59.5, 60.48, 60.85, 62.13, 63.2, 64.5, 55.22, 58.01
DATA 68.7, 70, 70.3, 71.7, 71.2, 70.55, 70.56, 70.5, 70.5, 70.95, 71.3, 71.7, 71.8, 72, 62.8, 64.8

430 DATA 4.5, 0.2, 0.469314, 0.16253, 0.0031035, 0.00329, 0.355147, 99.8, 99.3, 230, 17, 2
DATA 0.07553, 0.07536, 0.0709, 0.07108, 0.06496, 0.06497, 0.0564, 0.05661, 0.05187, 0.05164, 0.07922, 0.07428
DATA 0.06998, 0.06997, 0.06351, 0.07925, 0.07932
DATA 4.1487, 4.1487, 4.1045, 4.1487, 4.1487, 4.1045, 4.1487, 4.1044, 4.1266, 4.1266, 4.0601, 4.0601, 4.0602
DATA 4.0602, 4.0601, 4.0159, 3.9716
DATA 104500, 104500, 104200, 104200, 103900, 103900, 103280, 103280, 102900, 102900, 105400, 104800, 104400
DATA 104400, 104400, 105000, 105000
DATA 23.5, 23.8, 24.2, 24.05, 24.1, 24.25, 25.15, 25.3, 25.9, 25.95, 21.8, 22.1, 22.65, 22.7, 23.5, 20.6, 20.5
DATA 54.12, 54.15, 54.55, 54.58, 55.18, 55.15, 56.33, 55.48, 55.8, 56.57, 54.63, 55.21, 55.3, 55.35, 56.33
DATA 54.07, 54.8
DATA 64.7, 64.6, 64.4, 64.7, 64.7, 64.6, 64.7, 64.8, 64.7, 64.3, 66.5, 66.3, 65.8, 65.9, 66.2, 65.8, 67.2

440 DATA 4, 0.2, 0.497142, 0.17936, 0.0030186, 0.003589, 0.372102, 99.1, 100.3, 230, 25, 3
DATA 0.07456, 0.06985, 0.06947, 0.04492, 0.04622, 0.04625, 0.05336, 0.05412, 0.05382, 0.06325, 0.0695
DATA 0.07023, 0.07436, 0.07509, 0.07416, 0.06958, 0.0692, 0.07967, 0.07906, 0.07776, 0.07823, 0.0759, 0.06928
DATA 0.06947, 0.06965
DATA 4.0604, 4.0603, 4.0603, 3.9718, 3.9718, 3.9718, 3.9718, 3.9717, 3.9496, 3.9717, 3.9717, 3.9717, 3.9717, 3.9717
DATA 3.9275, 3.8389, 3.7947, 3.8389, 3.4407, 3.4406, 3.4407, 3.3964, 3.3521, 3.4407, 3.3522, 3.3522, 3.3522
DATA 104300, 104100, 104100, 102150, 102200, 102200, 103300, 102600, 102600, 103900, 104000
DATA 104300, 104300, 104200, 103900, 104100, 105400, 105400, 105200, 105200, 105000, 104400, 104400
DATA 21.2, 21.7, 22.15, 27.75, 27.9, 27.85, 24.7, 25.8, 25.95, 24.72, 23.75, 24.05, 23.55, 26.6, 26.5, 27.8
DATA 28.05, 22.45, 22.35, 22.4, 22.4, 22.9, 23.5, 23.57, 23.8
DATA 52.47, 53.06, 53.14, 57.09, 58.43, 58.01, 56.15, 57.62, 58.41, 57.37, 56.4, 56.42, 55.83, 54.56, 58.32
DATA 58.15, 58.4, 55.74, 56.74, 55.32, 55.51, 56.93, 56.23, 56.11, 56.14
DATA 61.1, 61.2, 61.3, 61.8, 63.5, 63.2, 63.6, 64.0, 65.0, 65.1, 65, 64.9, 64.9, 62.4, 67.3, 66.2, 66.2, 65.9
DATA 67.3, 65.4, 65.6, 67, 64.9, 64.8, 64.6

450 DATA 3.13, 0.2, 0.5195703, 0.19374, 0.0025532, 0.003992, 0.3811, 98.9, 99, 230, 28, 4
DATA 0.04114, 0.04133, 0.0413, 0.03672, 0.03341, 0.04731, 0.04701, 0.04758, 0.04756, 0.0473, 0.04676, 0.04618
DATA 0.04593, 0.04508, 0.03187, 0.03141, 0.03293, 0.0376, 0.03764, 0.04602, 0.04603, 0.04724, 0.04729
DATA 0.04754, 0.04779, 0.0423, 0.04224, 0.03754
DATA 1.6265, 4.2372, 4.2151, 4.193, 4.1929, 4.1487, 4.1487, 4.1487, 4.1487, 4.1044, 4.1487, 4.1044, 4.1265
DATA 4.1487, 4.3257, 4.2372, 4.2371, 4.2372, 4.2151, 4.1265, 4.1486, 4.1486, 4.1044, 4.1044, 4.1044, 4.1487
DATA 4.1929, 4.1708
DATA 104600, 104600, 104600, 103900, 103500, 104500, 105000, 105000, 105000, 105000, 105000, 105000, 105000, 105000
DATA 105000, 103000, 103000, 103000, 103000, 103500, 105000, 105000, 104600, 104600, 104600, 104600, 104000
DATA 104000, 103000
DATA 27.1, 27.07, 27.33, 28.1, 28.94, 25.65, 25.63, 25.8, 25.75, 26.0, 26.05, 26.07, 26.1, 26.3, 30.75, 31.25
DATA 31.25, 30.8, 30.37, 29.09, 29.08, 29.33, 29.3, 29.3, 29.25, 30.7, 31.4, 32
DATA 59.29, 60.36, 60.8, 61.57, 62.23, 60.87, 60.94, 60.84, 61.06, 61.04, 61.09, 61.1, 61.23, 61.43, 61.65
DATA 62.89, 63.8, 62.8, 62.19, 62.75, 62.74, 62.8, 62.01, 62.22, 62.37, 61.42, 62.3, 62.16
DATA 63.7, 63.9, 64.5, 64.7, 65.0, 65.4, 65.4, 65.5, 65.6, 65.5, 65.6, 65.6, 55.7, 64.1, 65.3, 66.5
DATA 65.7, 65.2, 66.7, 66.7, 66.9, 66.2, 66.4, 66.5, 64.7, 65.6, 65

```

```

460 DATA 4.7, .3, 0.537311, 0.1622, 0.0029727, 0.003273, 0.423922, 99.1, 99.4, 230, 15, 5
DATA 0.05201, 0.05201, 0.05807, 0.0581, 0.06823, 0.06822, 0.0754, 0.07544, 0.07512, 0.04715, 0.04185
DATA 0.0418, 0.06311, 0.063

```

Anexa E

```

DATA 4.1266, 4.1266, 4.1266, 4.1487, 4.1487, 4.1266, 4.1266, 4.1266, 4.1487, 4.1487, 4.1487, 4.1487, 4.1487, 4.1487
DATA 4.1487, 4.1487
DATA 103500, 103500, 104000, 104000, 104200, 104200, 104400, 104450, 104450, 103300, 103300, 103200, 103200
DATA 103000, 103300
DATA 22.1, 22.35, 22.6, 23.0, 23.4, 23.5, 23.9, 24.3, 24.6, 24.8, 25.2, 25.3, 25.5, 25.5, 25.6
DATA 58.22, 58.45, 57.92, 58.15, 57.55, 57.61, 57.16, 57.6, 57.61, 59.42, 59.78, 60.79, 60.82, 58.88, 58.9
DATA 64.2, 64.2, 64.3, 64.4, 64.4, 64.6, 64.7, 64.7, 64.7, 64.7, 64.9, 65, 65, 65

```

```

REM Originalul scris în BASIC pentru microcalculatorul ZX Spectrum (1988)
REM Versiunea actuală transcrisă în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1996)

```

SUB Aer (t, p, eta, Pr, cp, v, lambda)

REM Proprietatile fizice ale aerului

```

eta = (17.18 + .048 * t) * .000001
Pr = .707 - .00019 * t
cp = (1003.4 + .067 * t) / 1.01 + 1926 * .01 / 1.01
v = 461.4 * (.622 + .01) * (t + 273.15) / p
lambda = .0244 + .000076 * t

```

END SUB

SUB Apa (t, eta, Pr, c, ro, lambda)

REM Proprietatile fizice ale apei

```

eta = (1785.4 - 57.19 * t + 1.089 * t * t - .01098 * t * t * t + .0000435 * t * t * t * t) * .000001
Pr = 12.974 - .43773 * t + .00826 * t * t - .0000811 * t * t * t + 3.138E-07 * t * t * t * t
c = 4191 - .0103 * t
ro = 10005 - .3965 * t
lambda = .5782 + .001184 * t

```

END SUB

SUB Stevens (KAPA, MI, PHI, FI, w)

```

k = KAPA * MI
q = (1 - EXP(-KAPA)) * (1 - EXP(-k))
FOR n% = 1 TO 16
  g1 = 1: g2 = 1: j1 = 1: j2 = 1: z% = 1
  FOR z% = 1 TO n%
    j1 = j1 * KAPA / z%
    j2 = j2 * k / z%
    g1 = g1 + j1
    q2 = q2 + j2
  NEXT z%
  g = g + (1 - EXP(-KAPA)) * g1 * (1 - EXP(-k)) * g2
NEXT n%
FI = g / k: w = FI - PHI: ' w reprezintă eroarea absolută la calculul lui FI

```

END SUB

Tab. E 1 Mărimi măsurate și calculate pentru matricea 1

A P A					A E R							
m _w [kg/s]	tw1 [°C]	tw2 [°C]	Re _w [-]	α _w [W/m ² ·K]	m _a [kg/s]	ta1 [°C]	ta2 [°C]	Q [W]	ka [W/m ² ·K]	Re _a [-]	α _a [W/m ² ·K]	1000·j [-]
4.1264	68.70	68.54	27802	12240	0.08674	25.45	57.64	2835	244.12	3616	268.19	7.959
4.1042	70.00	69.83	28244	12335	0.08604	25.80	58.54	2860	239.46	3581	262.44	7.851
4.1263	70.30	70.13	28535	12432	0.08790	26.95	58.95	2856	242.93	3651	266.46	7.801
3.9493	71.70	71.51	27933	12107	0.08887	24.86	59.35	3112	244.56	3699	268.94	7.789
3.9493	71.20	71.01	27709	12048	0.08934	24.95	58.98	3087	245.15	3720	269.75	7.772
4.1484	70.55	70.38	28805	12522	0.08506	25.60	59.17	2899	241.07	3538	264.08	7.990
4.1484	70.56	70.39	28809	12523	0.08493	25.55	59.12	2895	240.03	3533	262.84	7.965
4.1263	70.50	70.34	28629	12457	0.08183	25.65	59.40	2804	235.76	3403	257.81	8.108
4.1263	70.50	70.34	28629	12457	0.08197	25.75	59.50	2809	237.13	3408	259.44	8.146
4.0599	70.95	70.79	28377	12331	0.07662	26.55	60.48	2640	228.26	3178	249.04	8.364
4.0599	71.30	71.14	28538	12373	0.07642	26.55	60.85	2662	229.17	3168	250.06	8.420
3.9714	71.70	71.56	28100	12179	0.06843	27.55	62.13	2403	215.67	2829	234.32	8.810
3.9714	71.80	71.67	28148	12194	0.06108	28.35	63.20	2162	203.99	2519	220.59	9.290
3.9714	72.00	71.89	28243	12244	0.05199	29.00	64.50	1875	187.29	2139	201.14	9.950
4.0824	62.80	62.69	24996	11459	0.06786	28.00	55.22	1875	213.30	2828	232.46	8.818
4.1044	64.80	64.70	25962	11763	0.05939	29.50	58.01	1719	201.81	2462	218.53	9.468

Program SCARAP.BAS Rulare la data: 03-14-1997

Tab. E 2 Mărimi măsurate și calculate pentru matricea 2

A P A					A E R							
m _w [kg/s]	tw1 [°C]	tw2 [°C]	Re _w [-]	α _w [W/m ² ·K]	m _a [kg/s]	ta1 [°C]	ta2 [°C]	Q [W]	ka [W/m ² ·K]	Re _a [-]	α _a [W/m ² ·K]	1000·j [-]
4.1487	64.70	64.56	23427	10529	0.07553	23.50	54.12	2348	222.75	3374	240.39	7.746
4.1487	64.60	64.47	23390	10519	0.07536	23.80	54.15	2322	222.56	3365	240.18	7.757
4.1045	64.40	64.27	23066	10398	0.07090	24.20	54.55	2184	216.41	3162	233.20	8.005
4.1487	64.70	64.57	23429	10531	0.07108	24.05	54.58	2203	214.32	3171	230.59	7.895
4.1487	64.70	64.58	23431	10533	0.06496	24.10	55.18	2050	204.43	2896	219.19	8.211
4.1045	64.60	64.48	23143	10421	0.06497	24.25	55.15	2038	204.47	2896	219.37	8.216
4.1487	64.70	64.60	23434	10556	0.05640	25.15	56.33	1785	190.05	2507	202.72	8.745
4.1044	64.80	64.70	23221	10444	0.05651	25.30	56.48	1792	191.23	2515	204.18	8.775
4.1266	64.70	64.61	23310	10505	0.05187	25.90	56.80	1627	179.07	2302	190.32	8.926
4.1266	64.30	64.21	23159	10464	0.05164	25.95	56.57	1605	179.34	2292	190.66	8.982
4.0601	66.50	66.34	23606	10503	0.07922	21.80	54.63	2640	227.75	3541	246.26	7.566
4.0601	66.30	66.15	23531	10485	0.07428	22.10	55.21	2497	222.74	3319	240.43	7.878
4.0602	65.80	65.66	23342	10436	0.06998	22.65	55.30	2319	214.46	3125	230.88	8.030
4.0602	65.90	65.76	23380	10446	0.06997	22.70	55.35	2319	213.85	3124	230.17	8.006
4.0601	66.20	66.08	23496	10480	0.06351	23.50	56.33	2117	201.71	2829	216.12	8.281
4.0159	65.80	65.64	23083	10327	0.07925	20.60	54.07	2692	232.07	3553	251.61	7.729
3.9716	67.20	67.03	23355	10364	0.07932	20.50	54.80	2762	228.36	3553	247.19	7.586

Program SCARAP.BAS Rulare la data: 03-14-1997

Tab. E 3 Mărimi măsurate și calculate pentru matrică 3

A P A					A E R							
mw [kg/s]	tw1 [°C]	tw2 [°C]	Rew [-]	α_w [W/m²K]	ma [kg/s]	ta1 [°C]	ta2 [°C]	Q [W]	ka [W/m²K]	Rea [-]	α_a [W/m²K]	1000 · j [-]
4.0604	61.10	60.96	19796	9195	0.07456	21.20	52.47	2366	233.94	3138	254.44	8.081
4.0603	61.20	61.07	19829	9206	0.06985	21.70	53.06	2223	225.96	2935	245.01	8.306
4.0603	61.30	61.17	19862	9215	0.06947	22.15	53.14	2185	223.11	2917	241.65	8.236
3.9718	61.80	61.72	19594	9098	0.04492	27.75	57.09	1338	182.05	1864	194.35	10.236
3.9718	63.50	63.41	20140	9251	0.04622	27.90	58.43	1433	184.45	1914	196.90	10.077
3.9718	63.20	63.11	20042	9223	0.04625	27.85	58.01	1416	181.69	1917	193.79	9.912
3.9718	63.60	63.48	20167	9239	0.06336	24.70	56.15	2023	214.61	2642	231.67	8.653
3.9717	64.00	63.89	20301	9278	0.05412	25.80	57.62	1748	198.48	2250	212.93	9.309
3.9496	65.00	64.89	20518	9322	0.05382	25.95	58.41	1774	196.13	2235	210.17	9.239
3.9717	65.10	64.97	20664	9375	0.06325	24.72	57.37	2097	214.25	2634	231.01	8.643
3.9717	65.00	64.86	20628	9363	0.06950	23.75	56.40	2304	223.24	2901	241.53	8.225
3.9717	64.90	64.76	20594	9354	0.07023	24.05	56.42	2308	226.13	2930	244.93	8.254
3.9717	64.90	64.75	20593	9353	0.07436	23.55	55.83	2437	231.04	3107	250.70	7.980
3.9275	62.40	62.27	19556	9035	0.07509	26.60	54.56	2131	233.61	3130	254.40	8.018
3.8389	67.30	67.15	20699	9283	0.07416	26.50	58.32	2396	230.17	3077	249.81	7.970
3.7947	66.20	66.07	20099	9089	0.06958	27.80	58.15	2144	222.73	2883	241.45	8.209
3.8389	66.20	66.07	20333	9186	0.06920	28.05	58.40	2133	225.01	2866	243.94	8.339
3.4407	65.90	65.71	18127	8273	0.07967	22.45	55.74	2692	237.30	3334	260.69	7.746
3.4406	67.30	67.11	18545	8388	0.07906	22.35	56.74	2760	234.88	3304	257.47	7.708
3.4407	65.40	65.22	17981	8233	0.07776	22.40	55.32	2599	231.31	3256	253.58	7.720
3.3964	65.60	65.42	17807	8151	0.07823	22.40	55.51	2629	233.32	3274	256.22	7.753
3.3521	67.00	66.81	17980	8166	0.07590	22.90	56.93	2622	229.92	3169	252.09	7.861
3.4407	64.90	64.74	17838	8195	0.06928	23.50	56.23	2302	221.99	2893	242.52	8.285
3.3522	64.80	64.64	17350	7992	0.06947	23.57	56.11	2295	221.79	2901	242.78	8.272
3.3522	64.60	64.44	17294	7976	0.06965	23.80	56.14	2287	224.53	2908	246.12	8.363

Program SCARAP.BAS Rulare la data: 03-14-1997

Tab. E 4 Mărimi măsurate și calculate pentru matricea 4

A P A					A E R							
mw [kg/s]	tw1 [°C]	tw2 [°C]	Rew [-]	α_w [W/m ² K]	ma [kg/s]	ta1 [°C]	ta2 [°C]	Q [W]	ka [W/m ² K]	Rea [-]	α_a [W/m ² K]	1000 · j [-]
1.6265	63.70	63.50	7551	3597	0.01140	27.10	59.29	1353	172.41	1637	198.86	9.611
4.2372	63.90	63.82	19762	8954	0.04133	27.07	60.36	1397	189.66	1632	202.14	9.785
4.2151	64.50	64.42	19852	8964	0.04130	27.33	60.80	1404	186.76	1630	198.83	9.631
4.1930	64.70	64.63	19814	8939	0.03672	28.10	61.57	1248	176.99	1446	187.83	10.232
4.1929	65.00	64.91	19911	8966	0.03311	28.91	62.23	1131	168.16	1315	177.88	10.639
4.1487	65.40	65.30	19825	8913	0.04731	25.65	60.87	1692	201.42	1871	215.62	9.119
4.1487	65.40	65.30	19825	8913	0.04704	25.63	60.94	1687	201.68	1860	215.91	9.183
4.1487	65.50	65.40	19857	8922	0.04758	25.80	60.84	1693	199.74	1881	213.68	8.985
4.1487	65.60	65.50	19889	8930	0.04756	25.75	61.06	1705	202.49	1880	216.81	9.121
4.1044	65.60	65.50	19677	8843	0.04730	26.00	61.04	1683	200.33	1869	214.47	9.072
4.1487	65.60	65.50	19890	8931	0.04676	26.05	61.09	1664	199.09	1847	212.92	9.110
4.1044	65.60	65.50	19677	8843	0.04648	26.07	61.10	1653	197.90	1836	211.69	9.112
4.1265	65.60	65.51	19781	8887	0.04593	26.10	61.23	1638	198.12	1814	211.87	9.229
4.1487	65.70	65.61	19923	8939	0.04508	26.30	61.43	1608	196.30	1780	209.72	9.307
4.3257	64.10	64.04	20245	9145	0.03187	30.75	61.65	1000	163.00	1251	171.95	10.790
4.2372	65.30	65.24	20221	9080	0.03141	31.25	62.89	1009	162.99	1230	172.00	10.950
4.2371	66.50	66.41	20620	9188	0.03293	31.25	63.80	1089	165.86	1288	175.09	10.631
4.2372	65.70	65.63	20352	9115	0.03760	30.80	62.80	1222	183.35	1474	194.79	10.360
4.2151	65.20	65.13	20081	9027	0.03764	30.37	62.19	1216	180.60	1477	191.79	10.190
4.1265	66.70	66.61	20142	8984	0.04602	29.09	62.75	1573	203.33	1808	217.69	9.461
4.1486	66.70	66.61	20250	9028	0.04603	29.08	62.71	1571	203.21	1808	217.48	9.449
4.1486	66.90	66.81	20316	9045	0.04724	29.33	62.80	1606	205.21	1855	219.75	9.303
4.1044	66.20	66.11	19872	8896	0.04729	29.30	62.04	1572	202.43	1859	216.80	9.169
4.1044	66.40	66.31	19936	8913	0.04754	29.30	62.22	1589	203.50	1868	218.00	9.171
4.1044	66.50	66.41	19969	8922	0.04779	29.26	62.37	1607	205.99	1878	220.85	9.242
4.1487	64.70	64.62	19603	8852	0.04230	30.70	61.42	1320	193.98	1661	207.20	9.796
4.1929	65.60	65.52	20105	9019	0.04224	31.40	62.30	1326	193.56	1655	206.48	9.775
4.1708	65.00	64.93	19806	8922	0.03754	32.00	62.16	1150	180.41	1470	191.70	10.211

Program SCARAP.BAS Rulare la data: 03-14-1997

Tab. E 5 Mărimi măsurate și calculate pentru matricea 5

A P A					A E R							
mw [kg/s]	tw1 [°C]	tw2 [°C]	Rew [-]	αw [W/m²K]	ma [kg/s]	ta1 [°C]	ta2 [°C]	Q [W]	ka [W/m²K]	Rea [-]	αa [W/m²K]	1000·j [-]
4.1266	64.20	64.09	23189	10481	0.05201	22.10	58.22	1907	192.37	2008	206.60	9.258
4.1266	64.20	64.09	23189	10481	0.05201	22.35	58.45	1906	195.56	2007	210.28	9.423
4.1266	64.30	64.18	23225	10489	0.05807	22.60	57.92	2082	206.64	2242	223.13	8.956
4.1487	64.40	64.28	23387	10550	0.05810	23.00	58.15	2073	208.22	2241	224.88	9.021
4.1487	64.40	64.26	23384	10546	0.06823	23.40	57.55	2366	231.51	2632	252.30	8.618
4.1266	64.60	64.46	23335	10516	0.06822	23.50	57.61	2362	229.26	2631	249.59	8.530
4.1266	64.70	64.55	23371	10523	0.07640	23.90	57.16	2580	244.66	2947	268.05	8.177
4.1266	64.70	64.55	23371	10523	0.07644	24.30	57.60	2584	252.22	2946	277.15	8.449
4.1487	64.70	64.55	23496	10575	0.07642	24.60	57.61	2561	251.06	2944	275.63	8.405
4.1487	64.70	64.60	23506	10604	0.04712	24.80	59.42	1656	180.58	1810	192.93	9.540
4.1487	64.70	64.60	23506	10604	0.04745	25.20	59.78	1666	187.32	1821	200.63	9.851
4.1487	64.90	64.81	23585	10626	0.04186	25.30	60.79	1508	179.72	1505	191.91	10.681
4.1487	65.00	64.91	23623	10636	0.04180	25.50	60.82	1499	177.96	1502	189.90	10.583
4.1487	65.00	64.88	23616	10611	0.06311	25.50	58.88	2139	223.24	2424	242.40	8.949
4.1487	65.00	64.88	23616	10612	0.06300	25.60	58.90	2130	222.85	2420	241.94	8.948

Program SCARAP.BAS Rulare la data: 03-14-1997

