



Bruxelles, 21 decembrie 2016
(OR. en)

15755/16
ADD 3

ENT 238
MI 809
ENV 821
DELECT 259

NOTĂ DE ÎNSOȚIRE

Sursă:	Secretar general al Comisiei Europene, sub semnătura dlui Jordi AYET PUIGARNAU, director
Data primirii:	19 decembrie 2016
Destinatar:	DI Jeppe TRANHOLM-MIKKELSEN, Secretarul General al Consiliului Uniunii Europene
Nr. doc. Csie:	C(2016) 8381 final ANNEX 7
Subiect:	ANEXĂ la Regulamentul delegat (UE) .../... al Comisiei de completare a Regulamentului (UE) 2016/1628 al Parlamentului European și al Consiliului în ceea ce privește cerințele tehnice și generale referitoare la limitele emisiilor și omologarea de tip pentru motoarele cu ardere internă pentru echipamentele mobile fără destinație rutieră

În anexă, se pune la dispoziția delegațiilor documentul C(2016) 8381 final ANNEX 7.

Anexă: C(2016) 8381 final ANNEX 7



Bruxelles, 19.12.2016
C(2016) 8381 final

ANNEX 7

ANEXĂ

la

Regulamentul delegat (UE) .../... al Comisiei

**de completare a Regulamentului (UE) 2016/1628 al Parlamentului European și al
Consiliului în ceea ce privește cerințele tehnice și generale referitoare la limitele
emisiilor și omologarea de tip pentru motoarele cu ardere internă pentru echipamentele
mobile fără destinație rutieră**

ANEXA VII

Metode de evaluare și de calculare a datelor

1. Cerințe generale

Calcularea emisiilor se efectuează în conformitate cu secțiunea 2 (calcul pe baza masei) sau cu secțiunea 3 (calcul pe bază molară). Nu se permite utilizarea unei combinații a celor două metode. Nu este necesară efectuarea calculului în conformitate cu ambele secțiuni, 2 și 3.

Cerințele specifice privind măsurarea numărului de particule (PN), dacă este cazul, sunt prevăzute în apendicele 5.

1.1. Simboluri generale

<i>Secțiunea 2</i>	<i>Secțiunea 3</i>	<i>Unitate</i>	<i>Mărime</i>
	A	m ²	Suprafață
	A_t	m ²	Aria secțiunii transversale prin gâtul tubului Venturi
b, D_0	a_0	t.b.d. ³	Intersecția ordonatei cu linia de regresie
A/F_{st}		-	Raportul stoichiometric aer/combustibil
	C	-	Coeficient
C_d	C_d	-	Coeficient de evacuare
	C_f	-	Coeficient al debitului
c	x	ppm, % vol	Concentrație/fracție molară ($\mu\text{mol/mol} = \text{ppm}$)
c_d	1	ppm, % vol	Concentrație în stare uscată
c_w	1	ppm, % vol	Concentrație în stare umedă
c_b	1	ppm, % vol	Concentrație de fond
D	x_{dil}	-	Factor de diluare ⁽²⁾
D_0		m ³ /rotație	Valoarea de intersecție pentru etalonarea pompei volumetrică (PDP)
d	d	m	Diametru
d_v		m	Diametrul gâtului tubului Venturi
e	e	g/kWh	Emisii specifice frânării
e_{gas}	e_{gas}	g/kWh	Emisii specifice de componente gazoase

<i>Secțiunea 2</i>	<i>Secțiunea 3</i>	<i>Unitate</i>	<i>Mărime</i>
e_{PM}	e_{PM}	g/kWh	Emisii specifice de particule
E	$1 - PF$	%	Eficiența conversiei (PF = fracție de penetrație)
F_s		-	Factorul stoichiometric
	f	Hz	Frecvență
f_c		-	Factorul carbon
	γ	-	Raportul căldurilor specifice
H		g/kg	Umiditatea absolută
	K	-	Factorul de corecție
K_V		$[(\sqrt{K} \cdot m^4 \cdot s)]$	Funcția de etalonare a CFV
k_f		m ³ /kg combustibil	Factorul specific combustibilului
k_h		-	Factorul de corecție a umidității pentru NO _x , motoare diesel
k_{Dr}	k_{Dr}	-	Factorul de ajustare inferioară
k_r	k_r	-	Factorul de regenerare multiplicativ
k_{Ur}	k_{Ur}	-	Factorul de ajustare superioară
$k_{w,a}$		-	Factorul de corecție de la stare uscată la stare umedă pentru aerul de admisie
$k_{w,d}$		-	Factorul de corecție de la stare uscată la stare umedă pentru aerul de diluare
$k_{w,e}$		-	Factorul de corecție de la stare uscată la stare umedă pentru gazele de evacuare diluate
$k_{w,r}$		-	Factorul de corecție de la stare uscată la stare umedă pentru gazele de evacuare brute
μ	μ	kg/(m·s)	Vâscozitate dinamică
M	M	g/mol	Masa molară ⁽³⁾
M_a	¹	g/mol	Masa molară a aerului de admisie
M_e	^v	g/mol	Masa molară a gazelor de evacuare
M_{gas}	M_{gas}	g/mol	Masa molară a componentelor gazoase
m	m	kg	Masă
m	a_1	t.b.d. ³	Panta liniei de regresie
	ν	m ² /s	Vâscozitatea cinematică