```

REM Program CF.BAS

REM Determinarea coeficientului de frecare pe baza ecuatiei lui Fanning

LPRINT CHR$(27); CHR$(69):
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(107); CHR$(52); CHR$(83): ' Pitch: Elite (12.0)
LPRINT CHR$(27); CHR$(40); CHR$(115): "9": CHR$(86):
WIDTH LPRINT 177
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(48); CHR$(79): ' Orientation: Portrait
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108): "62": CHR$(80):
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108): "9": CHR$(69):
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(97): "26": CHR$(76):

m% = 1: a% = 17
' $DYNAMIC
DIM m(a%), p(a%), r(a%), Re(a%), cf(a%)

INPUT "Doriti tiparirea rezultatelor ? ", e$

b$ = STRING$(36, "-")
c$ = " Nr.   ma   Rea   delta   cf"
w$ = "      [kg/s]   [-]   [Pa]   [-]"
80 FOR i% = 1 TO a%: READ m(i%): NEXT
FOR i% = 1 TO a%: READ p(i%): NEXT
FOR i% = 1 TO a%: READ r(i%): NEXT
READ rha, Ala, Afr, la, t, pb

CLS : PRINT "Matricea nr. ": m%: LPRINT " Matricea nr. ": m%
IF LEFT$(e$, 1) <> "n" THEN
LPRINT "
LPRINT "
LPRINT "
LPRINT "
LPRINT "


| Nr.   | ma     | Rea | delta | p   | cf |
|-------|--------|-----|-------|-----|----|
| crit. | [kg/s] | [-] | [Pa]  | [-] |    |


LPRINT "
END IF

PRINT b$: PRINT c$: PRINT w$: PRINT b$
a$ = " "
rap = Ala / Afr
FOR i% = 1 TO a%
v = 461.4 * (.622 + .01) * (t + 273.15) / (pb * 133.322 + r(i%))

etaa = (17.18 + .048 * t) * .000001
Re(i%) = m(i%) / Ala * 4 * rha / etaa: Re(i%) = INT(Re(i%) + .5)
IF Re(i%) < 2000 THEN
Kk = 1.2662 + .0079 * rap - .412 * rap * rap
Ke = .9995 - 2.850i * rap + .9965 * rap * rap
ELSE
Kk = .5/73 - .001/ * rap - .4056 * rap * rap
Ke = 1.0045 - 2.2089 * rap + 1.057 * rap * rap
END IF

cf(i%) = p(i%) * 2 * rha * Ala * Ala / la / v / m(i%) / (m(i%) - rha / la * (Kk + Ke))

PRINT USING "###": i%: PRINT "):
PRINT USING "### #####": m(i%):
PRINT USING "#####": Re(i%):
PRINT USING "#####": p(i%):
PRINT USING "### #####": cf(i%)

IF LEFT$(e$, 1) <> "n" THEN
iPRINT "|| ":
LPRINT USING "###": i%: LPRINT "):
LPRINT USING "### #####": m(i%):
LPRINT USING "#####": Re(i%):
LPRINT USING "#####": p(i%):

```

```

LPRINT USING "####.####": cf(i%);
LPRINT "  ij"
END IF

NEXT i%
IF LEFT$(e$, 1) <> "n" THEN
  LPRINT "=====;"
END IF

IF LEFT$(e$, 1) <> "n" THEN
  LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT
END IF

SELECT CASE m%
CASE 1
  m% = 2: a% = 11: REDIM m(a%), p(a%), r(a%), Re(a%), cf(a%)
  GOTO 80
CASE 2
  m% = 3: a% = 12: REDIM m(a%), p(a%), r(a%), Re(a%), cf(a%)
  IF LEFT$(e$, 1) <> "n" THEN LPRINT CHR$(27): CHR$(12)
  GOTO 80
CASE 3
  m% = 4: a% = 13: REDIM m(a%), p(a%), r(a%), Re(a%), cf(a%)
  GOTO 80
CASE 4
  m% = 5: a% = 13: REDIM m(a%), p(a%), r(a%), Re(a%), cf(a%)
  IF LEFT$(e$, 1) <> "n" THEN LPRINT CHR$(27): CHR$(12)
  GOTO 80
END SELECT

LPRINT CHR$(27): CHR$(12)

REM Matricea 1
REM m(i%) = debitul masic [kg/s]:
DATA 0.09592, 0.09426, 0.09305, 0.09071, 0.08750, 0.08054, 0.07175, 0.06128
DATA 0.05466, 0.05118, 0.09537, 0.08984, 0.08034, 0.07212, 0.06398, 0.05962, 0.05198

REM p(i%) = căderea de presiune [Pa]:
DATA 2256, 2178, 2148, 2026, 1932, 1697, 1403, 1079, 893, 804
DATA 2256, 2050, 1717, 1432, 1187, 1050, 834

REM r(i%) = suprapresiunea la intrare [Pa]:
DATA 4900, 4720, 4730, 4440, 4130, 3570, 2790, 2160, 1750, 1560
DATA 4870, 4390, 3600, 2930, 2380, 2090, 1600

REM rha [m], Aia [m²], Afa [m²], Ia [m], t [°C], pb [torr]:
DATA 0.00065617, 0.0032838, 0.00859, 0.0987, 22.5, 753.8

REM Matricea 2
REM m(i%) = debitul masic [kg/s]:
DATA 0.08610, 0.08374, 0.08184, 0.07865, 0.07339, 0.06646, 0.05873, 0.05367
DATA 0.04837, 0.08492, 0.08442

REM p(i%) = căderea de presiune [Pa]:
DATA 2727, 2590, 2502, 2344, 2080, 1746, 1442, 1295, 1040, 2649, 2639

REM r(i%) = suprapresiunea la intrare [Pa]:
DATA 4720, 4580, 4320, 4100, 3640, 3000, 2440, 2100, 1710, 4750, 4640

REM rha [m], Aia [m²], Afa [m²], Ia [m], t [°C], pb [torr]:
DATA 0.00066, 0.0031035, 0.00924, 0.0998, 23, 756.4

REM Matricea 3

```

```

REM m(i%) = debitul masic [kg/s]:
DATA 0.08617, 0.08550, 0.08500, 0.08466, 0.08380, 0.08207, 0.07922, 0.07365
DATA 0.06643, 0.05790, 0.05219, 0.04790

REM p(i%) = căderea de presiune [Pa]:
DATA 2668, 2629, 2600, 2580, 2551, 2462, 2325, 2070, 1746, 1383, 1167, 1020

REM r(i%) = suprapresiunea la intrare [Pa]:
DATA 4796, 4728, 4680, 4640, 4572, 4395, 4130, 3640, 3021, 2335, 1952, 1677

REM rha [m], Ala [m²], Afra [m²], la [m], t [°C], pb [torr]:
DATA 0.000601729, 0.0030186, 0.009736, 0.0991, 21.2, 756

REM Matricea 4
REM m(i%) = debitul masic [kg/s]:
DATA 0.05284, 0.05232, 0.05205, 0.05124, 0.05096, 0.05041, 0.05041, 0.04956
DATA 0.04753, 0.04415, 0.03944, 0.03608, 0.03408

REM p(i%) = căderea de presiune [Pa]:
DATA 4218, 4169, 4110, 4032, 3973, 3904, 3845, 3688, 3502, 3100, 2550, 2207, 1972

REM r(i%) = suprapresiunea la intrare [Pa]:
DATA 4993, 4973, 4905, 4807, 4748, 4679, 4620, 4404, 4179, 3679, 3011, 2589, 2335

REM rha [m], Ala [m²], Afra [m²], la [m], t [°C], pb [torr]:
DATA 0.0004855145, 0.0025532, 0.01004, 0.0988, 26.34, 757

REM Matricea 5
REM m(i%) = debitul masic [kg/s]:
DATA 0.02985, 0.03243, 0.03692, 0.04012, 0.04398, 0.04980, 0.05662, 0.06104
DATA 0.06858, 0.07254, 0.07638, 0.08444, 0.09395

REM p(i%) = căderea de presiune [Pa]:
DATA 448, 502, 618, 702, 812, 938, 1128, 1268, 1550, 1706, 1836, 2192, 2636

REM r(i%) = suprapresiunea la intrare [Pa]:
DATA 3230, 3200, 3170, 3120, 2940, 2780, 2600, 2510, 2420, 2370, 2300, 2260, 2100

REM rha [m], Ala [m²], Afra [m²], la [m], t [°C], pb [torr]:
DATA 0.00054828, 0.0029727, 0.009196, 0.0991, 20, 750

REM Originalul scris in BASIC pentru microcalculatorul ZX Spectrum (198/)
REM Versiunea actuală transcrisă în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1997)

```

Tab. F1 Matricea nr. 1

Nr. crt.	ma [kg/s]	Rea [-]	delta p [Pa]	cf [-]
1)	0.09592	4199	2256	0.03745
2)	0.09426	4126	2178	0.03736
3)	0.09305	4073	2148	0.03788
4)	0.09071	3971	2026	0.03744
5)	0.08750	3830	1932	0.03838
6)	0.08054	3525	1697	0.03975
7)	0.07175	3141	1403	0.04128
8)	0.06128	2682	1079	0.04352
9)	0.05466	2393	893	0.04529
10)	0.05118	2240	804	0.04657
11)	0.09537	4175	2256	0.03793
12)	0.08984	3932	2050	0.03877
13)	0.08034	3517	1717	0.04052
14)	0.07212	3157	1432	0.04183
15)	0.06398	2801	1187	0.04408
16)	0.05962	2610	1050	0.04487
17)	0.05198	2275	834	0.04688

Tab. F2 Matricea nr. 2

Nr. crt.	ma [kg/s]	Rea [-]	delta p [Pa]	cf [-]
1)	0.08610	4006	2727	0.05125
2)	0.08374	3896	2590	0.05140
3)	0.08184	3808	2502	0.05192
4)	0.07865	3659	2344	0.05263
5)	0.07339	3414	2080	0.05349
6)	0.06646	3092	1746	0.05452
7)	0.05873	2732	1442	0.05766
8)	0.05367	2497	1295	0.06224
9)	0.04837	2250	1040	0.06121
10)	0.08492	3951	2649	0.05118
11)	0.08442	3928	2639	0.05158

Tab. F3 Matricea nr. 3

Nr. crt.	ma [kg/s]	Rea [-]	delta p [Pa]	cf [-]
1)	0.08617	3776	2668	0.04309
2)	0.08550	3746	2629	0.04310
3)	0.08500	3724	2600	0.04311
4)	0.08466	3710	2580	0.04310
5)	0.08380	3672	2551	0.04352
6)	0.08207	3596	2462	0.04374
7)	0.07922	3471	2325	0.04429
8)	0.07365	3227	2070	0.04555
9)	0.06643	2911	1746	0.04713
10)	0.05790	2537	1383	0.04902
11)	0.05219	2287	1167	0.05093
12)	0.04790	2099	1020	0.05290

Tab. F4 Matricea nr. 4

Nr. crt.	ma [kg/s]	Rea [-]	delta p [Pa]	cf [-]
1)	0.05284	2179	4218	0.11217
2)	0.05232	2158	4169	0.11310
3)	0.05205	2147	4110	0.11256
4)	0.05124	2113	4032	0.11390
5)	0.05096	2102	3973	0.11338
6)	0.05041	2079	3904	0.11380
7)	0.05041	2079	3845	0.11194
8)	0.04956	2044	3688	0.11081
9)	0.04753	1960	3502	0.11176
10)	0.04415	1821	3100	0.11428
11)	0.03944	1626	2550	0.11723
12)	0.03608	1488	2207	0.12098
13)	0.03408	1405	1972	0.12085

Tab. F5 Matricea nr. 5

Nr. crt.	ma [kg/s]	Rea [-]	delta p [Pa]	cf [-]
1)	0.02985	1214	448	0.05158
2)	0.03243	1319	502	0.04855
3)	0.03692	1502	618	0.04571
4)	0.04012	1632	702	0.04365
5)	0.04398	1789	812	0.04164
6)	0.04980	2025	938	0.03929
7)	0.05662	2303	1128	0.03612
8)	0.06104	2482	1268	0.03473
9)	0.06858	2789	1550	0.03343
10)	0.07254	2950	1706	0.03279
11)	0.07638	3106	1836	0.03165
12)	0.08444	3434	2192	0.03078
13)	0.09395	3821	2636	0.02970


```

REM      Program MCMMP.BAS

REM      Program pentru determinarea coeficientilor A si B ai unei functii de tip
REM       $y = A \cdot x^B$ 
REM      folosind metoda celor mai mici pătrate.
REM      Programul s-a folosit pentru determinarea dependentelor functionale
REH       $j = j(Re)$  si  $ci = ci(Re)$ 
REM      In varianta prezentă, programul este adaptat pentru determinarea
REM      coeficientilor functiei j pentru un schimbător de căldură aer-aer având
REM      același tip de suprafață si functionând cu aceleasi valori Re de partea
REH      ambelor fluide.