<i>Secțiunea 2</i>	<i>Secțiunea 3</i>	<i>Unitate</i>	<i>Mărime</i>
m_d	v	kg	Masa eșantionului de aer de diluare trecut prin filtrele de prelevare a particulelor
m_{ed}	1	kg	Masa totală a gazelor de evacuare diluate pe durata ciclului
m_{edf}	1	kg	Masa gazelor de evacuare diluate echivalente pe durata ciclului de încercare
m_{ew}	1	kg	Masa totală a gazelor de evacuare pe durata ciclului
m_f	1	mg	Masa eșantionului de particule colectate
$m_{f,d}$	1	mg	Masa eșantionului de particule colectate din aerul de diluare
m_{gas}	m_{gas}	g	Masa emisiilor gazoase pe durata ciclului de încercare
m_{PM}	m_{PM}	g	Masa emisiilor de particule pe durata ciclului de încercare
m_{se}	1	kg	Masa eșantionului de gaze de evacuare pe durata ciclului de încercare
m_{sed}	1	kg	Masa gazelor de evacuare diluate care trec prin tunelul de diluare
m_{sep}	1	kg	Masa gazelor de evacuare diluate care trec prin filtrele de colectare a particulelor
m_{ssd}		kg	Masa aerului de diluare secundar
	N	-	Totalul numerelor dintr-o serie
	n	mol	Cantitatea de substanță
	\dot{n}	mol/s	Debitul cantității de substanță
n	f_n	min ⁻¹	Viteza de rotație a motorului
n_p		r/s	Turația pompei PDP
P	P	kW	Puterea
p	p	kPa	Presiunea
p_a		kPa	Presiunea atmosferică în stare uscată
p_b		kPa	Presiunea atmosferică totală
p_d		kPa	Presiunea vaporilor de saturație a aerului de diluare
p_p	p_{abs}	kPa	Presiunea absolută

<i>Secțiunea 2</i>	<i>Secțiunea 3</i>	<i>Unitate</i>	<i>Mărime</i>
p_r	p_{H_2O}	kPa	Presiunea vaporilor de apă
p_s		kPa	Presiunea atmosferică în stare uscată
$1 - E$	PF	%	Fracția de penetrație
q_m	\dot{m}	kg/s	Debitul masic
q_{mad}	\dot{m}^1	kg/s	Debitul masic al aerului de admisie în stare uscată
q_{maw}	1	kg/s	Debitul masic al aerului de admisie în stare umedă
q_{mCe}	1	kg/s	Debitul masic al carbonului în gazele de evacuare brute
q_{mCf}	1	kg/s	Debitul masic al carbonului în motor
q_{mCp}	1	kg/s	Debitul masic al carbonului în sistemul de diluare în circuit parțial
q_{mdew}	1	kg/s	Debitul masic al gazelor de evacuare diluate în stare umedă
q_{mdw}	1	kg/s	Debitul masic al aerului de diluare în stare umedă
q_{medf}	1	kg/s	Debitul masic echivalent al gazelor de evacuare diluate în stare umedă
q_{mew}	1	kg/s	Debitul masic al gazelor de evacuare în stare umedă
q_{mex}	1	kg/s	Debitul masic al eșantionului extras din tunelul de diluare
q_{mf}	1	kg/s	Debitul masic al combustibilului
q_{mp}	1	kg/s	Debitul eșantionului de gaze de evacuare din sistemul de diluare în circuit parțial
q_v	\dot{V}	m ³ /s	Debitul volumic
q_{VCVS}	1	m ³ /s	Debitul volumic al CVS
q_{Vs}	1	dm ³ /min	Debitul sistemului de analiză a gazelor de evacuare
q_{vt}	1	cm ³ /min	Debitul gazului trasor
ρ	ρ	kg/m ³	Densitatea
ρ_e		kg/m ³	Densitatea gazelor de evacuare
	r	-	Raportul presiunilor