DECLARE SUB Tanhip (f!, th!)
DECLARE SUB Aer (t!, p!, eta!, Pr!, cp!, v!, lambda!)
DATA 0.0047, 0.0005483, 0.0003, 0.789, 1488.7, 0.0005, 0.012578, 230, 0.01, 0.02795, 0.1935, 41, 42,
3025 DATA 620, 810, 336, 4514, 309, 372
      DATA 694, 815, 344, 4770, 309, 376
      DATA 787, 817, 356, 5048, 312, 383
      DATA 843, 786, 357, 5922, 320, 380
      DATA 872, 809, 351, 5595, 314, 384
      DATA 986, 815, 363, 6701, 327, 393
      DATA 1012, 813, 367, 6979, 333, 397

READ s, rh, b, O, Be, A, Vs, lb, x, Afc, Afr, nrc, nrr, Nr%
pci = 101325: pri = 100660: index = .859
.
.      Suprafata de schimb de căldură
.
Aunu = Be * s * nrc / (s + A) / (nrc + nrr): Adoi = Be * s * nrr / (s + A) / (nrc + nrr)
Ac = Aunu * Vs: Ar = Adoi * Vs
.
.      Sectiunile libere de curgere
.
CLS : F1 = Aunu * rh: F2 = Adoi * rh: Afc = F1 * Afc: Afr = F2 * Afr
PRINT " kr", " kc", " ALFAC": PRINT STRING$(38, "-")

3150 FOR iz = 1 TO Nr%
READ mc, tc1, tc2, mr, tr1, tr2
mc = mc / 10000: tc1 = tc1 / 10: tc2 = tc2 / 10: mr = mr / 10000: tr1 = tr1 / 10: tr2 = tr2 / 10
.
.      Temperaturile medii
.
tc = (tc1 + tc2) / 2: tr = (tr1 + tr2) / 2
.
.      Proprietățile medii ale aerului
.
p = .995 * pci
CALL Aer(tc, p, EIAc, Prc, cpc, vc, LBDc)
CALL Aer(tr, pr1, ETAr, Prr, cpr, vr, LBDr)
.
.      Valorile numărului Re
.
mmc = mc / Afc: mnr = mr / Afr: Rec = 4 * rh * mmc / ETAc: Rer = 4 * rh * mnr / ETAr
.
.      Calculul valorilor C1 si C2
.
Ccd = mc * cpc: Cre = mr * cpr: C1 = Ccd: C2 = Cre: dt1 = tc1 - tc2: M1 = C1 / C2: PHI = dt1 / (tc1
KAPA = 1 / HI * LOG(1 / (1 + HI * LOG(1 - PHI)))
IF Ccd > Cre THEN
      C1 = Cre: C2 = Ccd: dt1 = tr2 - tr1: M1 = C1 / C2: PHI = dt1 / (tc1 - tr1)
      KAPA = 1 / MI * LOG(1 / (1 + MI * LOG(1 - PHI)))
END IF

```

```

*
*      Calculul valorilor k
*
kr = KAPA * C1 / Ar: kc = KAPA * C1 / Ac
*
*      Randamentul aripioarelor
*
emc = SQR(2 / lb * 2 * kc / b): emr = SQR(2 / lb * 2 * kr / b)
h = s / 2: mhc = emc * h: mhr = emr * h: CALL Ianhip(mhc, th)
ETArc = th / mhc
CALL Tanhip(mhr, th)
ETArr = th / mhr
*
*      Randamentul suprafetelor aripate
*
ETA0c = 1 - 0 * (1 - ETArc): ETA0r = 1 - 0 * (1 - ETArr)
*
*      Calculul lui ALFAC
*
ALFAC = kc * (1 / ETA0c + Ac / Ar / ETA0r * LB0c / LBDr * (Prc / Prr) ^ .333 * (Rec / Rer) ^ index)
*
*      Coeficientii ecuatiei mcmm
*
a0 = LOG(ALFAC * 4 * rh / LB0c / Prc ^ .333): a1 = LOG(Rec)
a0a1 = a0 * a1: a12 = a1 * a1
AA = AA + a1: BB = BB + 1: CC = CC + a0: DD = DD + a12: FF = FF + a0a1
PRINT kr, kc, ALFAC

NEXT i%

M = AA * AA - BB * DD: M1 = CC * AA - FF * BB: M2 = AA * FF - CC * DD
XX = M1 / M: YY = M2 / M
coefB = XX - 1: coefA = EXP(YY)
PRINT : PRINT "A = ": coefA: TAB(20): ": B = ": coefB
IF ABS(index - coefB - 1) / index >= .01 THEN index = coefB + 1: RESTORE 3025: GOTO 3150
PRINT : PRINT "Ecuatia criterială:": PRINT
PRINI " j = A * Re^B unde": IAB(22): "A = ": coefA: PRINI IAB(22): "B = ": coefB

END

REM Originalul scris in BASIC pentru microcalculatorul ZX Spectrum (1988)
REM Versiunea actuală transcrisă în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1997)

SUB Aer (t, p, eta, Pr, cp, v, lambda)

REM Proprietatile fizice ale aerului

eta = (17.18 + .048 * t) * .000001
Pr = .707 - .00019 * t
cp = (1003.4 + .067 * t) / (1 + x) + 1926 * x / (1 + x)
v = 461.4 * (.622 + x) * (t + 273.15) / p
lambda = .0244 + .000076 * t

END SUB

SUB Tanhip (f, tanh)

tanh = (EXP(f) - EXP(-f)) / (EXP(f) + EXP(-f))

END SUB

```

Răcitorul de aer. Traseul aerului cald

Reg. nr.	ma [kg/s]	Rea [-]	wa [m/s]	delta p [Pa]
1)	0.05560	646	3.96	628
2)	0.05940	690	4.24	690
3)	0.06330	735	4.51	766
4)	0.07020	816	5.01	896
5)	0.07950	924	5.67	1082
6)	0.08230	956	5.87	1138
7)	0.08850	1028	6.31	1276
8)	0.09470	1100	6.75	1412
9)	0.09890	1149	7.05	1511
10)	0.10120	1176	7.22	1559

Răcitorul de aer. Traseul aerului rece

Reg. nr.	ma [kg/s]	Rea [-]	wa [m/s]	delta p [Pa]
1)	0.51420	842	6.21	165
2)	0.58890	965	7.12	206
3)	0.62630	1026	7.57	228
4)	0.71060	1164	8.59	283
5)	0.77830	1275	9.41	328
6)	0.84420	1383	10.20	376
7)	0.87930	1440	10.63	402
8)	0.91260	1495	11.03	429
9)	0.97740	1601	11.81	478
10)	1.01400	1661	12.25	511

Răcitorul de aer. Traseul aerului cald

Reg. nr.	ma [kg/s]	Rea [-]	delta p [Pa]	cf [-]
1)	0.05560	646	628	0.06917
2)	0.05940	690	690	0.06653
3)	0.06330	735	766	0.06497
4)	0.07020	816	896	0.06174
5)	0.07950	924	1082	0.05802
6)	0.08230	956	1138	0.05690
7)	0.08850	1028	1276	0.05514
8)	0.09470	1100	1412	0.05324
9)	0.09890	1149	1511	0.05219
10)	0.10120	1176	1559	0.05143

Răcitorul de aer. Traseul aerului rece

Reg. nr.	ma [kg/s]	Rea [-]	delta p [Pa]	cf [-]
1)	0.51420	842	165	0.05193
2)	0.58890	965	206	0.04880
3)	0.62630	1026	228	0.04777
4)	0.71060	1164	283	0.04546
5)	0.77830	1275	328	0.04368
6)	0.84420	1383	376	0.04231
7)	0.87930	1440	402	0.04144
8)	0.91260	1495	429	0.04093
9)	0.97740	1601	478	0.03948
10)	1.01400	1661	511	0.03911

Răcitorul de aer. Traseul aerului cald

Reg. nr.	ma [kg/s]	Rea [-]	delta p [Pa]	ZETA [-]
1)	0.05560	646	628	58.07
2)	0.05940	690	690	55.90
3)	0.06330	735	766	54.63
4)	0.07020	816	896	51.97
5)	0.07950	924	1082	48.92
6)	0.08230	956	1138	48.00
7)	0.08850	1028	1276	46.56
8)	0.09470	1100	1412	45.00
9)	0.09890	1149	1511	44.13
10)	0.10120	1175	1559	43.51

Răcitorul de aer. Traseul aerului rece

Reg. nr.	ma [kg/s]	Rea [-]	delta p [Pa]	ZETA [-]
1)	0.51420	842	165	7.46
2)	0.58890	965	206	7.09
3)	0.62630	1026	228	6.96
4)	0.71060	1164	283	6.69
5)	0.77830	1275	328	6.48
6)	0.84420	1383	376	6.32
7)	0.87930	1440	402	6.21
8)	0.91260	1495	429	6.15
9)	0.97740	1601	478	5.98
10)	1.01400	1661	511	5.94

REM Program SCAR23.BAS

REM Acest program efectuează calculul de verificare pentru schimbătorul de
REM căldură aer-aer și compară valorile calculate cu cele obținute la
RFM încercările de pe stand.

DECLARE SUB Aer (t!, p!, x, eta!, pr!, cp!, v!, lambda!)

LPRINT CHR\$(27); CHR\$(69):
LPRINT CHR\$(27); CHR\$(38); CHR\$(107); CHR\$(50); CHR\$(83); ' Pitch: compressed
LPRINT CHR\$(27); CHR\$(40); CHR\$(115); "9"; CHR\$(86)
WIDTH LPRINT 177
LPRINT CHR\$(27); CHR\$(38); CHR\$(108); CHR\$(49); CHR\$(79); ' Orientation: Landscape
'LPRINT CHR\$(27); CHR\$(38); CHR\$(108); "38"; CHR\$(80):
LPRINT CHR\$(27); CHR\$(38); CHR\$(108); "6"; CHR\$(69):
LPRINT CHR\$(27); CHR\$(38); CHR\$(97); "6"; CHR\$(76):
LPRINT CHR\$(27); CHR\$(38); CHR\$(108); CHR\$(56); CHR\$(68):
LPRINT : LPRINT : LPRINT SPC(30); "Tab. J1 Mărimi măsurate și calculate pentru răcitorul de aer"

Re-		A E R C A L D										A E R			
gim	Tipul	m		t'	t''	ite	k	Q	p'	dp	ma	t'	t''	ite	
nr.	mărimi	[kg/s]	[°C]	[°C]	[-]	[W/m²K]	[W]	[bar]	[%]	[kg/s]	[°C]	[°C]	[-]	[C]	

PRELUCRAREA MARIMILOR MASURATE

DATA 0.0047 .0005483 .0003 .789. 1488.7. .0005 .012578. 230. .01. .02795. .1935. 41. 42. 46
DATA 667. 667. 667. 667. 667. 667. 844. 844. 844. 844. 1001. 1001. 1001. 1001. 1001
DATA 1216. 1216. 1216. 1216. 1216. 1216. 1275. 1275. 1275. 1275. 1275. 1314. 1314. 1314
DATA 1413. 1413. 1413. 1413. 1422. 1717. 1717. 1717. 1726. 1726. 1785. 1785. 1795. 1805

DATA 334. 334. 294. 284. 235. 196. 157. 334. 255. 226. 176. 128. 334. 284. 226. 177. 147. 334
DATA 334. 294. 235. 196. 157. 323. 294. 245. 206. 157. 334. 284. 206. 343. 304. 275. 226. 186
DATA 343. 294. 265. 206. 167. 334. 284. 235. 196. 167

DATA 534. 796. 304. 7796. 293. 327. 534. 812. 306. 7800. 296. 330. 534. 826. 307. 7378. 294. 331. 534. 843
DATA 308. 7024. 297. 337. 534. 845. 315. 6385. 301. 345. 533. 841. 320. 5740. 304. 352. 533. 842. 323. 5103
DATA 308. 361

DATA 621. 812. 318. 7793. 307. 346. 621. 806. 316. 6771. 297. 342. 621. 808. 320. 6244. 301. 349. 621. 807
DATA 328. 5414. 306. 360. 620. 810. 336. 4514. 309. 372

DATA 694. 849. 327. 7716. 307. 353. 694. 826. 333. 7010. 309. 357. 694. 823. 337. 6253. 312. 365. 694. 820
DATA 332. 5478. 301. 362. 694. 815. 344. 4770. 309. 377

DATA 788. 839. 328. 7827. 305. 356. 788. 823. 330. 7827. 306. 355. 788. 820. 313. 7141. 316. 368. 787. 819
DATA 350. 6414. 320. 377. 787. 817. 350. 5774. 316. 378. 787. 817. 356. 5048. 312. 383

DATA 814. 806. 333. 7669. 307. 356. 814. 804. 341. 7185. 315. 366. 814. 806. 343. 6587. 320. 376. 814. 806
DATA 354. 5890. 320. 381. 814. 802. 366. 4961. 323. 394

DATA 843. 790. 344. 7763. 319. 366. 843. 787. 347. 7026. 318. 370. 843. 786. 355. 5922. 320. 380

DATA 872. 806. 328. 7867. 302. 354. 872. 804. 332. 7318. 305. 360. 872. 806. 337. 6815. 309. 368. 872. 806
DATA 343. 6306. 312. 375. 872. 809. 351. 5595. 314. 384

DATA 986. 811. 352. 7899. 325. 381. 986. 812. 357. 7147. 325. 388. 986. 815. 353. 6701. 327. 393. 986. 817
DATA 372. 5862. 331. 405. 986. 819. 381. 5123. 333. 416

DATA 1012. 816. 363. 7710. 332. 391. 1012. 813. 367. 6979. 333. 397. 1012. 810. 375. 6351. 336. 406. 1012. 814
DATA 385. 5742. 340. 417. 1012. 821. 388. 5168. 341. 425

RFAD s. rh. b. 0. Be. a. Vs. lb. x. Afc. Afr. nrcZ. nrcZ. reqimZ

```

pcl = 120000: pr1 = 100660: ' Presiunile
DIM p(2, regim%)
FOR i% = 1 TO regim%: READ p(1, i%): NFXT
FOR i% = 1 TO regim%: READ p(2, i%): NEXT

'      Suprafata de schimb de căldură

Aunu = Be * s * nrc% / (s + a) / (nrc% + nrr%): Adoi = Be * s * nrr% / (s + a) / (nrc% + nrr%)
Ac = Aunu * Vs: Ar = Adoi * Vs

'      Sectiunile libere de curgere

CLS : F1 = Aunu * rh: F2 = Adoi * rh: Alc = F1 * Afc: Alr = F2 * Afr

FOR i% = 1 TO regim%

READ mc, tc1, tc2, mr, tr1, tr2
mc = mc / 10000: tc1 = tc1 / 10: tc2 = tc2 / 10: mr = mr / 10000: tr1 = tr1 / 10: tr2 = tr2 / 10

'      Temperaturile medii

tc = (tc1 + tc2) / 2: tr = (tr1 + tr2) / 2

'      Proprietățile medii ale aerului

p = pcl + .5 * p(1, i%)
CALL Aer(tc, p, x, ETAc, Prc, cpc, vc, LBDC)

p = pr1 + .5 * p(2, i%)
CALL Aer(tr, p, x, ETAr, Prr, cpr, vr, LBDr)

'      Valorile numărului Re

nmc = mc / Alc: nmr = mr / Alr: Rec = 4 * rh * nmc / FTAc: Rer = 4 * rh * nmr / FTAr

'      Calculul valorilor C1 si C2

Ccd = mc * cpc: Cre = mr * cpr
IF Ccd < Cre THEN
    C1 = Ccd: C2 = Cre: dt1 = tc1 - tc2: MI = C1 / C2: PHI = dt1 / (tc1 - tr1)
    KAPA = 1 / MI * LOG(1 / (1 + MI * LOG(1 - PHI))): REM Fluidul rece neamestecat
ELSEIF Ccd > Cre THEN
    C1 = Cre: C2 = Ccd: dt1 = tr2 - tr1: MI = C1 / C2: PHI = dt1 / (tc1 - tr1)
    KAPA = LOG(1 / (1 + 1 / MI * LOG(1 - MI * PHI))): REM Fluidul rece neamestecat
END IF

'      Calculul valorilor k, Q, dp

kr = KAPA * C1 / Ar: kc = KAPA * C1 / Ac
Qcd = Ccd * (tc1 - tc2): Qre = Cre * (tr2 - tr1)
dpc = p(1, i%) / pcl * 100: dpr = p(2, i%) / pr1 * 100

'      Tipărirea mărimilor măsurate

PRINT "Regim": i%
LPRINT "||":
LPRINT USING "###": i%:
LPRINT " | măsur. |":
LPRINT USING "## ####": mc:
LPRINT USING "##### #": tc1:
LPRINT USING "##### #": tc2:
LPRINT USING "#####": Rec:
LPRINT USING "##### #": kc:
LPRINT USING "#####": Qcd:

```

```

LPRINT USING "####.##": pcl / 100000!:
LPRINT USING "###.###": dpc:
LPRINT " |":
LPRINT USING "##.###": mr:
LPRINT USING "####.##": tr1:
LPRINT USING "####.##": tr2:
LPRINT USING "#####": Rcr:
LPRINT USING "####.##": kr:
LPRINT USING "#####": Qre:
LPRINT USING "###.###": pr1 / 100000!:
LPRINT USING "###.###": dpr:
LPRINT " |":
LPRINT USING "##.###": PHI:
LPRINT " ||"

:
:      CALCULUL DE VERIFICARE
:
t1 = tc1: ti = tr1: p1 = pcl: pei = pr1: m1 = mc: m2 = mr
Lc = Alc: Lr = Alr: r1 = rh: r2 = rh: b1 = b: b2 = b: s1 = s: s2 = s: O1 = 0: O2 = 0
invx = 0
PHI = .75: REM Se atribuie functiei phi valoarea initiala 0.75
410 IF invx <> 0 THEN 430
t2 = PHI * (ti - t1) + t1
te = MI * (t1 - t2) + ti

:
:      Temperaturile medii
:
430 tc = (t1 + t2) / 2: tr = (ti + te) / 2

:
:      Proprietatile medii ale celor doua fluide

CALL Aer(tc, p1, x, ic, nc, cc, vc, LBc)
CALL Aer(tr, pei, x, ir, nr, cr, vr, LBr)

:
:      Valorile numarului Re

emc = m1 / Lc: emr = m2 / Lr: Rc = 4 * r1 * emc / ic: Rr = 4 * r2 * emr / ir

:
:      Calculul criteriului j

jr = .0169 * Rr ^ (-.141)
jc = .0169 * Rc ^ (-.141)
Sc = jc / nc ^ (2 / 3)
Sr = jr / nr ^ (2 / 3)

:
:      Coeficientul de schimb de caldura

dc = Sc * emc * cc
dr = Sr * emr * cr

:
:      Randamentul aripioarelor

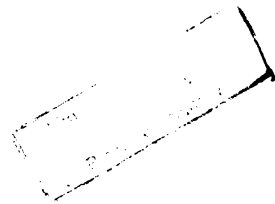
uc = SQR(2 / lb * dc / b1)
hc = s1 / 2
ur = SQR(2 / lb * dr / b2)
hr = s2 / 2
W = uc * hc: Ec = (1 - 2 * EXP(-W) / (EXP(W) + EXP(-W))) / W
W = ur * hr: Er = (1 - 2 * EXP(-W) / (EXP(W) + EXP(-W))) / W

:
:      Randamentul suprafetelor aripate

:
E1 = 1 - O1 * (1 - Ec): E2 = 1 - O2 * (1 - Er)

:
:      Coeficientul de trecere a caldurii

```




```

kre = 1 / (1 / (F2 * dr) + 1 / (Ac / Ar * F1 * dc))
kcd = 1 / (1 / (E1 * dc) + 1 / (Ar / Ac * E2 * dr))
.
      Eficienta schimbătorului
.
C1 = m1 * cc; C2 = m2 * cr
MI = C1 / C2
IF inv% < 1 THEN te = MI * (t1 - t2) + ti
IF MI < 1 THEN 640
inv% = 1: MI = 1 / MI
C1 = m2 * cr; C2 = m1 * cc
te = PHI * (t1 - ti) + ti
t2 = MI * (ti - te) + t1

KAPPA = Ar * kre / C1; FI = (1 - EXP(MI * (1 / EXP(KAPPA) - 1))) / MI: GOTO 650
640 KAPPA = Ar * kre / C1
FI = 1 - EXP((1 / EXP(MI * KAPPA) - 1) / MI)
650 IF ABS(FI - PHI) <= .005 THEN 660
PHI = FI: GOTO 410
660 Qc = m1 * cc * (t1 - t2); Qr = m2 * cr * (te - ti)
.
      Căderile de presiune
.
IF Rr < 2000 THEN 690
KK = .5: KE = .35: GOTO 695
690 KK = 1.2: KE = .1
695 CALL Aer(t1, p1, x, eta1, Pra1, cpl, vl, lambda1)
CALL Aer(t2, p1, x, eta2, Pra2, cp2, v2, lambda2)
cf = 1.6154 * Rc ^ (-.488)
Wp1 = emc ^ 2 * vl / (2 * p1) * ((KK + 1 - F1 ^ 2) + 2 * (v2 / vl - 1) + cf * Ac / lc * vc / vl - (1 - F1 ^ 2)
IF Rr < 2000 THEN 740
KK = .5: KE = .35: GOTO 745
740 KK = 1.2: KE = .1
745 CALL Aer(ti, pei, x, eta1, Pri, cpi, vi, lambda1)
CALL Aer(te, pei, x, eta2, Pre, cpe, ve, lambda2)
cf = .8428 * Rr ^ (-.4149)
Wp2 = emr ^ 2 * vi / (2 * pei) * ((KK + 1 - F2 ^ 2) + 2 * (ve / vi - 1) + cf * Ar / Lr * vr / vi - (1 - F2 ^ 2)
.
      Tipărirea mărimilor calculate
.
I PRINT "|| | calc. | "
LPRINT USING "####.#": t2:
LPRINT " "
LPRINT USING "####.#": kcd:
LPRINT USING "####.#": Qc:
LPRINT " "
LPRINT USING "####.#": Wp1:
LPRINT " | "
LPRINT USING "####.#": te:
LPRINT " "
LPRINT USING "####.#": kre:
LPRINT USING "####.#": Qr:
LPRINT " "
LPRINT USING "####.#": Wp2:
LPRINT " |":
LPRINT " "
I PRINT "||"
.
      Abaterile față de măsurători
.
I PRINT "|| | e [%] | "
LPRINT USING "####.#": (t2 - tc2) * 100 / tc2:
LPRINT " "
LPRINT USING "####.#": (kcd - kc) * 100 / kc:
LPRINT USING "####.#": (Qc - Qcd) * 100 / Qcd:

```

```

LPRINT " ";
LPRINT USING "+####.#": (Wp1 - dpc) * 100 / dpc;
LPRINT " | ";
LPRINT USING "+####.#": (te - tr2) * 100 / tr2;
LPRINT " ";
LPRINT USING "+####.#": (kre - kr) * 100 / kr;
LPRINT USING "+####.#": (Qr - Qre) * 100 / Qre;
LPRINT " ";
LPRINT USING "+####.#": (Wp2 - dpr) * 100 / dpr;
LPRINT " | ";
LPRINT " ||"
IF i% MOD 10 = 0 THEN
  LPRINT "-----"
  LPRINT CHR$(27); CHR$(12);
  LPRINT : LPRINT : LPRINT
  LPRINT SPC(30): "Tab. J1 Mărimi măsurate și calculate pentru răcitorul de aer"
  LPRINT "-----"
  LPRINT " | "
  LPRINT " | Re- | "
  LPRINT " | gim | "
  LPRINT " | nr. | "
  LPRINT " | m | "
  LPRINT " | [kg/s] | "
  LPRINT " | t' | "
  LPRINT " | [°C] | "
  LPRINT " | t'' | "
  LPRINT " | [°C] | "
  LPRINT " | Re | "
  LPRINT " | [-] | "
  LPRINT " | k | "
  LPRINT " | [W/m²K] | "
  LPRINT " | Q | "
  LPRINT " | [W] | "
  LPRINT " | p' | "
  LPRINT " | [bar] | "
  LPRINT " | dp | "
  LPRINT " | [%] | "
  LPRINT " | ma | "
  LPRINT " | [kg/s] | "
  LPRINT " | t' | "
  LPRINT " | [°C] | "
  LPRINT " | t'' | "
  LPRINT " | [°C] | "
  LPRINT " | R | "
  LPRINT " | [-] | "
  LPRINT "-----"
ELSEIF i% = 46 THEN
  LPRINT "-----"
  LPRINT "Program SCAR23.BAS Rulare la data: ": DATE$
  LPRINT CHR$(27); CHR$(12);
ELSE
  LPRINT " | "
END IF
NEXT i%
END

```

REM Originalul scris în BASIC pentru microcalculatorul Amstrad (1990)
 REM Versiunea actuală transcrisă în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1997)

SUB Aer (t, p, x, eta, pr, cp, v, lambda)

REM Proprietatile fizice ale aerului

```

eta = (17.18 + .048 * t) * .000001
pr = .707 - .00019 * t
cp = (1003.4 + .067 * t) / (1 + x) + 1926 * x / (1 + x)
v = 461.4 * (.622 + x) * (t + 273.15) / p
lambda = .0244 + .000076 * t

```

END SUB

Tab. J1 Mărimi măsurate și calculate pentru răcitorul de aer

Re- gim nr.	Tipul mărimii	A I R C A I D										A E R R E C T										ϕ [-]
		m [kg/s]	t^* [°C]	t^{**} [°C]	Re [-]	k [W/m ² K]	Q [W]	p^* [bar]	ϕ_p [%]	m _a [kg/s]	t^* [°C]	t^{**} [°C]	Re [-]	k [W/m ² K]	Q [W]	p^* [bar]	ϕ_p [%]					
1	măsur. calc. ε [%]	0.0534 30.4 -0.5	79.6 30.2 -0.5	30.4 30.2 -0.5	580 30.40 -0.4	2670 28.78 +5.6	1.20	0.556 0.553 -0.4	0.7796	29.3	32.7	1268	28.09 29.68 +5.6	2689 2680 -0.3	1.0066	0.332 0.329 -0.8	0.978					
2	măsur. calc. ε [%]	0.0534 30.5 -0.2	81.2 30.5 -0.2	30.5 30.5 -0.2	579 30.42 +1.9	2746 28.78 +0.1	1.20	0.556 0.556 -0.0	0.7800	29.6	33.0	1268	29.13 29.69 +1.9	2691 2750 +2.2	1.0066	0.332 0.330 -0.5	0.981					
3	măsur. calc. ε [%]	0.0534 30.7 -0.8	82.6 30.5 -0.8	30.7 30.5 -0.8	578 28.07 +6.6	2817 29.92 +0.5	1.20	0.556 0.557 +0.2	0.7378	29.4	33.1	1199	27.40 29.21 +6.6	2770 2830 +2.2	1.0066	0.292 0.301 +3.0	0.976					
4	măsur. calc. ε [%]	0.0534 30.8 +0.2	84.3 30.9 +0.2	30.8 30.9 +0.2	577 29.48 -2.0	2904 29.00 -0.1	1.20	0.556 0.560 +0.7	0.7024	29.7	33.7	1140	29.37 28.78 -2.0	2851 2900 +1.7	1.0066	0.282 0.278 -1.6	0.980					
5	măsur. calc. ε [%]	0.0534 31.5 -0.1	84.5 31.5 -0.1	31.5 31.5 -0.1	576 28.37 +0.8	2879 28.59 +0.1	1.20	0.556 0.561 +0.8	0.6385	30.1	34.5	1035	27.70 27.91 +0.8	2851 2879 +1.0	1.0066	0.233 0.237 +1.7	0.974					
6	măsur. calc. ε [%]	0.0533 32.0 -0.0	84.1 32.0 -0.0	32.0 32.0 -0.0	575 27.57 -0.1	2822 27.55 +0.0	1.20	0.556 0.559 +0.6	0.5740	30.4	35.2	929	26.91 26.89 -0.1	2796 2823 +1.0	1.0066	0.195 0.199 +2.4	0.970					
7	măsur. calc. ε [%]	0.0533 32.3 +1.3	84.2 32.7 +1.3	32.3 32.7 +1.3	574 28.99 -8.9	2812 26.41 -0.8	1.20	0.556 0.560 +0.8	0.5103	30.8	36.1	825	28.30 25.78 -8.9	2744 2788 +1.6	1.0066	0.156 0.165 +5.5	0.972					
8	măsur. calc. ε [%]	0.0621 31.8 +0.5	81.2 31.9 +0.5	31.8 31.9 +0.5	672 34.47 -4.1	3118 33.04 -0.3	1.20	0.703 0.701 -0.3	0.7793	30.7	34.6	1262	33.65 32.26 -4.1	3084 3108 +0.8	1.0066	0.332 0.331 -0.1	0.978					
9	măsur. calc. ε [%]	0.0621 31.6 -1.0	80.6 31.3 -1.0	31.6 31.3 -1.0	673 29.55 +6.6	3092 31.51 +0.6	1.20	0.703 0.699 -0.6	0.6771	29.7	34.2	1099	28.85 30.76 +6.6	3092 3112 +0.7	1.0066	0.253 0.261 +3.2	0.963					
10	măsur. calc. ε [%]	0.0621 32.0 -0.3	80.8 31.9 -0.3	32.0 31.9 -0.3	672 30.03 +2.0	3080 30.62 +0.2	1.20	0.703 0.701 -0.4	0.6244	30.1	34.9	1012	29.31 29.89 +2.0	3041 3086 +1.5	1.0066	0.225 0.229 +2.0	0.963					

Tab. J1 Mărimi măsurate și calculate pentru răcitorul de aer

Re-	A T R C A I D										A E R R I C E										ϕ [-]
	Tipul mărimii	m [kg/s]	t^* [°C]	t^{**} [°C]	Re [-]	k [W/m ² K]	Q [W]	p^* [bar]	dp [%]	ma [kg/s]	t^* [°C]	t^{**} [°C]	Re [-]	k [W/m ² K]	Q [W]	p^* [bar]	dp [%]				
11	măsur. calc. ε [%]	0.0621	80.7	32.8	32.8	6/2	29.23 30.23	3023	1.20	0.703	30.6	36.0	875	28.53 28.34	2967	1.0066	0.175	0.956			
			+0.1				-0.7 -0.1			-0.2		+0.3		-0.7 +1.8			+3.7				
12	măsur. calc. ε [%]	0.0620	81.0	33.6	33.9	6/0	28.15 26.97	2987	1.20	0.703	30.9	37.2	728	27.48 26.32	2886	1.0066	0.127	0.946			
			+0.8				-4.2 -0.6			-0.2		+0.5		-4.2 +2.9			+5.9				
13	măsur. calc. ε [%]	0.0694	84.9	32.7	32.4	7/1	33.04 34.93	3682	1.20	0.834	30.7	35.3	1248	32.25 34.10	3602	1.0066	0.332	0.963			
			-0.9				+5.7 +0.6			+0.4		+0.4		+5.7 +2.8			-1.6				
14	măsur. calc. ε [%]	0.0694	82.6	33.3	32.8	7/9	30.89 33.76	3477	1.20	0.834	30.9	35.7	1133	30.15 32.95	3414	1.0066	0.282	0.954			
			-1.5				+9.3 +1.0			+0.0		+0.4		+9.3 +2.9			-1.2				
15	măsur. calc. ε [%]	0.0694	82.3	33.7	33.4	7/8	31.01 32.36	3428	1.20	0.834	31.2	36.5	1010	30.28 31.59	3363	1.0066	0.225	0.951			
			-0.8				+4.3 +0.5			+0.1		+0.4		+4.3 +2.5			+2.9				
16	măsur. calc. ε [%]	0.0694	82.0	33.2	32.9	7/9	29.42 30.70	3442	1.20	0.834	30.1	36.2	886	28.72 29.97	3391	1.0066	0.176	0.940			
			-0.9				+4.4 +0.6			-0.1		+0.4		+4.4 +2.1			+5.1				
17	măsur. calc. ε [%]	0.0694	81.5	34.4	34.3	7/9	28.55 28.99	3322	1.20	0.834	30.9	37.7	769	27.87 28.30	3292	1.0066	0.146	0.931			
			-0.3				+1.5 +0.2			+0.1		+0.2		+1.5 +1.2			+1.1				
18	măsur. calc. ε [%]	0.0788	83.9	32.8	32.6	8/9	36.24 31.41	4093	1.20	1.013	30.5	35.6	1266	35.38 36.52	4051	1.0066	0.332	0.957			
			-0.6				+3.2 +0.4			+0.2		+0.2		+3.2 +1.4			+0.8				
19	măsur. calc. ε [%]	0.0788	82.3	33.0	32.6	8/1	35.19 31.40	3948	1.20	1.013	30.6	35.5	1266	34.35 36.51	3892	1.0066	0.332	0.954			
			-1.1				+6.3 +0.7			-0.2		+0.3		+6.3 +2.2			+0.8				
20	măsur. calc. ε [%]	0.0788	82.0	34.3	33.9	8/0	33.87 36.16	3820	1.20	1.013	31.6	36.8	1152	33.07 35.30	3768	1.0066	0.292	0.946			
			-1.2				+6.8 +0.8			+0.0		+0.3		+6.8 +2.2			-1.2				

continuare

Tab. J1 Mărimi măsurate și calculate pentru răcirilor de aer

Re-	Tipul nr./	A E R C A L D										A E R R E C E										ϕ [-]
		m [kg/s]	t. [°C]	t'. [°C]	Re	k [W/m ² K]	Q [W]	p'. [bar]	dp [%]	m _a [kg/s]	t'. [°C]	t''. [°C]	Re	k [W/m ² K]	Q [W]	p'. [bar]	dp [%]					
21	măsur. calc. ε [%]	0.0787	81.9	35.0	848	33.00	3752	1.20	1.013	0.6414	32.0	37.8	1033	32.22	3710	1.0066	0.233	0.940				
				-0.9		34.67	3778	1.013				+0.3					+3.6					
22	măsur. calc. ε [%]	0.0787	81.7	35.0	848	32.08	3736	1.20	1.013	0.5774	31.6	37.8	930	31.31	3633	1.0066	0.195	0.932				
				-0.7		33.20	3755	1.013				+0.6					+4.3					
23	măsur. calc. ε [%]	0.0787	81.7	35.6	847	29.40	3688	1.20	1.013	0.5048	31.2	38.3	813	28.70	3637	1.0066	0.156	0.913				
				-1.4		31.33	3729	1.014				+0.5					+4.2					
24	măsur. calc. ε [%]	0.0814	80.6	33.3	880	35.09	3913	1.20	1.063	0.7669	30.7	35.6	1240	34.26	3813	1.0066	0.321	0.948				
				-1.3		37.71	3949	1.060				+0.5					+0.8					
25	măsur. calc. ε [%]	0.0814	80.4	34.1	879	35.31	3830	1.20	1.063	0.7185	31.5	36.6	1159	34.47	3719	1.0066	0.292	0.947				
				-0.7		36.80	3851	1.062				+0.5					-0.3					
26	măsur. calc. ε [%]	0.0814	80.6	34.3	879	37.91	3830	1.20	1.063	0.6587	32.0	37.6	1061	37.01	3743	1.0066	0.243	0.953				
				+1.1		35.57	3800	1.064				+0.2					+3.9					
27	măsur. calc. ε [%]	0.0814	80.6	35.4	878	32.82	3740	1.20	1.063	0.5890	32.0	38.1	948	32.04	3646	1.0066	0.205	0.930				
				-0.7		33.98	3760	1.065				+0.5					+2.7					
28	măsur. calc. ε [%]	0.0814	80.7	36.6	877	30.37	3607	1.20	1.063	0.4961	32.3	39.4	797	29.65	3575	1.0066	0.156	0.910				
				-0.8		31.53	3637	1.067				+0.3					+1.7					
29	măsur. calc. ε [%]	0.0843	79.0	34.4	912	36.24	3821	1.20	1.117	0.7763	31.9	36.6	1252	35.38	3703	1.0066	0.332	0.947				
				-1.0		38.53	3851	1.117				+0.5					-0.0					
30	măsur. calc. ε [%]	0.0843	78.7	34.7	912	34.72	3770	1.20	1.120	0.7076	31.8	37.0	1133	33.89	3708	1.0066	0.282	0.938				
				-1.2		37.07	3805	1.117				+0.4					-0.4					

continuare

cont. Inuare

Tab. J1 Mărimi măsurate și calcule pentru răcitorul de aer

Re- știn nr.	Tipul mărimii	A E R C A L D						A E R R E C E						ϕ [-]								
		m [kg/s]	t. [°C]	t. [°C]	Re [-]	k [W/m ² K]	Q [W]	dp [k]	p. [bar]	m [kg/s]	t. [°C]	t. [°C]	Re [-]		k [W/m ² K]	Q [W]	p. [bar]	dp [k]				
31	măsur. calc. ε [k]	0.0843	78.6	35.5	911	33.11	3693	1.20	1.120	1.120	1.119	0.5922	32.0	38.0	953	32.37	3606	1.0066	0.205	0.212	+3.6	0.925
32	măsur. calc. ε [k]	0.0872	80.6	32.8	943	38.11	4236	1.20	1.178	1.176	0.7867	30.2	35.4	1274	37.20	4151	1.0066	0.341	0.337	-1.1	0.948	
33	măsur. calc. ε [k]	0.0872	80.4	33.2	943	38.00	4183	1.20	1.178	1.177	0.7318	30.5	36.0	1183	37.10	4084	1.0066	0.302	0.299	-0.9	0.946	
34	măsur. calc. ε [k]	0.0872	80.6	33.7	942	38.04	4156	1.20	1.178	1.179	0.6815	30.9	36.8	1100	37.13	4080	1.0066	0.273	0.267	-2.4	0.944	
35	măsur. calc. ε [k]	0.0872	80.6	34.3	942	37.01	4103	1.20	1.178	1.181	0.6306	31.2	37.5	1017	36.13	4032	1.0066	0.225	0.235	+4.6	0.937	
36	măsur. calc. ε [k]	0.0872	80.9	35.1	940	35.24	4059	1.20	1.185	1.184	0.5595	31.4	38.4	901	34.40	3975	1.0066	0.185	0.193	+4.4	0.925	
37	măsur. calc. ε [k]	0.0986	81.1	35.2	1063	42.99	4600	1.20	1.431	1.428	0.7899	32.5	38.1	1271	41.97	4489	1.0066	0.341	0.343	+0.6	0.944	
38	măsur. calc. ε [k]	0.0986	81.2	35.7	1063	40.08	4536	1.20	1.431	1.430	0.7147	32.6	38.8	1148	40.52	4497	1.0066	0.292	0.291	-0.5	0.936	
39	măsur. calc. ε [k]	0.0986	81.5	36.3	1063	39.08	4522	1.20	1.431	1.433	0.6701	32.7	39.3	1076	38.49	4489	1.0066	0.263	0.261	-0.7	0.926	
40	măsur. calc. ε [k]	0.0986	81.7	37.2	1060	38.34	4460	1.20	1.438	1.437	0.5862	33.1	40.5	939	37.43	4403	1.0066	0.205	0.210	+2.6	0.916	

Tab. J1 Mărimi măsurate și calculate pentru răcitorul de aer

Re- gim nr.	Tipul mărimii	A T R C A I D						A E R R E C E						ϕ [-]				
		m [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	Re [-]	k [W/m ² K]	Q [W]	ma [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	Re [-]	k [W/m ² K]	Q [W]		p' [bar]	dp [%]		
41	măsur.	0.0986	81.9	38.1	1058	36.76	4390	1.20	1.438	0.5123	33.3	41.6	820	35.88	4316	1.0066	0.166	0.901
	calc. ε [%]		38.6 +1.4	38.6 +1.4		34.51 -6.1	4337 -1.2		1.441 +0.2		41.6 +0.1			33.69 -6.1	4337 +0.5		0.168 +1.5	
42	măsur.	0.1012	81.6	36.3	1089	41.95	4660	1.20	1.487	0.7710	33.2	39.1	1238	40.96	4617	1.0066	0.332	0.936
	calc. ε [%]		36.3 +0.0	36.3 +0.0		41.86 -0.2	4659 -0.0		1.491 +0.2		39.2 +0.1			40.86 -0.2	4659 +0.9		0.330 -0.4	
43	măsur.	0.1012	81.3	36.7	1089	41.11	4588	1.20	1.487	0.6979	33.3	39.7	1119	40.14	4533	1.0066	0.282	0.929
	calc. ε [%]		36.9 +0.5	36.9 +0.5		40.14 -2.4	4571 -0.4		1.492 +0.3		39.8 +0.1			39.18 -2.4	4571 +0.8		0.280 -0.6	
44	măsur.	0.1012	81.0	37.5	1088	39.20	4475	1.20	1.496	0.6351	33.6	40.6	1017	38.27	4512	1.0066	0.233	0.918
	calc. ε [%]		37.5 +0.3	37.5 +0.3		38.52 -1.7	4461 -0.3		1.493 -0.2		40.5 -0.2			37.60 -1.7	4461 -1.1		0.240 +2.9	
45	măsur.	0.1012	81.4	38.5	1086	37.45	4413	1.20	1.496	0.5742	34.0	41.7	918	36.55	4488	1.0066	0.195	0.905
	calc. ε [%]		38.6 +0.4	38.6 +0.4		36.80 -1.7	4399 -0.3		1.498 +0.1		41.5 -0.4			35.92 -1.7	4399 -2.0		0.204 +4.6	
46	măsur.	0.1012	82.1	38.8	1085	38.16	4454	1.20	1.504	0.5168	34.1	42.5	825	37.26	4407	1.0066	0.166	0.902
	calc. ε [%]		39.5 +1.9	39.5 +1.9		35.01 -8.3	4380 -1.7		1.502 -0.1		42.5 -0.1			34.18 -8.3	4380 -0.6		0.171 +3.4	

Program SCAR23 IAS Rulare la data: 03-14-1997

REM Program SCAR35.BAS

REM Acest program efectuează prelucrarea măsurătorilor experimentale cu
 REM determinarea valorilor coeficientului de transfer termic total k
 REM si ale coeficientului de transfer termic prin suprafață α

DECLARE SUB Aer (t!, p!, x, eta!, pr!, cp!, v!, lambda!)

LPRINT CHR\$(27); CHR\$(69):
 LPRINT CHR\$(27); CHR\$(38); CHR\$(107); CHR\$(50); CHR\$(83); ' Pitch: compressed
 LPRINT CHR\$(27); CHR\$(40); CHR\$(115); "9"; CHR\$(86)
 WIDTH LPRINT 177
 LPRINT CHR\$(27); CHR\$(38); CHR\$(108); CHR\$(49); CHR\$(79); ' Orientation: Landscape
 LPRINT CHR\$(27); CHR\$(38); CHR\$(108); "6"; CHR\$(69):
 LPRINT CHR\$(27); CHR\$(38); CHR\$(97); "12"; CHR\$(76):
 LPRINT CHR\$(27); CHR\$(38); CHR\$(108); CHR\$(56); CHR\$(68):
 LPRINT : LPRINT : LPRINT SPC(30); "Tab. XXX. Mărimi măsurate si calculate la încercarea răcitorului de aer"

A E R C A L D										A E R R E C E				
Re- gim nr.	m [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	Re [-]	k [W/m²K]	Q [W]	w [m/s]	α [W/m²K]	ma [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	Re [-]	k [W/m²K]	

PRELUCRAREA MARIMILOR MASURATE

DATA 0.0047, .0005483, .0003, .789, 1488.7, .0005, .012578, 230, .01, .02795, .1935, 41, 42, 46
 DATA 667, 667, 667, 667, 667, 667, 844, 844, 844, 844, 844, 1001, 1001, 1001, 1001, 1001
 DATA 1216, 1216, 1216, 1216, 1216, 1216, 1275, 1275, 1275, 1275, 1275, 1344, 1344, 1344
 DATA 1413, 1413, 1413, 1413, 1422, 1717, 1717, 1717, 1726, 1726, 1785, 1785, 1795, 1795, 1805

 DATA 334, 334, 294, 284, 235, 196, 157, 334, 255, 226, 176, 128, 334, 284, 226, 177, 147, 334
 DATA 334, 294, 235, 196, 157, 323, 294, 245, 206, 157, 334, 284, 206, 343, 304, 275, 226, 186
 DATA 343, 294, 265, 206, 167, 334, 284, 235, 196, 167

 DATA 534, 796, 304, 7796, 293, 327, 534, 812, 306, 7800, 296, 330, 534, 826, 307, 7378, 294, 331, 534, 843
 DATA 308, 7024, 297, 337, 534, 845, 315, 6385, 301, 345, 533, 841, 320, 5740, 304, 352, 533, 842, 323, 5103
 DATA 308, 361

 DATA 621, 812, 318, 7793, 307, 346, 621, 806, 316, 6771, 297, 342, 621, 808, 320, 6244, 301, 349, 621, 807
 DATA 328, 5414, 306, 360, 620, 810, 336, 4514, 309, 372

 DATA 694, 849, 327, 7716, 307, 353, 694, 826, 333, 7010, 309, 357, 694, 823, 337, 6253, 312, 365, 694, 820
 DATA 332, 5478, 301, 362, 694, 815, 344, 4770, 309, 377

 DATA 788, 839, 328, 7827, 305, 356, 788, 823, 330, 7827, 305, 355, 788, 620, 333, 7141, 316, 348, 787, 819
 DATA 350, 6414, 320, 377, 787, 817, 350, 5774, 316, 378, 787, 817, 356, 5048, 312, 383

 DATA 814, 806, 333, 7669, 307, 356, 814, 804, 341, 7185, 315, 366, 814, 806, 343, 6587, 320, 376, 814, 806
 DATA 354, 5890, 320, 381, 814, 802, 366, 4961, 323, 394

 DATA 843, 790, 344, 7763, 319, 366, 843, 787, 347, 7026, 318, 370, 843, 786, 355, 5922, 320, 380

 DATA 872, 806, 328, 7867, 302, 354, 872, 804, 332, 7318, 305, 360, 872, 806, 337, 6815, 309, 368, 872, 806
 DATA 343, 6306, 312, 375, 872, 809, 351, 5595, 314, 384

 DATA 986, 811, 352, 7899, 325, 381, 986, 812, 357, 7147, 326, 388, 986, 815, 363, 6701, 327, 393, 986, 817
 DATA 372, 5862, 331, 405, 986, 819, 381, 5123, 333, 416

 DATA 1012, 816, 363, 7710, 332, 391, 1012, 813, 367, 6979, 333, 397, 1012, 810, 375, 6351, 336, 406, 1012, 814
 DATA 385, 5742, 340, 417, 1012, 821, 388, 5168, 341, 425

 READ s, rh, b, O, Be, a, Vs, lb, x, Afc, Afr, nrcf, nrrf, regimf
 pcl = 120000: prl = 100660: ' Presiunile