<i>Secțiunea 2</i>	<i>Secțiunea 3</i>	<i>Unitate</i>	<i>Mărime</i>
r_d	DR	-	Raportul de diluare ²
	Ra	μm	Rugozitatea medie a suprafeței
RH		%	Umiditatea relativă
r_D	β	m/m	Raportul diametrelor (sisteme CVS)
r_p		-	Raportul de presiune al SSV
Re	$Re^\#$	-	Numărul Reynolds
	S	K	Constanta Sutherland
σ	σ	-	Abaterea standard
T	T	°C	Temperatura
	T	Nm	Cuplul motorului
T_a		K	Temperatura absolută
t	t	s	Timpul
Δt	Δt	s	Intervalul de timp
u		-	Raportul dintre densitățile componentelor gazoase și a gazelor de evacuare
V	V	m^3	Volumul
q_V	\dot{V}	m^3/s	Debitul volumic
V_0		m^3/r	Volumul de gaze pompate de PDP pe fiecare rotație
W	W	kWh	Lucrul mecanic
W_{act}	W_{act}	kWh	Lucrul mecanic real al ciclului de încercare
WF	WF	-	Factor de ponderare
w	w	g/g	Fracția masică
	\bar{x}	mol/mol	Concentrația medie ponderată în funcție de debit
X_0	K_s	s/rotație	Funcția de etalonare pentru PDP
	y	-	Variabila generică
\bar{y}	\bar{y}		Media aritmetică
	Z	-	Factorul de compresibilitate

- 1 A se vedea indicii; de exemplu: \dot{m}_{air} pentru debitul masic de aer uscat sau \dot{m}_{fuel} pentru debitul masic de combustibil etc.
- 2 Raportul de diluare r_d din secțiunea 2 și DR din secțiunea 3: simboluri diferite, dar același înțeles și aceleași ecuații. Raportul de diluare D din secțiunea 2 și x_{dil} din secțiunea 3: simboluri diferite, dar cu același înțeles din punct de vedere fizic; ecuația (A.7-47) (7-124) prezintă relația dintre x_{dil} și DR .
- 3 t.b.d.= urmează să fie stabilită.

1.2. Indici

Secțiunea 2 ⁽¹⁾	Secțiunea 3	Mărime
act	act	Cantitatea reală
<i>i</i>		Măsurare instantanee (de exemplu: 1 Hz)
	<i>i</i>	Element individual dintr-o serie

- (1) În secțiunea 2, semnificația indicilor este determinată de cantitatea asociată; de exemplu, indicele „d” poate indica: o măsurare în stare uscată, precum în „ c_d = concentrație în stare uscată”; aer de diluare, precum în „ p_d = presiunea vaporilor de saturație a aerului de diluare” sau „ $k_{w,d}$ = factor de corecție de la stare uscată la stare umedă pentru aerul de diluare”; raport de diluare precum în „ r_d ”.

1.3. Simboluri și abrevieri pentru componentele chimice (utilizate, de asemenea, ca indici)

Secțiunea 2	Secțiunea 3	Mărime
Ar	Ar	Argon
C1	C1	Hidrocarbură exprimată în echivalent carbon 1
CH ₄	CH ₄	Metan
C ₂ H ₆	C ₂ H ₆	Etan
C ₃ H ₈	C ₃ H ₈	Propan
CO	CO	Monoxid de carbon
CO ₂	CO ₂	Dioxid de carbon
	H	Hidrogen atomic
	H ₂	Hidrogen molecular
HC	HC	Hidrocarbură
H ₂ O	H ₂ O	Apă
	He	Heliu
	N	Azot atomic
	N ₂	Azot molecular
NO _x	NO _x	Oxizi de azot
NO	NO	Monoxid de azot
NO ₂	NO ₂	Dioxid de azot
	O	Oxigen atomic

PM	PM	Particule
S	S	Sulf

1.4. Simboluri și abrevieri pentru compoziția combustibilului

Secțiunea 2 ⁽¹⁾	Secțiunea 3 ⁽²⁾	Mărire
$w_C^{(4)}$	$w_C^{(4)}$	Conținutul de carbon al combustibilului, fracție masică [g/g] sau [% masă]
w_H	w_H	Conținutul de hidrogen al combustibilului, fracție masică [g/g] sau [% masă]
w_N	w_N	Conținutul de azot al combustibilului, fracție masică [g/g] sau [% masă]
w_O	w_O	Conținutul de oxigen al combustibilului, fracție masică [g/g] sau [% masă]
w_S	w_S	Conținutul de sulf al combustibilului, fracție masică [g/g] sau [% masă]
α	α	Raportul atomic hidrogen/carbon (H/C)
ε	β	Raportul atomic oxigen/carbon (O/C) ⁽³⁾
γ	γ	Raportul atomic sulf/carbon (S/C)
δ	δ	Raportul atomic azot/carbon (N/C)

- (1) Raportat la un combustibil cu formula chimică $CH_\alpha O_\varepsilon N_\delta S_\gamma$
- (2) Raportat la un combustibil cu formula chimică $CH_\alpha O_\beta S_\gamma N_\delta$
- (3) Ar trebui acordată atenție diferitelor semnificații ale simbolului β din cele două secțiuni care se referă la calculul emisiilor: în secțiunea 2, acesta se referă la un combustibil cu formula chimică $CH_\alpha S_\gamma N_\delta O_\varepsilon$ (respectiv formula $C_\beta H_\alpha S_\gamma N_\delta O_\varepsilon$, unde $\beta = 1$, considerând un atom de carbon pe moleculă), în timp ce în secțiunea 3, acesta se referă la raportul oxigen/carbon cu $CH_\alpha O_\beta S_\gamma N_\delta$. În consecință, β din secțiunea 3 îi corespunde lui ε din secțiunea 2.
- (4) Frația masică w însoțită de simbolul componentei chimice ca indice.

2. Calculul emisiilor pe baza masei

2.1. Emisii de gaze brute

2.1.1. Încercări de tip NRSC în mod discontinuu

Rata de emisie a unei emisii de gaze $q_{m\text{gas},i}$ [g/h] pentru fiecare mod i al încercării în regim staționar se calculează prin înmulțirea concentrației de emisii de gaze cu debitul său respectiv, după cum urmează:

$$q_{m\text{gas},i} = k_h \cdot k \cdot u_{\text{gas}} \cdot q_{m\text{ew},i} \cdot c_{\text{gas},i} \cdot 3600 \quad (7-1)$$

unde:

- k = 1 pentru $c_{\text{gasr,w,i}}$ în [ppm] și $k = 10\,000$ pentru $c_{\text{gasr,w,i}}$ în [% vol]
- k_h = factorul de corecție NO_x [-], pentru calculul emisiilor de NO_x (a se vedea punctul 2.1.4)
- u_{gas} = factorul specific componentei sau raportul dintre densitățile componentei gazoase și a gazelor de evacuare [-];
- $q_{\text{mew},i}$ = debitul masic al gazelor de evacuare în modul i , în stare umedă [kg/s]
- $c_{\text{gas},i}$ = concentrația emisiei în gazele de evacuare brute în modul i , în stare umedă [ppm] sau [% vol]

2.1.2. Cicluri de încercare în regim tranzitoriu (NRTC și LSI-NRTC) și încercări de tip RMC

Masa totală pentru fiecare încercare a emisiei de gaze m_{gas} [g/încercare] se calculează prin înmulțirea concentrațiilor instantanee la același moment cu debitele gazelor de evacuare și integrarea pe durata ciclului de încercare, cu ajutorul ecuației (7-2):

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot k_h \cdot k \cdot u_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N (q_{\text{mew},i} \cdot c_{\text{gas},i}) \quad (7-2)$$

unde:

- f = frecvența de prelevare a datelor [Hz]
- k_h = factorul de corecție NO_x [-], se aplică numai pentru calculul emisiilor de NO_x
- k = 1 pentru $c_{\text{gasr,w,i}}$ în [ppm] și $k = 10\,000$ pentru $c_{\text{gasr,w,i}}$ în [% vol]
- u_{gas} = factorul specific componentei [-] (a se vedea punctul 2.1.5)
- N = numărul de măsurători [-]
- $q_{\text{mew},i}$ = debitul masic instantaneu al gazelor de evacuare, în stare umedă [kg/s]
- $c_{\text{gas},i}$ = concentrația instantanee a emisiei în gazele de evacuare brute, în stare umedă [ppm] sau [% vol]