```

DIM p(2, regim%)
FOR i% = 1 TO regim%: READ p(1, i%): NEXT
FOR i% = 1 TO regim%: READ p(2, i%): NEXT
.
.      Suprafata de schimb de căldură
Aunu = Be * s * nrc% / (s + a) / (nrc% + nrr%): Adoi = Be * s * nrr% / (s + a) / (nrc% + nrr%)
Ac = Aunu * Vs: Ar = Adoi * Vs
.
.      Sectiunile libere de curgere
CLS : F1 = Aunu * rh: F2 = Adoi * rh: Alc = F1 * Afc: Alr = F2 * Afr
FOR i% = 1 TO regim%
READ mc, tc1, tc2, mr, tr1, tr2
mc = mc / 10000: tc1 = tc1 / 10: tc2 = tc2 / 10: mr = mr / 10000: tr1 = tr1 / 10: tr2 = tr2 / 10
.
.      Temperaturile medii
tc = (tc1 + tc2) / 2: tr = (tr1 + tr2) / 2
.
.      Proprietățile medii ale aerului
p = pcl + .5 * p(1, i%)
CALL Aer(tc, p, x, ETAc, Prc, cpc, vc, LBDc)
p = prl + .5 * p(2, i%)
CALL Aer(tr, p, x, ETAr, Prr, cpr, vr, LBDr)
.
.      Valorile numărului Re
mmc = mc / Alc: mnr = mr / Alr: Rec = 4 * rh * mmc / ETAc: Rer = 4 * rh * mnr / ETAr
.
.      Calculul valorilor C1 si C2
Ccd = mc * cpc: Cre = mr * cpr
IF Ccd < Cre THEN
  C1 = Ccd: C2 = Cre: dt1 = tc1 - tc2: MI = C1 / C2: PHI = dt1 / (tc1 - tr1)
  KAPA = 1 / MI * LOG(1 / (1 + MI * LOG(1 - PHI))): REM Fluidul rece neamestecat
ELSEIF Ccd > Cre THEN
  C1 = Cre: C2 = Ccd: dt1 = tr2 - tr1: MI = C1 / C2: PHI = dt1 / (tc1 - tr1)
  KAPA = LOG(1 / (1 + 1 / MI * LOG(1 - MI * PHI))): REM Fluidul rece neamestecat
END IF
.
.      Calculul valorilor k, Q, dp
kr = KAPA * C1 / Ar: kc = KAPA * C1 / Ac
Qcd = Ccd * (tc1 - tc2): Qre = Cre * (tr2 - tr1)
dpc = p(1, i%) / pcl * 100: dpr = p(2, i%) / prl * 100
.
.      Calculul criteriului j
Jr = .0169 * Rer ^ (-.141)
Jc = .0169 * Rec ^ (-.141)
Sc = Jc / Prc ^ (2 / 3)
Sr = Jr / Prr ^ (2 / 3)
.
.      Coeficientul de schimb de căldură
ALFAC = Sc * mmc * cpc
ALFAR = Sr * mnr * cpr
wcd = mmc * vc
wre = mnr * vr
.

```

```

Tipărirea mărimilor măsurate

PRINT "Regim": i%
LPRINT "||": LPRINT USING "###": i%: LPRINT "|": LPRINT USING "##.###": mc:
LPRINT USING "#####.#": tc1: LPRINT USING "#####.#": tc2: LPRINT USING "#####": Rec:
LPRINT USING "#####.#": kc: LPRINT USING "#####": Qcd: LPRINT USING "#####.#": wcd:
LPRINT USING "#####.#": ALFAc: LPRINT "|":
LPRINT USING "##.###": mr: LPRINT USING "#####.#": tr1: LPRINT USING "#####.#": tr2:
LPRINT USING "#####": Rer: LPRINT USING "#####.#": kr: LPRINT USING "#####": Qre:
LPRINT USING "#####.#": wre: LPRINT USING "#####.#": ALFAr: LPRINT "|":
LPRINT USING "##.###": PHI: LPRINT "||"
IF i% MOD 36 = 0 THEN
  LPRINT "-----"
  LPRINT CHR$(27): CHR$(12):
  LPRINT : LPRINT : LPRINT
  LPRINT SPC(30): "Tab. XXX. Mărimi măsurate si calculate la încercarea răcitorului de aer"
  LPRINT "-----"
  LPRINT "Re-| A E R Ç A L D | A E R R E"
  LPRINT "|| gim | | | | | | | | | | | | | | | |"
  LPRINT "|| nr. | m | t' | t'' | Re | k | Q | w | a | ma | L' | t'' | Re | k"
  LPRINT "|| | [kg/s] | [°C] | [°C] | [-] | [W/m²K] | [W] | [m/s] | [W/m²K] | [kg/s] | [°C] | [°C] | [-] | [W/m"
  LPRINT "-----"
ELSEIF i% = 46 THEN
  LPRINT "-----"
  LPRINT "Program SCAR35.BAS Rulare la data: ": DATE$
  LPRINT CHR$(27): CHR$(12):
  LPRINT "-----"
END IF

NEXT i%

END

```

REM Program scris în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1997)

SUB Aer (t, p, x, eta, pr, cp, v, lambda)

REM Proprietatile fizice ale aerului

```

eta = (17.18 + .048 * t) * .000001
pr = .707 - .00019 * t
cp = (1003.4 + .067 * t) / (1 + x) + 1926 * x / (1 + x)
v = 461.4 * (.622 + x) * (t + 273.15) / p
lambda = .0244 + .000076 * t

```

END SUB

Tab. KI Mărimi măsurate și calculate la încercarea răcirii aerului de aer

Re- gim nr.	A E R C A L D										A E R R E C L										ϕ [-]
	m [kg/s]	L [*] [°C]	L ^{**} [°C]	Re [-]	k [W/m ² ·K]	Q [W]	w [m/s]	ϵ^r [W/m ² ·K]	ma [kg/s]	L [*] [°C]	L ^{**} [°C]	Re [-]	k [W/m ² ·K]	Q [W]	w [m/s]	ϵ^r [W/m ² ·K]					
1	0.0534	79.6	30.4	580	28.78	2970	4.17	46.71	0.7796	29.3	32.7	1268	28.03	2689	9.49	85.62	0.978				
2	0.0534	81.2	30.6	579	29.84	2746	4.18	46.74	0.7800	29.6	33.0	1268	28.13	2691	9.51	85.67	0.981				
3	0.0534	82.6	30.7	578	29.07	2817	4.19	46.76	0.7378	29.4	33.1	1199	27.40	2770	8.99	81.67	0.976				
4	0.0534	84.3	30.8	577	30.08	2904	4.20	46.78	0.7024	29.7	33.7	1140	29.37	2851	8.57	78.31	0.980				
5	0.0534	84.5	31.5	576	28.37	2877	4.21	46.80	0.6385	30.1	34.5	1035	27.70	2881	7.81	72.18	0.974				
6	0.0533	84.1	32.0	575	27.57	2822	4.20	46.72	0.5740	30.4	35.2	929	26.91	2796	7.04	65.89	0.970				
7	0.0533	84.2	32.3	574	28.99	2812	4.20	46.73	0.5103	30.8	36.1	825	28.30	2744	6.27	59.58	0.972				
8	0.0621	81.2	31.8	672	34.47	3118	4.87	53.23	0.7793	30.7	34.6	1262	33.65	3084	9.54	85.67	0.978				
9	0.0621	80.6	31.6	673	29.55	3092	4.86	53.22	0.6771	29.7	34.2	1099	28.85	3092	8.27	75.90	0.963				
10	0.0621	80.8	32.0	672	30.53	3080	4.87	53.22	0.6294	30.1	34.9	1012	29.31	3041	7.64	70.82	0.963				
11	0.0621	80.7	32.8	672	29.23	3023	4.87	53.23	0.5414	30.6	36.0	875	28.53	2967	6.65	62.68	0.956				
12	0.0620	81.0	33.6	670	28.15	2987	4.87	53.18	0.4514	30.9	37.2	728	27.48	2886	5.56	53.64	0.946				
13	0.0694	84.9	32.7	747	33.04	3682	5.47	58.64	0.7716	30.7	35.3	1248	32.25	3602	9.46	84.96	0.963				
14	0.0694	82.6	33.3	749	30.89	3477	5.46	58.61	0.7010	30.9	35.7	1133	30.15	3414	8.60	78.26	0.954				
15	0.0694	82.3	33.7	748	31.01	3429	5.46	58.60	0.6253	31.2	36.5	1010	30.28	3363	7.69	70.96	0.951				
16	0.0694	82.0	33.2	749	29.42	3442	5.45	58.60	0.5478	30.1	36.2	886	28.72	3391	6.72	63.31	0.940				
17	0.0694	81.5	34.4	749	28.55	3322	5.46	58.61	0.4770	30.9	37.7	769	27.87	3292	5.88	56.25	0.931				
18	0.0788	83.9	32.8	849	36.24	4093	6.20	65.38	0.7827	30.5	35.6	1266	35.38	4051	9.60	86.01	0.957				
19	0.0788	82.3	33.0	851	35.19	3948	6.19	65.35	0.7827	30.6	35.5	1266	34.35	3892	9.60	86.01	0.954				
20	0.0788	82.0	33.3	852	33.24	2297	6.00	64.97	0.7141	31.6	34.8	1155	32.45	2319	8.76	79.50	0.944				
21	0.0787	81.9	35.0	848	33.00	3752	6.19	65.31	0.6414	32.0	37.7	1033	32.22	3710	7.91	72.57	0.940				
22	0.0787	81.7	35.0	848	32.08	3736	6.19	65.31	0.5774	31.6	37.8	930	31.31	3633	7.12	66.30	0.932				
23	0.0787	81.7	35.6	847	29.10	3688	6.20	65.32	0.5008	31.2	38.3	813	29.70	3637	6.23	59.07	0.913				
24	0.0814	80.6	33.3	880	35.09	3913	6.38	67.17	0.7669	30.7	35.6	1240	34.26	3813	9.40	84.53	0.948				
25	0.0814	80.4	34.1	879	35.31	3830	6.38	67.19	0.7185	31.5	36.6	1159	34.47	3719	8.84	79.97	0.947				
26	0.0814	80.6	34.3	879	31.91	3830	6.39	67.19	0.6587	32.0	37.6	1061	31.01	3743	8.12	74.25	0.953				
27	0.0814	80.6	35.4	878	32.82	3740	6.40	67.27	0.5890	32.0	38.1	948	32.04	3646	7.27	67.46	0.930				
28	0.0814	80.2	36.6	874	30.37	3607	6.40	67.23	0.4951	32.3	39.4	797	29.65	3575	6.14	58.24	0.910				
29	0.0843	79.0	34.4	912	36.24	3821	6.60	69.21	0.7763	31.9	36.6	1252	35.38	3703	9.55	85.47	0.947				
30	0.0843	78.7	34.7	912	34.72	3770	6.60	69.21	0.7026	31.8	37.0	1133	33.89	3708	8.65	78.46	0.938				
31	0.0843	78.6	35.5	911	33.11	3693	6.60	69.23	0.5922	32.0	38.0	953	32.32	3606	7.31	67.77	0.925				
32	0.0872	80.6	32.8	943	38.11	4236	6.82	71.26	0.7867	30.2	35.4	1274	37.20	4151	9.64	86.38	0.948				
33	0.0872	80.4	33.2	943	38.00	4183	6.82	71.26	0.7318	30.5	36.0	1183	37.10	4084	8.98	81.20	0.946				
34	0.0872	80.6	33.7	942	37.04	4156	6.83	71.27	0.6815	30.9	36.8	1100	37.13	4080	8.38	76.41	0.944				
35	0.0872	80.6	34.3	942	37.01	4103	6.84	71.29	0.6306	31.2	37.5	1017	36.13	4032	7.77	71.50	0.937				
36	0.0872	80.9	35.1	940	35.24	4059	6.85	71.31	0.5595	31.4	38.4	901	34.40	3975	6.91	64.54	0.925				

Tab K1 Mărimi măsurate și calculate la încercarea răcirii aerului de aer

continuare

Re- știm nr.	A L E R C A I D						A E R R E C E						ϕ [-]				
	m [kg/s]	t^* [°C]	t^{**} [°C]	Re [-]	k [W/m ² K]	Q [W]	w [m/s]	ϵ_r [W/m ² K]	md [kg/s]	t^* [°C]	t^{**} [°C]	Re [-]		k [W/m ² K]	Q [W]	w [m/s]	α [W/m ² K]
37	0.0986	81.1	35.2	1063	42.99	4600	7.74	79.25	0.7899	32.5	38.1	1271	41.97	4489	9.75	86.81	0.944
38	0.0986	81.2	35.7	1062	41.51	4560	7.74	79.27	0.7147	32.6	38.8	1148	40.52	4497	8.84	79.68	0.936
39	0.0986	81.5	36.3	1061	39.43	4530	7.76	79.29	0.6701	32.7	39.3	1076	38.49	4489	8.30	75.41	0.926
40	0.0986	81.7	37.2	1060	38.34	4460	7.77	79.31	0.5862	33.1	40.5	939	37.43	4403	7.28	67.25	0.916
41	0.0986	81.9	38.1	1058	36.76	4390	7.78	79.34	0.5123	33.3	41.6	820	35.88	4316	6.38	59.93	0.901
42	0.1012	81.6	36.3	1089	41.95	4660	7.96	81.08	0.7710	33.2	39.1	1238	40.96	4617	9.55	85.07	0.936
43	0.1012	81.3	36.7	1089	41.11	4588	7.96	81.09	0.6979	33.3	39.7	1119	40.14	4533	8.65	78.11	0.929
44	0.1012	81.0	37.5	1088	39.20	4475	7.97	81.10	0.6351	33.6	40.6	1017	38.27	4512	7.89	72.06	0.918
45	0.1012	81.4	38.5	1086	37.45	4413	7.98	81.13	0.5742	34.0	41.7	918	36.55	4488	7.15	66.11	0.905
46	0.1012	82.1	38.8	1085	38.16	4454	7.99	81.16	0.5168	34.1	42.5	825	37.26	4407	6.45	60.41	0.902

Program SCAR33, IAS Rutare la data: 03-14-1997

Anexa L

REM Program SCAR34.BAS

REM Acest program efectuează calculul indicilor de evaluare termodinamică
 REM ai schimbătorului de căldură aer-aer pe baza valorilor obținute la
 REM încercările de pe stand.

DECLARE SUB Aer (t!, p!, x. eta!, pr!, cp!, v!, lambda!)

```
LPRINT CHR$(27); CHR$(69):
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(107); CHR$(50); CHR$(83); ' Pitch: compressed
LPRINT CHR$(27); CHR$(40); CHR$(115); "9"; CHR$(86):
WIDTH LPRINT 177
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(48); CHR$(79); ' Orientation: Portrait
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "62"; CHR$(80):
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "10"; CHR$(69):
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(97); "20"; CHR$(76):
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(56); CHR$(68):
```

LPRINT : LPRINT : LPRINT SPC(10); "Tab. XXY. Valorile indicilor de evaluare termodinamică pentru răcitorul de aer

Re- gim nr.	A E R C A L D				A E R R E C E				Indice 1	Indice 2	Indice 3	Indice 4
	m [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	Re [-]	ma [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	Re [-]				
:	PRELUCRAREA MARIMILOR MASURATE											

DATA 0.0047. .0005483. .0003. .789. 1488.7. .0005. .012578. 230. 01. .02795. 1935. 41. 42. 46

DATA 667. 667. 667. 667. 667. 667. 844. 844. 844. 844. 844. 1001. 1001. 1001. 1001. 1001

DATA 1216. 1216. 1216. 1216. 1216. 1216. 1275. 1275. 1275. 1275. 1275. 1344. 1344. 1344

DATA 1413. 1413. 1413. 1413. 1422. 1717. 1717. 1717. 1726. 1726. 1785. 1785. 1795. 1795. 1805

DATA 334. 334. 294. 284. 235. 196. 157. 334. 255. 226. 176. 128. 334. 284. 226. 177. 147. 334

DATA 334. 294. 235. 196. 157. 323. 294. 245. 206. 157. 334. 284. 206. 343. 304. 275. 226. 186

DATA 343. 294. 265. 206. 167. 334. 284. 235. 196. 167

DATA 534. 796. 304. 7796. 293. 327. 534. 812. 306. 7800. 296. 330. 534. 826. 307. 7378. 294. 331. 534. 843

DATA 308. 7024. 297. 337. 534. 845. 315. 6385. 301. 345. 533. 841. 320. 5740. 304. 352. 533. 842. 323. 5103

DATA 308. 361

DATA 621. 812. 318. 7793. 307. 346. 621. 806. 316. 6771. 297. 342. 621. 808. 320. 6244. 301. 349. 621. 807

DATA 328. 5414. 306. 360. 620. 810. 336. 4514. 309. 372

DATA 694. 849. 327. 7716. 307. 353. 694. 826. 333. 7010. 309. 357. 694. 823. 337. 6253. 312. 365. 694. 820

DATA 332. 5478. 301. 362. 694. 815. 344. 4770. 309. 377

DATA 788. 839. 328. 7827. 305. 356. 788. 823. 330. 7827. 306. 355. 788. 620. 333. 7141. 316. 348. 787. 819

DATA 350. 6414. 320. 377. 787. 817. 350. 5774. 316. 378. 787. 817. 356. 5048. 312. 383

DATA 814. 806. 333. 7669. 307. 356. 814. 804. 341. 7185. 315. 366. 814. 806. 343. 6587. 320. 376. 814. 806

DATA 354. 5890. 320. 381. 814. 802. 366. 4961. 323. 394

DATA 843. 790. 344. 7763. 319. 366. 843. 787. 347. 7026. 318. 370. 843. 786. 355. 5922. 320. 380

DATA 872. 806. 328. 7867. 302. 354. 872. 804. 332. 7318. 305. 360. 872. 806. 337. 6815. 309. 368. 872. 806

DATA 343. 6306. 312. 375. 872. 809. 351. 5595. 314. 384

DATA 986. 811. 352. 7899. 325. 381. 986. 812. 357. 7147. 325. 388. 986. 815. 363. 6701. 327. 393. 986. 817

DATA 372. 5862. 331. 405. 986. 819. 381. 5123. 333. 416

DATA 1012. 816. 363. 7710. 332. 391. 1012. 813. 367. 6979. 333. 397. 1012. 810. 375. 6351. 336. 406. 1012. 814

DATA 385. 5742. 340. 417. 1012. 821. 388. 5168. 341. 425

```

READ s, rh, b, O, Be, a, Vs, lb, x, Afc, Afr, nrc%, nrr%, regim%
pcl = 120000: pr1 = 100660: ' Presiunile
DIM p(2, regim%)
FOR i% = 1 TO regim%: READ p(1, i%): NEXT
FOR i% = 1 TO regim%: READ p(2, i%): NEXT
.
.      Suprafata de schimb de căldură
Aunu = Be * s * nrc% / (s + a) / (nrc% + nrr%): Adoi = Be * s * nrr% / (s + a) / (nrc% + nrr%)
Ac = Aunu * Vs: Ar = Adoi * Vs
.
.      Sectiunile libere de curgere
CLS : F1 = Aunu * rh: F2 = Adoi * rh: Alc = F1 * Afc: Alr = F2 * Afr
FOR i% = 1 TO regim%
READ mc, tc1, tc2, mr, tr1, tr2
mc = mc / 10000: tc1 = tc1 / 10: tc2 = tc2 / 10: mr = mr / 10000: tr1 = tr1 / 10: tr2 = tr2 / 10
.
.      Temperaturile medii
tc = (tc1 + tc2) / 2: tr = (tr1 + tr2) / 2
.
.      Proprietățile medii ale aerului
p = pcl + .5 * p(1, i%)
CALL Aer(tc, p, x, ETAc, Prc, cpc, vc, LBDc)
p = pr1 + .5 * p(2, i%)
CALL Aer(tr, p, x, ETAr, Prr, cpr, vr, LBDr)
.
.      Valorile numărului Re
mmc = mc / Alc: mnr = mr / Alr: Rec = 4 * rh * mmc / ETAc: Rer = 4 * rh * mnr / ETAr
.
.      Calculul valorilor C1 si C2
Ccd = mc * cpc: Cre = mr * cpr
IF Ccd < Cre THEN
  C1 = Ccd: C2 = Cre: dT1 = tc1 - tc2: MI = C1 / C2: PHI = dT1 / (tc1 - tr1)
  KAPA = 1 / MI * LOG(1 / (1 + MI * LOG(1 - PHI))): REM Fluidul rece neamestecat
ELSEIF Ccd > Cre THEN
  C1 = Cre: C2 = Ccd: dT1 = tr2 - tr1: MI = C1 / C2: PHI = dT1 / (tc1 - tr1)
  KAPA = LOG(1 / (1 + 1 / MI * LOG(1 - MI * PHI))): REM Fluidul rece neamestecat
END IF
.
.      Calculul valorilor k, Q, dp
kr = KAPA * C1 / Ar: kc = KAPA * C1 / Ac
Qcd = Ccd * (tc1 - tc2): Qre = Cre * (tr2 - tr1)
dpc = p(1, i%) / pcl * 100: dpr = p(2, i%) / pr1 * 100
.
.      Indicii de evaluare termodinamică a răcitorului
CALL Aer(tc1, pcl, x, etac1!, prc1!, cpc1!, vc1!, lambdac1!)
pc2 = pcl - p(1, i%)
CALL Aer(tc2, pc2, x, etac2!, prc2!, cpc2!, vc2!, lambdac2!)
ROR = 1 / vc2: ROS = 1 / vc1: dRO = ROR - ROS: dROb = dRO / ROS
dT1 = tc1 - tc2: dRObdT = dROb / dT1
CALL Aer(tr1, pcl, x, etacmx1!, prcmx1!, cpcmx1!, vcmx1!, lambdacmx1!)
ROMx = 1 / vcmx1: dROMx = ROMx - ROS: ETARo = dRO / dROMx
TETA = (tc1 + 273.15) / (tr1 + 273.15)

```

```

*
*      Tipărirea mărimilor măsurate
*
PRINT "Regim": i%
LPRINT "||":
LPRINT USING "###": i%;
LPRINT " |":
LPRINT USING "##.####": mc:
LPRINT USING "####.#": tc1:
LPRINT USING "####.#": tc2:
LPRINT USING "#####": Rec:
LPRINT " |":
LPRINT USING "##.####": mr:
LPRINT USING "####.#": tr1:
LPRINT USING "####.#": tr2:
LPRINT USING "#####": Rer:
LPRINT " |":
LPRINT USING "##.###": dROB:
LPRINT USING "###.####": dRObdT:
LPRINT USING "###.###": ETARo:
LPRINT USING "####.###": TETA:
LPRINT " ||"

sumdROb = sumdROB + dROB
sumdRObdT = sumdRObdT + dRObdT
sumETARo = sumETARo + ETARo
sumTETA = sumTETA + TETA

NEXT i%
LPRINT "||-----||"
LPRINT "|| Valorile medii ale indicilor de evaluare termodinamică: |":
LPRINT USING "##.###": sumdROB / regim%;
LPRINT USING "###.####": sumdRObdT / regim%;
LPRINT USING "###.###": sumETARo / regim%;
LPRINT USING "####.###": sumTETA / regim%;
LPRINT " ||"

LPRINT "-----||"
LPRINT "Program SCAR34.BAS   Rulare la data: ": DATE$
LPRINT CHR$(27): CHR$(12):

END

REM Originalul scris în BASIC pentru microcalculatorul Amstrad (1991)
REM Versiunea actuală transcrisă în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1997)

SUB Aer (t. p. x. eta. pr. cp. v. lambda)

REM Proprietatile fizice ale aerului

eta = (17.18 + .048 * t) * .000001
pr = .707 - .00019 * t
cp = (1003.4 + .067 * t) / (1 + x) + 1926 * x / (1 + x)
v = 461.4 * (.622 + x) * (t + 273.15) / p
lambda = .0244 + .000076 * t

END SUB

```

Tab.L1 Valorile indicilor de evaluare termodinamică pentru răcitorul de aer

Re-gim nr.	A E R C A L D				A E R R E C E				Indice 1	Indice 2	Indice 3	Indice 4
	m [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	Re [-]	ma [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	Re [-]				
1	0.0534	79.6	30.4	580	0.7796	29.3	32.7	1268	0.156	0.00316	0.936	1.166
2	0.0534	81.2	30.6	579	0.7800	29.6	33.0	1268	0.160	0.00316	0.939	1.170
3	0.0534	82.6	30.7	578	0.7378	29.4	33.1	1199	0.164	0.00317	0.934	1.176
4	0.0534	84.3	30.8	577	0.7024	29.7	33.7	1140	0.169	0.00317	0.940	1.180
5	0.0534	84.5	31.5	576	0.6385	30.1	34.5	1035	0.167	0.00316	0.933	1.179
6	0.0533	84.1	32.0	575	0.5740	30.4	35.2	929	0.164	0.00315	0.928	1.177
7	0.0533	84.2	32.3	574	0.5103	30.8	36.1	825	0.163	0.00315	0.930	1.176
8	0.0621	81.2	31.8	672	0.7793	30.7	34.6	1262	0.154	0.00311	0.926	1.166
9	0.0621	80.6	31.6	673	0.6771	29.7	34.2	1099	0.153	0.00311	0.908	1.168
10	0.0621	80.8	32.0	672	0.6244	30.1	34.9	1012	0.152	0.00311	0.908	1.167
11	0.0621	80.7	32.8	672	0.5414	30.6	36.0	875	0.148	0.00310	0.900	1.165
12	0.0620	81.0	33.6	670	0.4514	30.9	37.2	728	0.146	0.00309	0.889	1.165
13	0.0694	84.9	32.7	747	0.7716	30.7	35.3	1248	0.161	0.00308	0.902	1.178
14	0.0694	82.6	33.3	749	0.7010	30.9	35.7	1133	0.151	0.00307	0.889	1.170
15	0.0694	82.3	33.7	748	0.6253	31.2	36.5	1010	0.149	0.00306	0.886	1.168
16	0.0694	82.0	33.2	749	0.5478	30.1	36.2	886	0.150	0.00307	0.874	1.171
17	0.0694	81.5	34.4	749	0.4770	30.9	37.7	769	0.144	0.00305	0.862	1.166
18	0.0788	83.9	32.8	849	0.7827	30.5	35.6	1266	0.155	0.00304	0.882	1.176
19	0.0788	82.3	33.0	851	0.7827	30.6	35.5	1266	0.149	0.00303	0.877	1.170
20	0.0788	82.0	33.3	872	0.7141	31.6	34.8	1155	0.083	0.00288	0.828	1.100
21	0.0787	81.9	35.0	848	0.6414	32.0	37.7	1033	0.141	0.00300	0.859	1.164
22	0.0787	81.7	35.0	848	0.5774	31.6	37.8	930	0.140	0.00300	0.851	1.164
23	0.0787	81.7	35.6	847	0.5048	31.2	38.3	813	0.138	0.00299	0.830	1.166
24	0.0814	80.6	33.3	880	0.7669	30.7	35.6	1240	0.142	0.00300	0.865	1.164
25	0.0814	80.4	34.1	879	0.7185	31.5	36.6	1159	0.138	0.00299	0.863	1.161
26	0.0814	80.6	34.3	879	0.6587	32.0	37.6	1061	0.138	0.00299	0.869	1.159
27	0.0814	80.6	35.4	878	0.5890	32.0	38.1	948	0.134	0.00297	0.843	1.159
28	0.0814	80.2	36.6	877	0.4961	32.3	39.4	797	0.129	0.00295	0.820	1.157
29	0.0843	79.0	34.4	912	0.7763	31.9	36.6	1252	0.132	0.00296	0.856	1.154
30	0.0843	78.7	34.7	912	0.7026	31.8	37.0	1133	0.130	0.00296	0.846	1.154
31	0.0843	78.6	35.5	911	0.5922	32.0	38.0	953	0.127	0.00294	0.831	1.153
32	0.0872	80.6	32.8	943	0.7867	30.2	35.4	1274	0.143	0.00298	0.858	1.166
33	0.0872	80.4	33.2	943	0.7318	30.5	36.0	1183	0.140	0.00298	0.855	1.164
34	0.0872	80.6	33.7	942	0.6815	30.9	36.8	1100	0.139	0.00297	0.852	1.163
35	0.0872	80.6	34.3	942	0.6306	31.2	37.5	1017	0.137	0.00296	0.844	1.162
36	0.0872	80.9	35.1	940	0.5595	31.4	38.4	901	0.135	0.00295	0.830	1.163
37	0.0986	81.1	35.2	1063	0.7899	32.5	38.1	1271	0.132	0.00288	0.833	1.159
38	0.0986	81.2	35.7	1062	0.7147	32.6	38.8	1148	0.131	0.00288	0.824	1.159
39	0.0986	81.5	36.3	1061	0.6701	32.7	39.3	1076	0.130	0.00287	0.813	1.160
40	0.0986	81.7	37.2	1060	0.5862	33.1	40.5	939	0.127	0.00285	0.800	1.159
41	0.0986	81.9	38.1	1058	0.5123	33.3	41.6	820	0.124	0.00284	0.784	1.159
42	0.1012	81.6	36.3	1089	0.7710	33.2	39.1	1238	0.129	0.00285	0.819	1.158
43	0.1012	81.3	36.7	1089	0.6979	33.3	39.7	1119	0.127	0.00285	0.810	1.157
44	0.1012	81.0	37.5	1088	0.6351	33.6	40.6	1017	0.123	0.00283	0.796	1.155
45	0.1012	81.4	38.5	1086	0.5742	34.0	41.7	918	0.121	0.00281	0.782	1.154
46	0.1012	82.1	38.8	1085	0.5168	34.1	42.5	825	0.122	0.00281	0.779	1.156
Valorile medii ale indicilor de evaluare termodinamică:									0.141	0.00300	0.853	1.163

Program SCAR34.BAS Rulare la data: 03-14-1997

Indicele 1: $\bar{\Delta p}$ Indicele 2: $\bar{\Delta p}_{\Delta T1}$ Indicele 3: η_p Indicele 4: θ .

REM Program SCAR34A BA5

REM Acest program efectuează calculul indicilor de evaluare termodinamică
REM ai schimbătorului de căldură aer-aer pe baza valorilor obținute la
REM încercările de pe stand.

DECLARE SUB Aer (t!, p!, x, eta!, pr!, cp!, v!, lambda!)