2.1.3. Conversia concentrației de la stare uscată la stare umedă

În cazul în care emisiile se măsoară în stare uscată, concentrația măsurată în stare uscată c_d se convertește în concentrație în stare umedă c_w , cu ajutorul ecuației (7-3):

$$c_w = k_w \cdot c_d \quad (7-3)$$

unde:

$k_w =$ factorul de conversie de la uscat la umed [-]

$c_d =$ concentrația emisiei, în stare uscată, [ppm] sau [% vol]

Pentru arderea completă, factorul de conversie de la uscat la umed pentru gazele de evacuare brute se notează cu $k_{w,a}$ [-] și se calculează cu ajutorul ecuației (7-4):

$$k_{w,a} = \frac{\left(1 - \frac{1.2442 \cdot H_a + 111.19 \cdot w_H \cdot \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}}}{773.4 + 1.2442 \cdot H_a + \frac{q_{mf,i}}{q_{mad,i}} \cdot k_f \cdot 1000} \right)}{\left(1 - \frac{p_r}{p_b} \right)} \quad (7-4)$$

unde:

$H_a =$ umiditatea aerului de admisie [g H₂O/kg aer uscat]

$q_{mf,i} =$ debitul instantaneu al combustibilului [kg/s]

$q_{mad,i} =$ debitul instantaneu al aerului de admisie [kg/s]

$p_r =$ presiunea apei după răcitor [kPa]

$p_b =$ presiunea atmosferică totală [kPa]

$w_H =$ conținutul de hidrogen al combustibilului [% masă]

$k_f =$ volumul suplimentar de ardere [m³/kg combustibil]

unde:

$$k_f = 0.055594 \cdot w_H + 0.0080021 \cdot w_N + 0.0070046 \cdot w_O \quad (7-5)$$

unde:

$w_H =$ conținutul de hidrogen al combustibilului [% masă]

$w_N =$ conținutul de azot al combustibilului [% masă]

$w_O =$ conținutul de oxigen al combustibilului [% masă]

În ecuația (7-4), se poate considera raportul p_r/p_b :

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{p_r}{p_b}\right)} = 1.008 \quad (7-6)$$

Pentru arderea incompletă (amestecuri substanțiale de combustibil cu aer) și pentru încercările privind emisiile fără măsurarea directă a debitului de aer, se preferă o altă metodă de calcul a $k_{w,a}$:

$$k_{w,a} = \frac{\frac{1}{1 + \alpha \cdot 0.005 \cdot (c_{CO_2} + c_{CO})} - k_{w1}}{1 - \frac{p_r}{p_b}} \quad (7-7)$$

unde:

c_{CO_2} = concentrația de CO_2 în gazele de evacuare brute, în stare uscată [% volum]

c_{CO} = concentrația de CO în gazele de evacuare brute, în stare uscată [ppm]

p_r = presiunea apei după răcitor [kPa]

p_b = presiunea atmosferică totală [kPa]

α = raportul molar carbon-hidrogen [-]

k_{w1} = umiditatea aerului de admisie [-]

$$k_{w1} = \frac{1.608 \cdot H_a}{1000 + 1.608 \cdot H_a} \quad (7-8)$$

2.1.4. Corecția NO_x pentru umiditate și temperatură

Întrucât emisia de NO_x depinde de condițiile de aer ambiant, concentrația de NO_x se corectează în funcție de temperatura și umiditatea aerului ambiant prin aplicarea factorilor $k_{h,D}$ sau $k_{h,G}$ [-], care se obțin cu ajutorul ecuațiilor (7-9) și (7-10). Acești factori sunt valabili pentru un interval de umiditate cuprins între 0 și 25 g H_2O /kg aer uscat.

(a) pentru motoarele cu aprindere prin compresie

$$k_{h,D} = \frac{15.698 \times H_a}{1,000} + 0.832 \quad (7-9)$$

(b) pentru motoarele cu aprindere prin scânteie

$$k_{h,G} = 0,6272 + 44,030 \times 10^{-3} \times H_a - 0,862 \times 10^{-3} \times H_a^2 \quad (7-10)$$

unde:

H_a = umiditatea aerului de admisie [g H₂O/kg aer uscat]

2.1.5. Factorul u specific componentei

La punctele 2.1.5.1 și 2.1.5.2, sunt descrise două proceduri de calculare. Procedura stabilită la punctul 2.1.5.1 este mai simplă, întrucât folosește valori tabelare u pentru raportul dintre densitatea componentelor gazoase și cea a gazului de evacuare. Procedura stabilită la punctul 2.1.5.2 este mai exactă pentru calitățile de combustibil care se abat de la specificațiile din anexa VIII, însă necesită o analiză elementară a compoziției combustibilului.