```
LPRINT CHR$(27); CHR$(69);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(107); CHR$(50); CHR$(83); : ' Pitch: compressed
LPRINT CHR$(27); CHR$(40); CHR$(115); "9"; CHR$(86);
WIDTH LPRINT 177
I PRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(48); CHR$(79); : ' Orientation: Portrait
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "62"; CHR$(80);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "10"; CHR$(69);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(97); "25"; CHR$(76);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(56); CHR$(68);
```

LPRINT : LPRINT : LPRINT SPC(1); " Tab.M1 Valorile indicilor de evaluare termodinamică pentru răcororul de aer"

LPRINT

```
LPRINT "
LPRINT "
LPRINT " Re-          A E R   C A L D          A E R   R E C E          deltaTl          theta
LPRINT " gim          m          t'          t''          C1          ma          t'          t''          C2          [K]          [-]
LPRINT " nr.          [kg/s]          [°C]          [°C]          [W/K]          [kg/s]          [°C]          [°C]          [W/K]
LPRINT "
LPRINT "
```

PRELUCRAREA MARIMILOR MASURATE

```
DATA 0.0047, .0005483, .0003, 789, 1488.7, .0005, .012578, 230, .01, .02795, .1935, 41, 42, 46
DATA 667, 667, 667, 667, 667, 667, 667, 844, 844, 844, 844, 1001, 1001, 1001, 1001, 1001
DATA 1216, 1216, 1216, 1216, 1216, 1216, 1216, 1275, 1275, 1275, 1275, 1344, 1344, 1344
DATA 1413, 1413, 1413, 1413, 1422, 1717, 1717, 1726, 1726, 1785, 1785, 1795, 1795, 1805

DATA 334, 334, 294, 284, 235, 196, 157, 334, 255, 225, 176, 129, 334, 284, 226, 177, 147, 334
DATA 334, 294, 235, 196, 157, 323, 294, 245, 206, 157, 334, 284, 206, 343, 304, 275, 226, 186
DATA 343, 294, 265, 206, 167, 334, 284, 235, 196, 167

DATA 534, 796, 304, 7796, 293, 327, 534, 812, 305, 7800, 295, 330, 534, 826, 307, 7378, 294, 331, 534, 843
DATA 308, 7024, 297, 337, 534, 845, 315, 6385, 301, 345, 533, 841, 320, 5740, 304, 352, 533, 842, 323, 5103
DATA 308, 361

DATA 621, 812, 318, 7793, 307, 346, 621, 806, 316, 6771, 297, 342, 621, 808, 320, 6244, 301, 349, 621, 807
DATA 328, 5414, 306, 360, 620, 810, 336, 4514, 309, 372

DATA 694, 849, 327, 7716, 307, 353, 694, 826, 333, 7010, 309, 357, 694, 823, 337, 6253, 312, 365, 694, 820
DATA 332, 5478, 301, 362, 694, 815, 344, 4770, 309, 377

DATA 788, 839, 328, 7827, 305, 356, 788, 823, 330, 7827, 306, 355, 788, 820, 343, 7141, 316, 368, 787, 819
DATA 350, 6414, 320, 377, 787, 817, 350, 5774, 316, 378, 787, 817, 356, 5048, 312, 383

DATA 814, 806, 333, 7669, 307, 356, 814, 804, 341, 7185, 315, 365, 814, 806, 343, 6587, 320, 376, 814, 806
DATA 354, 5890, 320, 381, 814, 802, 366, 4961, 323, 394

DATA 843, 790, 344, 7763, 319, 366, 843, 787, 347, 7026, 318, 370, 843, 786, 355, 5922, 320, 380

DATA 872, 806, 328, 7867, 302, 354, 872, 804, 332, 7318, 305, 360, 872, 806, 337, 6815, 309, 369, 872, 806
DATA 343, 6305, 312, 375, 872, 809, 351, 5595, 314, 384

DATA 986, 811, 352, 7899, 325, 381, 986, 812, 357, 7147, 326, 388, 986, 815, 363, 6701, 327, 393, 986, 817
DATA 372, 5862, 331, 405, 986, 819, 381, 5123, 333, 416

DATA 1012, 816, 363, 7710, 332, 391, 1012, 813, 367, 6979, 333, 397, 1012, 810, 375, 6351, 336, 406, 1012, 814
DATA 385, 5742, 340, 417, 1012, 821, 388, 5168, 341, 425
```

```

READ s, rh, b, 0, Be, a, Vs, lb, x, Afc, Afr, nrc%, nrr%, regim%
pc1 = 120000: pr1 = 100660: ' Presiunile
DIM p(2, regim%)
FOR i% = 1 TO regim%: READ p(1, i%): NEXT
FOR i% = 1 TO regim%: READ p(2, i%): NEXT

'
'      Suprafata de schimb de căldură
'
Aunu = Be * s * nrc% / (s + a) / (nrc% + nrr%): Adoi = Be * s * nrr% / (s + a) / (nrc% + nrr%)
Ac = Aunu * Vs: Ar = Adoi * Vs

'
'      Sectiunile libere de curgere
'
CLS : F1 = Aunu * rh: F2 = Adoi * rh: Alc = F1 * Afc: Alr = F2 * Afr

FOR i% = 1 TO regim%

READ mc, tc1, tc2, mr, tr1, tr2
mc = mc / 10000: tc1 = tc1 / 10: tc2 = tc2 / 10: mr = mr / 10000: tr1 = tr1 / 10: tr2 = tr2 / 10

'
'      Temperaturile medii
'
tc = (tc1 + tc2) / 2: tr = (tr1 + tr2) / 2

'
'      Proprietățile medii ale aerului
'
p = pc1 + .5 * p(1, i%)
CALL Aer(tc, p, x, ETAc, Prc, cpc, vc, LBDC)

p = pr1 + .5 * p(2, i%)
CALL Aer(tr, p, x, ETAr, Prr, cpr, vr, LBDR)

'
'      Valorile numărului Re
'
mmc = mc / Alc: mnr = mr / Alr: Rec = 4 * rh * mnc / ETAc: Rer = 4 * rh * mnr / ETAr

'
'      Calculul valorilor C1 si C2
'
Ccd = mc * cpc: Cre = mr * cpr
IF Ccd < Cre THEN
  C1 = Ccd: C2 = Cre: dT1 = tc1 - tc2: MI = C1 / C2: PHI = dT1 / (tc1 - tr1)
  KAPA = 1 / MI * LOG(1 / (1 + MI * LOG(1 - PHI))) : REM Fluidul rece neamestecat
ELSEIF Ccd > Cre THEN
  C1 = Cre: C2 = Ccd: dT1 = tr2 - tr1: MI = C1 / C2: PHI = dT1 / (tc1 - tr1)
  KAPA = LOG(1 / (1 + 1 / MI * LOG(1 - MI * PHI))) : REM Fluidul rece neamestecat
END IF

'
'      Calculul valorilor k, Q, dp
'
kr = KAPA * C1 / Ar: kc = KAPA * C1 / Ac
Qcd = Ccd * (tc1 - tc2): Qre = Cre * (tr2 - tr1)
dpc = p(1, i%) / pc1 * 100: dpr = p(2, i%) / pr1 * 100

'
'      Indicii de evaluare termodinamică a răcitorului
'
CALL Aer(tc1, pc1, x, etac1!, prc1!, cpc1!, vc1!, lambdac1!)
pc2 = pc1 - p(1, i%)
CALL Aer(tc2, pc2, x, etac2!, prc2!, cpc2!, vc2!, lambdac2!)
R0r = 1 / vc2: R0s = 1 / vc1: dRO = R0r - R0s: dROb = dRO / R0s
dT1 = tc1 - tc2: dROdT = dROb / dT1:
CALL Aer(tr1, pc1, x, etacx1!, prcx1!, cpcx1!, vcmx1!, lambdacx1!)
R0mx = 1 / vcmx1: dROmx = R0mx - R0s: ETARo = dRO / dROmx
TETA = (tc1 + 273.15) / (tr1 + 273.15)

```

```

.
.
.      Tipărirea mărimilor măsurate
.
PRINT "Regim": i%
LPRINT "||":
LPRINT USING "###": i%;
LPRINT " |":
LPRINT USING "## ####": mc:
LPRINT USING "#### #": tc1:
LPRINT USING "#### #": tc2:
LPRINT USING "#### #": C1:
LPRINT " |":
LPRINT USING "## ####": mr:
LPRINT USING "#### #": tr1:
LPRINT USING "#### #": tr2:
LPRINT USING "#### #": C2:
LPRINT " |":
LPRINT USING "## ##": dfl:
LPRINT USING "#### ##": TETA:
'LPRINT USING "### ##": ETAr0:
'LPRINT USING "### ##": TETA:
LPRINT " ||"

sumdROb = sumdROb + dROb
sumdRObdT = sumdRObdT + dRObdT
sumETAr0 = sumETAr0 + ETAr0
sumTETA = sumTETA + TETA

NEXT i%
LPRINT "=====||"
LPRINT "Program SCAR34A.BAS      Rulare la data: ": DATE$
LPRINT CHR$(27): CHR$(12):

END

      REM Versiune scrisă în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1997)

SUB Aer (t, p, x, eta, pr, cp, v, lambda)

REM Proprietatile fizice ale aerului

eta = (17.18 + .048 * t) * .000001
pr = .707 - .00019 * t
cp = (1003.4 + .067 * t) / (1 + x) + 1926 * x / (1 + x)
v = 461.4 * (.622 + x) * (t + 273.15) / p
lambda = .0244 + .000076 * t

END SUB

```

Tab.M1 Valorile indicilor de evaluare termodinamică pentru răcitorul de aer

Re-gim nr.	A E R C A L D				A E R R E C E				delta Tl [K]	θ [-]
	m [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	C1 [W/K]	ma [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	C2 [W/K]		
1	0.0534	79.6	30.4	54.3	0.7796	29.3	32.7	791.0	49.20	1.166
2	0.0534	81.2	30.6	54.3	0.7800	29.6	33.0	791.4	50.60	1.170
3	0.0534	82.6	30.7	54.3	0.7378	29.4	33.1	748.6	51.90	1.176
4	0.0534	84.3	30.8	54.3	0.7024	29.7	33.7	712.7	53.50	1.180
5	0.0534	84.5	31.5	54.3	0.6385	30.1	34.5	647.9	53.00	1.179
6	0.0533	84.1	32.0	54.2	0.5740	30.4	35.2	582.4	52.10	1.177
7	0.0533	84.2	32.3	54.2	0.5103	30.8	36.1	517.8	51.90	1.176
8	0.0621	81.2	31.8	63.1	0.7793	30.7	34.6	790.8	49.40	1.166
9	0.0621	80.6	31.6	63.1	0.6771	29.7	34.2	687.0	49.00	1.168
10	0.0621	80.8	32.0	63.1	0.6244	30.1	34.9	633.6	48.80	1.167
11	0.0621	80.7	32.8	63.1	0.5414	30.6	36.0	549.4	47.90	1.165
12	0.0620	81.0	33.6	63.0	0.4514	30.9	37.2	458.1	47.40	1.165
13	0.0694	84.9	32.7	70.5	0.7716	30.7	35.3	783.0	52.20	1.178
14	0.0694	82.6	33.3	70.5	0.7010	30.9	35.7	711.3	49.30	1.170
15	0.0694	82.3	33.7	70.5	0.6253	31.2	36.5	634.5	48.60	1.168
16	0.0694	82.0	33.2	70.5	0.5478	30.1	36.2	555.9	48.80	1.171
17	0.0694	81.5	34.4	70.5	0.4770	30.9	37.7	484.1	47.10	1.166
18	0.0788	83.9	32.8	80.1	0.7827	30.5	35.6	794.2	51.10	1.176
19	0.0788	82.3	33.0	80.1	0.7827	30.6	35.5	794.2	49.30	1.170
20	0.0788	82.0	34.3	80.1	0.7141	31.6	36.8	724.7	47.70	1.165
21	0.0787	81.9	35.0	80.0	0.6414	32.0	37.7	650.9	46.90	1.164
22	0.0787	81.7	35.0	80.0	0.5774	31.6	37.8	586.0	46.70	1.164
23	0.0787	81.7	35.6	80.0	0.5048	31.2	38.3	512.3	46.10	1.166
24	0.0814	80.6	33.3	82.7	0.7669	30.7	35.6	778.2	47.30	1.164
25	0.0814	80.4	34.1	82.7	0.7185	31.5	36.6	729.1	46.30	1.161
26	0.0814	80.6	34.3	82.7	0.6587	32.0	37.6	668.5	46.30	1.159
27	0.0814	80.6	35.4	82.7	0.5890	32.0	38.1	597.8	45.20	1.159
28	0.0814	80.2	36.6	82.7	0.4961	32.3	39.4	503.5	43.60	1.157
29	0.0843	79.0	34.4	85.7	0.7763	31.9	36.6	787.8	44.60	1.154
30	0.0843	78.7	34.7	85.7	0.7026	31.8	37.0	713.0	44.00	1.154
31	0.0843	78.6	35.5	85.7	0.5922	32.0	38.0	601.0	43.10	1.153
32	0.0872	80.6	32.8	88.6	0.7867	30.2	35.4	798.3	47.80	1.166
33	0.0872	80.4	33.2	88.6	0.7318	30.5	36.0	742.6	47.20	1.164
34	0.0872	80.6	33.7	88.6	0.6815	30.9	36.8	691.6	46.90	1.163
35	0.0872	80.6	34.3	88.6	0.6306	31.2	37.5	639.9	46.30	1.162
36	0.0872	80.9	35.1	88.6	0.5595	31.4	38.4	567.8	45.80	1.163
37	0.0986	81.1	35.2	100.2	0.7899	32.5	38.1	801.7	45.90	1.159
38	0.0986	81.2	35.7	100.2	0.7147	32.6	38.8	725.4	45.50	1.159
39	0.0986	81.5	36.3	100.2	0.6701	32.7	39.3	680.1	45.20	1.160
40	0.0986	81.7	37.2	100.2	0.5862	33.1	40.5	595.0	44.50	1.159
41	0.0986	81.9	38.1	100.2	0.5123	33.3	41.6	520.0	43.80	1.159
42	0.1012	81.6	36.3	102.9	0.7710	33.2	39.1	782.5	45.30	1.158
43	0.1012	81.3	36.7	102.9	0.6979	33.3	39.7	708.3	44.60	1.157
44	0.1012	81.0	37.5	102.9	0.6351	33.6	40.6	644.6	43.50	1.155
45	0.1012	81.4	38.5	102.9	0.5742	34.0	41.7	582.8	42.90	1.154
46	0.1012	82.1	38.8	102.9	0.5168	34.1	42.5	524.6	43.30	1.156

Program SCAR34A BAS Rulare la data: 03-14-1997

REM Program SCAR36.BAS

REM Acest program efectuează calculul bilantului exergetic al
REM schimbătorului de căldură aer-aer pe baza valorilor obținute la
REM încercările de pe stand.

DECLARE SUB Aer (t!, p!, x, eta!, pr!, cp!, v!, lambda!)

```
LPRINT CHR$(27); CHR$(69);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(107); CHR$(50); CHR$(83); : ' Pitch: compressed
LPRINT CHR$(27); CHR$(40); CHR$(115); "9"; CHR$(86);
WIDTH LPRINT 177
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(48); CHR$(79); : ' Orientation: Portrait
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "62"; CHR$(80);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "10"; CHR$(69);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(97); "26"; CHR$(76);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(56); CHR$(68);
```

LPRINT : LPRINT : LPRINT SPC(19); "Tab. N1 Bilantul exergetic pentru răcororul de aer"

```
LPRINT
LPRINT " "
LPRINT " "
LPRINT " "
LPRINT " "
LPRINT " "
LPRINT " "
LPRINT " "
LPRINT " "
LPRINT " "
LPRINT " "
LPRINT " "
LPRINT " "
```

Re- gim	A E R C A L D				A E R R E C E			BILANTUL EXERGETIC			
nr.	m [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	Q [W]	ma [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	δE1 [W]	δE2 [W]	δEq [W]	etaE [%]

PRELUCRAREA MARIMILOR MASURATE

```
DATA 0.0047, .0005483, .0003, .789, 1488.7, .0005, .012578, 230, .01, .02795, .1935, 41, 42, 45
DATA 667, 667, 667, 667, 667, 667, 667, 844, 844, 844, 844, 1001, 1001, 1001, 1001, 1001
DATA 1216, 1216, 1216, 1216, 1216, 1216, 1275, 1275, 1275, 1275, 1275, 1344, 1344, 1344
DATA 1413, 1413, 1413, 1413, 1422, 1717, 1717, 1717, 1785, 1785, 1795, 1795, 1805

DATA 334, 334, 294, 284, 235, 196, 157, 334, 255, 226, 176, 128, 334, 284, 226, 177, 147, 334
DATA 334, 294, 235, 196, 157, 323, 294, 245, 206, 157, 334, 284, 206, 343, 304, 275, 226, 186
DATA 343, 294, 255, 206, 167, 334, 284, 235, 196, 167

DATA 534, 796, 304, 7796, 293, 327, 534, 812, 306, 7800, 296, 330, 534, 826, 307, 7378, 294, 331, 534, 843
DATA 308, 7024, 297, 337, 534, 845, 315, 6385, 301, 345, 533, 841, 320, 5740, 304, 352, 533, 842, 323, 5103
DATA 308, 361

DATA 621, 812, 318, 7793, 307, 346, 621, 806, 316, 6771, 297, 342, 621, 808, 320, 6244, 301, 349, 621, 807
DATA 328, 5414, 306, 360, 620, 810, 336, 4514, 309, 372

DATA 694, 849, 327, 7716, 307, 353, 694, 826, 333, 7010, 309, 357, 694, 823, 337, 6253, 312, 365, 694, 820
DATA 332, 5478, 301, 362, 694, 815, 344, 4770, 309, 377

DATA 788, 839, 328, 7827, 305, 356, 788, 823, 330, 7827, 306, 355, 788, 820, 333, 7141, 316, 348, 787, 819
DATA 350, 6414, 320, 377, 787, 817, 350, 5774, 316, 378, 787, 817, 356, 5048, 312, 383

DATA 814, 806, 333, 7669, 307, 356, 814, 804, 341, 7185, 315, 366, 814, 806, 343, 6587, 320, 376, 814, 806
DATA 354, 5890, 320, 381, 814, 802, 366, 4961, 323, 394

DATA 843, 790, 344, 7763, 319, 366, 843, 787, 347, 7026, 318, 370, 843, 786, 355, 5922, 320, 380

DATA 872, 806, 328, 7867, 302, 354, 872, 804, 332, 7318, 305, 360, 872, 806, 337, 6815, 309, 368, 872, 806
DATA 343, 6306, 312, 375, 872, 809, 351, 5595, 314, 384

DATA 986, 811, 352, 7899, 325, 381, 986, 812, 357, 7147, 326, 388, 986, 815, 363, 6701, 327, 393, 986, 817
DATA 372, 5862, 331, 405, 986, 819, 381, 5123, 333, 416

DATA 1012, 816, 363, 7710, 332, 391, 1012, 813, 367, 6979, 333, 397, 1012, 810, 375, 6351, 336, 406, 1012,
DATA 385, 5742, 340, 417, 1012, 821, 388, 5168, 341, 425
```

```

READ s, rh, b, O, Be, a, Vs, lb, x, Afc, Afr, nrc%, nrr%, regim%
pc1 = 120000: pr1 = 100660: ' Presiunile
DIM p(2, regim%)
FOR i% = 1 TO regim%: READ p(1, i%): NEXT
FOR i% = 1 TO regim%: READ p(2, i%): NEXT
'
'      Suprafata de schimb de căldură
'
Aunu = Be * s * nrc% / (s + a) / (nrc% + nrr%): Adoi = Be * s * nrr% / (s + a) / (nrc% + nrr%)
Ac = Aunu * Vs: Ar = Adoi * Vs
'
'      Secțiunile libere de curgere
'
CLS : F1 = Aunu * rh: F2 = Adoi * rh: Alc = F1 * Afc: Alr = F2 * Afr
FOR i% = 1 TO regim%
READ mc, tc1, tc2, mr, tr1, tr2
mc = mc / 10000: tc1 = tc1 / 10: tc2 = tc2 / 10: mr = mr / 10000: tr1 = tr1 / 10: tr2 = tr2 / 10
'
'      Temperaturile medii
'
tc = (tc1 + tc2) / 2: tr = (tr1 + tr2) / 2
'
'      Proprietățile medii ale aerului
'
p = pc1 + .5 * p(1, i%)
CALL Aer(tc, p, x, ETAc, Prc, cpc, vc, LBDc)
p = pr1 + .5 * p(2, i%)
CALL Aer(tr, p, x, ETAr, Prr, cpr, vr, LBDr)
'
'      Valorile numărului Re
'
nmc = mc / Alc: nmr = mr / Alr: Rec = 4 * rh * nmc / ETAc: Rer = 4 * rh * nmr / ETAr
'
'      Calculul valorilor C1 și C2
'
Ccd = mc * cpc: Cre = mr * cpr
IF Ccd < Cre THEN
  C1 = Ccd: C2 = Cre: dT1 = tc1 - tc2: MI = C1 / C2: PHI = dT1 / (tc1 - tr1)
  KAPA = 1 / MI * LOG(1 / (1 + MI * LOG(1 - PHI))): REM Fluidul rece neamestecat
ELSEIF Ccd > Cre THEN
  C1 = Cre: C2 = Ccd: dT1 = tr2 - tr1: MI = C1 / C2: PHI = dT1 / (tc1 - tr1)
  KAPA = LOG(1 / (1 + 1 / MI * LOG(1 - MI * PHI))): REM Fluidul rece neamestecat
END IF
'
'      Calculul valorilor k, Q, dp
'
kr = KAPA * C1 / Ar: kc = KAPA * C1 / Ac
Qcd = Ccd * (tc1 - tc2): Qre = Cre * (tr2 - tr1)
dpc = p(1, i%) / pc1 * 100: dpr = p(2, i%) / pr1 * 100
'
'      Calculul pierderilor de exergie
'
Eqlin = Ccd * (273.15 + tr1) * ((273.15 + tc1) / (273.15 + tr1) - 1 - LOG((273.15 + tc1) / (273.15 + tr1)))
Eqles = Ccd * (273.15 + tr1) * ((273.15 + tc2) / (273.15 + tr1) - 1 - LOG((273.15 + tc2) / (273.15 + tr1)))
Eq1 = Eqlin - Eqles
Eq2in = 0
Eq2es = Cre * (273.15 + tr1) * ((273.15 + tr2) / (273.15 + tr1) - 1 - LOG((273.15 + tr2) / (273.15 + tr1)))
Eq2 = Eq2es - Eq2in
'
TETAel = 1 - (273.15 + tr1) * LOG((273.15 + tc1) / (273.15 + tc2)) / ((273.15 + tc1) - (273.15 + tc2))
PIqr = TETAel * Qcd
Tml = (tc1 - tc2) / LOG((273.15 + tc1) / (273.15 + tc2))

```

```

Tm2 = (tr2 - tr1) / LOG((273.15 + tr2) / (273.15 + tr1))
dTm = Tm1 - Tm2
deltaTETAem = (273.15 + tr1) * dTm / Tm1 / Tm2
PIdeltaT = deltaTETAem * Qcd
Eq1 = (1 - (273.15 + tr1) / Tm1) * Qcd
Eq2 = (1 - (273.15 + tr1) / Tm2) * Qcd
ETAe = (1 - PIdeltaT / Eq1) * 100

ETAe = Eq2 / Eq1 * 100
:
:       Tipărirea mărimilor măsurate
:
PRINT "Regim": i%
LPRINT "|";
LPRINT USING "###": i%;
LPRINT "|";
LPRINT USING "## ####": mc;
LPRINT USING "#### #": tc1;
LPRINT USING "#### #": tc2;
LPRINT USING "#####": Qcd;
LPRINT "|";
LPRINT USING "## ####": mr;
LPRINT USING "#### #": tr1;
LPRINT USING "#### #": tr2;
LPRINT "|";
LPRINT USING "#### #": Eq1;
LPRINT USING "#### #": Eq2;
LPRINT USING "#### #": Eq1 - Eq2;
LPRINT USING "##### #": ETAe;
LPRINT "|";

NEXT i%

LPRINT "-----"
LPRINT "ΔE1 = pierderea de exergie cu căldura evacuată cu aerul de răcire: cf. rel. (3.51)"
LPRINT "ΔE2 = creșterea de exergie a aerului de răcire: cf. rel. (3.52)"
LPRINT "ΔEq = pierderea de exergie datorită transferului de căldură la diferență finită variabilă"
LPRINT "       de temperatură, cf. rel. (3.56)"
LPRINT "etaE = randamentul exergetic al schimbătorului de căldură: cf. rel. (3.65)"
LPRINT : LPRINT "Program SCAR36.BAS      Rulare la data: "; DATE$;
LPRINT CHR$(27); CHR$(12);

END

REM Originalul scris în BASIC pentru microcalculatorul Amstrad (1991)
REM Versiunea actuală transcrisă în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1997)

SUB Aer (t, p, x, eta, pr, cp, v, lambda)

REM Proprietățile fizice ale aerului

eta = (17.18 + .048 * t) * .000001
pr = .707 - .00019 * t
cp = (1003.4 + .067 * t) / (1 + x) + 1926 * x / (1 + x)
v = 461.4 * (.622 + x) * (t + 273.15) / p
lambda = .0244 + .000076 * t

END SUB

```

Tab. N1 Bilantul exergetic pentru răcitorul de aer

Re-gim nr.	A E R C A L D U				A E R R E C E			BILANTUL EXERGETIC			
	m [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	Q [W]	m _a [kg/s]	t' [°C]	t'' [°C]	δE1 [W]	δE2 [W]	δEq [W]	etaE [%]
1	0.0534	79.6	30.4	2670	0.7796	29.3	32.7	204.5	15.00	189.5	7.3
2	0.0534	81.2	30.6	2746	0.7800	29.6	33.0	214.5	15.00	199.5	7.0
3	0.0534	82.6	30.7	2817	0.7378	29.4	33.1	227.4	16.80	210.6	7.4
4	0.0534	84.3	30.8	2904	0.7024	29.7	33.7	238.7	18.66	220.0	7.8
5	0.0534	84.5	31.5	2877	0.6385	30.1	34.5	236.7	20.48	216.2	8.7
6	0.0533	84.1	32.0	2822	0.5740	30.4	35.2	230.3	21.87	208.4	9.5
7	0.0533	84.2	32.3	2812	0.5103	30.8	36.1	227.6	23.65	203.9	10.4
8	0.0621	81.2	31.8	3118	0.7793	30.7	34.6	238.6	19.62	219.0	8.2
9	0.0621	80.6	31.6	3092	0.6771	29.7	34.2	242.7	22.74	219.9	9.4
10	0.0621	80.8	32.0	3080	0.6244	30.1	34.9	240.6	23.82	216.8	9.9
11	0.0621	80.7	32.8	3023	0.5414	30.6	36.0	234.7	26.06	208.7	11.1
12	0.0620	81.0	33.6	2987	0.4514	30.9	37.2	233.9	29.49	204.4	12.6
13	0.0694	84.9	32.7	3682	0.7716	30.7	35.3	304.7	26.99	277.7	8.9
14	0.0694	82.6	33.3	3477	0.7010	30.9	35.7	278.2	26.67	251.5	9.6
15	0.0694	82.3	33.7	3428	0.6253	31.2	36.5	271.8	28.95	242.8	10.7
16	0.0694	82.0	33.2	3442	0.5478	30.1	36.2	280.4	33.65	246.8	12.0
17	0.0694	81.5	34.4	3322	0.4770	30.9	37.7	266.3	36.27	230.0	13.6
18	0.0788	83.9	32.8	4093	0.7827	30.5	35.6	336.4	33.64	302.7	10.0
19	0.0788	82.3	33.0	3948	0.7827	30.6	35.5	315.1	31.06	285.1	9.8
20	0.0788	82.0	34.3	3820	0.7141	31.6	36.8	300.1	31.79	268.3	10.6
21	0.0787	81.9	35.0	3752	0.6414	32.0	37.7	293.5	34.23	259.2	11.7
22	0.0787	81.7	35.0	3736	0.5774	31.6	37.8	295.7	36.46	259.3	12.3
23	0.0787	81.7	35.6	3688	0.5048	31.2	38.3	299.6	41.78	257.8	13.9
24	0.0814	80.6	33.3	3913	0.7669	30.7	35.6	305.0	30.42	274.6	10.0
25	0.0814	80.4	34.1	3830	0.7185	31.5	36.6	292.7	30.78	261.9	10.5
26	0.0814	80.6	34.3	3830	0.6587	32.0	37.6	289.1	33.93	255.1	11.7
27	0.0814	80.6	35.4	3740	0.5890	32.0	38.1	288.2	35.97	252.3	12.5
28	0.0814	80.2	36.6	3607	0.4961	32.3	39.4	279.2	40.91	238.3	14.7
29	0.0843	79.0	34.4	3821	0.7763	31.9	36.6	281.9	28.23	253.7	10.0
30	0.0843	78.7	34.7	3770	0.7026	31.8	37.0	279.4	31.26	248.1	11.2
31	0.0843	78.6	35.5	3693	0.5922	32.0	38.0	275.3	34.99	240.3	12.7
32	0.0872	80.6	32.8	4236	0.7867	30.2	35.4	333.5	35.18	298.3	10.5
33	0.0872	80.4	33.2	4183	0.7318	30.5	36.0	326.8	36.55	290.3	11.2
34	0.0872	80.6	33.7	4156	0.6815	30.9	36.8	323.9	39.08	284.8	12.1
35	0.0872	80.6	34.3	4103	0.6306	31.2	37.5	319.6	41.16	278.5	12.9
36	0.0872	80.9	35.1	4059	0.5595	31.4	38.4	320.1	44.99	275.1	14.1
37	0.0986	81.1	35.2	4600	0.7899	32.5	38.1	349.3	40.63	308.7	11.6
38	0.0986	81.2	35.7	4560	0.7147	32.6	38.8	348.9	44.99	303.9	12.9
39	0.0986	81.5	36.3	4530	0.6701	32.7	39.3	351.0	47.75	303.2	13.6
40	0.0986	81.7	37.2	4460	0.5862	33.1	40.5	347.2	52.35	294.8	15.1
41	0.0986	81.9	38.1	4390	0.5123	33.3	41.6	346.0	57.41	288.6	16.6
42	0.1012	81.6	36.3	4660	0.7710	33.2	39.1	354.6	43.90	310.7	12.4
43	0.1012	81.3	36.7	4588	0.6979	33.3	39.7	348.6	46.69	301.9	13.4
44	0.1012	81.0	37.5	4475	0.6351	33.6	40.6	339.4	50.72	288.7	14.9
45	0.1012	81.4	38.5	4413	0.5742	34.0	41.7	338.2	55.33	282.8	16.4
46	0.1012	82.1	38.8	4454	0.5168	34.1	42.5	346.1	59.16	286.9	17.1

δE1 = pierderea de exergie cu căldura evacuată cu aerul de răcire: cf. rel. (3.51)

δE2 = creșterea de exergie a aerului de răcire: cf. rel. (3.52')

δEq = pierderea de exergie datorită transferului de căldură la diferență finită variabilă de temperatură, cf. rel. (3.56)

etaE = randamentul exergetic al schimbătorului de căldură: cf. rel. (3.65)

Program SCAR36.BAS Rulare la data: 03-11-1997


```

REM Program BIL.BAS

REM Acest program calculează articolele bilanțului termic al motorului

LPRINT CHR$(27); CHR$(69);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(107); CHR$(50); CHR$(83); ' Pitch: compressed
LPRINT CHR$(27); CHR$(40); CHR$(115); "9"; CHR$(86);
WIDTH LPRINT 177
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(48); CHR$(79); : ' Orientation: Portrait
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "62"; CHR$(80);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); "10"; CHR$(69);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(97); "20"; CHR$(76);
LPRINT CHR$(27); CHR$(38); CHR$(108); CHR$(56); CHR$(68);

cw = 4.186; ROW = 988; Hi = 41800
READ x, reg%, Pmax
DIM n(reg%), Pe(reg%), ce(reg%), tw1(reg%), tw2(reg%), tg(reg%), tge(reg%), mac(reg%), tac1(reg%), tac2(reg%)
FOR i% = 1 TO reg%: READ n(i%): NEXT
FOR i% = 1 TO reg%: READ Pe(i%): NEXT
FOR i% = 1 TO reg%: READ ce(i%): NEXT
FOR i% = 1 TO reg%: READ tw1(i%): NEXT
FOR i% = 1 TO reg%: READ tw2(i%): NEXT
FOR i% = 1 TO reg%: READ tg(i%): NEXT
FOR i% = 1 TO reg%: READ tge(i%): NEXT
FOR i% = 1 TO reg%: READ mac(i%): NEXT
FOR i% = 1 TO reg%: READ tac1(i%): NEXT
FOR i% = 1 TO reg%: READ tac2(i%): NEXT
CLS
FOR i% = 1 TO reg%
  Q = ce(i%) / 3600 * Hi
  cee = ce(i%) * 1000 / Pei
  FTA = Pe(i%) / Q * 100
  Qapa = (.0001866# * n(i%) - .0056) * cw * (tw1(i%) - tw2(i%))
  qw = Qapa / Q * 100
  tac = (tac1(i%) + tac2(i%)) / 2
  cp = (1003.4 + .067 * tac) / (1 + x) + 1926 * x / (1 + x)
  Qaer = mac(i%) * cp * (tac1(i%) + tac2(i%))
  qa = Qaer / Q * 100
  qrest = 100 - ETA - qw - qa
  LPRINT " Regimul: ", i%
  LPRINT
  LPRINT "n [rot/min]:", n(i%)
  LPRINT "Pe [kW]:", Pe(i%)
  LPRINT "Ce [kg/h]:", ce(i%)
  LPRINT "cee [g/kWh]:", cee
  LPRINT "ETA [%]:", ETA
  LPRINT "qw [%]:", qw
  LPRINT "qa [%]:", qa
  LPRINT "qrest [%].qrest"
  LPRINT : LPRINT
NEXT i%
DATA
DATA
DATA

LPRINT CHR$(27); CHR$(12);

END

REM Originalul scris în BASIC pentru microcalculatorul Amstrad (1991)
REM Versiunea actuală transcrisă în MS-DOS QBasic v. 1.1 (1997)

```