2.1.5.1. Valori tabelare

Prin aplicarea unor simplificări (luarea în considerare a valorii λ și a condițiilor privind aerul de admisie astfel cum sunt prezentate în tabelul 7.1) ecuațiilor de la punctul 2.1.5.2, se obțin pentru u_{gas} valorile furnizate în tabelul 7.1.

Tabelul 7.1

Valorile u ale gazelor de evacuare brute și densitățile componentelor (pentru concentrațiile de emisii exprimate în ppm)

Combustibil	ρ_e	Gaz					
		NO_x	CO	HC	CO ₂	O ₂	CH ₄
		ρ_{gas} [kg/m ³]					
		2,053	1,250	^a	1,9636	1,4277	0,716
		u_{gas} ^b					
Motorină (motorină fără destinație rutieră)	1,2943	0,001586	0,000966	0,000482	0,001517	0,001103	0,000553
Etanol pentru	1,2768	0,001609	0,000980	0,000780	0,001539	0,001119	0,000561

motoare cu aprindere prin comprimare dedicate (ED95)							
Gaz natural/bi ometan ^c	1,2661	0,001621	0,000987	0,000528 ^d	0,001551	0,001128	0,000565
Propan	1,2805	0,001603	0,000976	0,000512	0,001533	0,001115	0,000559
Butan	1,2832	0,001600	0,000974	0,000505	0,001530	0,001113	0,000558
GPL ^e	1,2811	0,001602	0,000976	0,000510	0,001533	0,001115	0,000559
Benzină (E10)	1,2931	0,001587	0,000966	0,000499	0,001518	0,001104	0,000553
Etanol (E85)	1,2797	0,001604	0,000977	0,000730	0,001534	0,001116	0,000559
<p>^a în funcție de combustibil</p> <p>^b la $\lambda = 2$, aer uscat, 273 K, 101,3 kPa</p> <p>^c u cu o precizie de 0,2 % pentru compoziția masică a: C = 66 - 76 %; H = 22 - 25 %; N = 0 - 12 %</p> <p>^d NMHC pe bază de CH_{2,93} (pentru HC total, se folosește coeficientul u_{gas} al CH₄)</p> <p>^e u cu o precizie de 0,2% pentru compoziția masică a: C3 = 70 - 90 %; C4 = 10 - 30 %</p>							

2.1.5.2. Valori calculate

Factorul specific componentei, $u_{\text{gas},i}$, poate fi calculat din raportul dintre densitatea componentei și densitatea gazelor de evacuare sau, în mod alternativ, din raportul corespunzător al maselor molare [cu ajutorul ecuațiilor (7-11) sau (7-12)]:

$$u_{\text{gas},i} = M_{\text{gas}} / (M_{e,i} \cdot 1000) \quad (7-11)$$

sau

$$u_{\text{gas},i} = \rho_{\text{gas}} / (\rho_{e,i} \cdot 1000) \quad (7-12)$$

unde:

M_{gas} = masa molară a componentei gazoase [g/mol]

$M_{e,i}$ = masa molară instantanee a gazelor de evacuare brute în stare umedă [g/mol]

ρ_{gas} = densitatea componentei gazoase [kg/m³]

$\rho_{e,i}$ = densitatea instantanee a gazelor de evacuare brute în stare umedă [kg/m³]

Masa molară a gazelor de evacuare, $M_{e,i}$, pentru o compoziție generală a combustibilului $\text{CH}_\alpha\text{O}_\varepsilon\text{N}_\delta\text{S}_\gamma$, se determină pornind de la ipoteza arderii complete și se calculează cu ajutorul ecuației (7-13):

$$M_{e,i} = \frac{1 + \frac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}}}{\frac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}} \cdot \frac{\frac{\alpha}{4} + \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\delta}{2}}{12.001 + 1.00794 \cdot \alpha + 15.9994 \cdot \varepsilon + 14.0067 \cdot \delta + 32.0065 \cdot \gamma} + \frac{\frac{H_a \cdot 10^{-3}}{2 \times 1.00794 + 15.9994} + \frac{1}{M_a}}{1 + H_a \cdot 10^{-3}}} \quad (7-13)$$

unde:

$q_{mf,i}$ = debitul masic instantaneu al combustibilului, în stare umedă [kg/s]

$q_{maw,i}$ = debitul masic instantaneu al aerului de admisie, în stare umedă [kg/s]

α	=	raportul molar hidrogen-carbon [-]
δ	=	raportul molar azot-carbon [-]
ε	=	raportul molar oxigen-carbon [-]
γ	=	raportul atomic sulf-carbon [-]
H_a	=	umiditatea aerului de admisie [g H ₂ O/kg aer uscat]
M_a	=	masa moleculară a aerului de admisie uscat = 28,965 g/mol

Densitatea instantanee a gazelor de evacuare brute $\rho_{e,i}$ [kg/m³] se calculează cu ajutorul ecuației (7-14):

$$\rho_{e,i} = \frac{1000 + H_a + 1000 \cdot (q_{mf,i} / q_{mad,i})}{773.4 + 1.2434 \cdot H_a + k_f \cdot 1000 \cdot (q_{mf,i} / q_{mad,i})} \quad (7-14)$$

unde:

$q_{mf,i}$	=	debitul masic instantaneu al combustibilului [kg/s]
$q_{mad,i}$	=	debitul masic instantaneu al aerului de admisie [kg/s]
H_a	=	umiditatea aerului de admisie [g H ₂ O/kg aer uscat]
k_f	=	volumul suplimentar de ardere [m ³ /kg combustibil] [a se vedea ecuația (7-5)]

2.1.6. Debitul masic al gazelor de evacuare

2.1.6.1. Metoda de măsurare a aerului și a combustibilului

Metoda implică măsurarea debitului de aer și a debitului de combustibil cu debitmetre adecvate. Debitul instantaneu al gazelor de evacuare $q_{mew,i}$ [kg/s] se calculează cu ajutorul ecuației (7-15):

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} + q_{mf,i} \quad (7-15)$$

unde:

$q_{maw,i}$	=	debitul masic instantaneu al aerului de admisie [kg/s]
$q_{mf,i}$	=	debitul masic instantaneu al combustibilului [kg/s]

2.1.6.2. Metoda de măsurare a gazului trasor

Această metodă presupune măsurarea concentrației unui gaz trasor în gazele de evacuare. Debitul instantaneu al gazelor de evacuare $q_{mew,i}$ [kg/s] se calculează cu ajutorul ecuației (7-16):

$$q_{mew,i} = \frac{q_{Vt} \cdot \rho_e}{10^{-6} \cdot (c_{mix,i} - c_b)} \quad (7-16)$$

unde:

q_{Vt} = debitul gazului trasor [m³/s]

$c_{mix,i}$ = concentrația instantanee a gazului trasor după amestecare [ppm]

ρ_e = densitatea gazelor de evacuare brute [kg/m³]

c_b = concentrația de fond a gazului trasor în aerul de admisie [ppm]

Concentrația de fond a gazului trasor c_b se poate determina prin calcularea mediei concentrației de fond măsurate imediat înainte și după efectuarea încercării. În cazul în care concentrația de fond este mai mică de 1 % din concentrația gazului trasor după amestecare, $c_{mix,i}$, la debitul maxim al gazelor de evacuare, concentrația de fond poate fi neglijată.

2.1.6.3. Metoda de măsurare a debitului de aer și a raportului aer/combustibil

Metoda presupune calcularea masei gazelor de evacuare din debitul de aer și raportul aer/combustibil. Debitul masic instantaneu al gazelor de evacuare $q_{mew,i}$ [kg/s] se calculează cu ajutorul ecuației (7-17):

$$q_{mew,i} = q_{maw,i} \cdot \left(1 + \frac{1}{A/F_{st} \cdot \lambda_i} \right) \quad (7-17)$$

unde:

$$A/F_{st} = \frac{138.0 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma \right)}{12.011 + 1.00794 \cdot \alpha + 15.9994 \cdot \varepsilon + 14.0067 \cdot \delta + 32.065 \cdot \gamma} \quad (7-18)$$

$$\lambda_i = \frac{\left(100 - \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{2} - c_{HCw} \cdot 10^{-4}\right) + \left(\frac{\alpha \cdot \frac{1 - \frac{2 \cdot c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3.5 \cdot c_{CO2d}} - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\delta}{2}}{1 + \frac{c_{COd} \cdot 10^{-4}}{3.5 \cdot c_{CO2d}}}}{4}\right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4})}{4.764 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma\right) \cdot (c_{CO2d} + c_{COd} \cdot 10^{-4} + c_{HCw} \cdot 10^{-4})} \quad (7-19)$$

unde:

$q_{maw,i}$ = debitul masic al aerului de admisie, în stare umedă [kg/s]

A/F_{st} = raportul stoichiometric aer/combustibil [-]

λ_i = raportul instantaneu de aer în exces [-]

c_{COd} = concentrația de CO în gazele de evacuare brute, în stare uscată [ppm]

c_{CO2d} = concentrația de CO₂ în gazele de evacuare brute, în stare uscată [%]

c_{HCw} = concentrația de HC în gazele de evacuare brute, în stare umedă [ppm C1]

α = raportul molar hidrogen-carbon [-]

δ = raportul molar azot-carbon [-]

ε = raportul molar oxigen-carbon [-]

γ = raportul atomic sulf-carbon [-]

2.1.6.4. Metoda bilanțului de carbon, procedură într-o singură etapă

Următoarea formulă într-o singură etapă, dată de ecuația (7-20), se poate folosi pentru calculul debitului masic al gazelor de evacuare în stare umedă $q_{mew,i}$ [kg/s]:

$$q_{mew,i} = q_{mf,i} \cdot \left[\frac{1.4 \cdot w_c^2}{(1.0828 \cdot w_c + k_{fd} \cdot f_c) f_c} \left(1 + \frac{H_a}{1000}\right) + 1 \right] \quad (7-20)$$

cu factorul de carbon f_c [-] dat de:

$$f_c = 0.5441 \cdot (c_{CO2d} - c_{CO2d,a}) + \frac{c_{COd}}{18522} + \frac{c_{HCw}}{17355} \quad (7-21)$$

unde:

$q_{mf,i}$	=	debitul masic instantaneu al combustibilului [kg/s]
w_C	=	conținutul de carbon al combustibilului [% masă]
H_a	=	umiditatea aerului de admisie [g H ₂ O/kg aer uscat]
k_{fd}	=	volumul suplimentar de ardere, în stare uscată [m ³ /kg combustibil]
c_{CO_2d}	=	concentrația de CO ₂ din gazele de evacuare brute, în stare uscată [%]
$c_{CO_2d,a}$	=	concentrația de CO ₂ din aerul ambiant, în stare uscată [%]
c_{COd}	=	concentrația de CO din gazele de evacuare brute, în stare uscată [ppm]
c_{HCw}	=	concentrația de HC din gazele de evacuare brute, în stare umedă [ppm]

și factorul k_{fd} [m³/kg combustibil], care se calculează cu ajutorul ecuației (7-22) în stare uscată prin scăderea apei formate prin combustie din k_f :

$$k_{fd} = k_f - 0.11118 \cdot w_H \quad (7-22)$$

unde:

k_f = factorul specific combustibilului din ecuația (7-5) [m³/kg combustibil]

w_H = conținutul de hidrogen al combustibilului [% masă]

2.2. Emisii gazoase diluate

2.2.1. Masa emisiilor gazoase

Debitul masic al gazelor de evacuare se măsoară cu un instrument de prelevare de eșantioane cu volum constant (CVS), care poate utiliza o pompă volumetrică (PDP), un tub Venturi cu debit critic (CFV) sau un tub Venturi subsonic (SSV).

Pentru sistemele cu debit masic constant (respectiv cu schimbător de căldură), masa poluanților m_{gas} [g/încercare] se determină cu ajutorul ecuației (7-23):

$$m_{gas} = k_h \cdot k \cdot u_{gas} \cdot c_{gas} \cdot m_{ed} \quad (7-23)$$

unde:

- u_{gas} = este raportul dintre densitatea componentei din gazele de evacuare și densitatea aerului, indicată în tabelul 7.2 sau calculată cu ajutorul ecuației (7-34) [-]
- c_{gas} = concentrația de fond medie corectată a componentei în stare umedă [ppm] sau respectiv [% vol]
- k_h = factorul de corecție NO_x [-], se aplică numai pentru calculul emisiilor de NO_x
- k = 1 pentru $c_{\text{gasr,w},i}$ în [ppm], $k = 10\ 000$ pentru $c_{\text{gasr,w},i}$ în [% vol]
- m_{ed} = masa totală a gazelor de evacuare diluate pe durata ciclului [kg/încercare]

Pentru sistemele cu compensare a debitului (fără schimbător de căldură), masa poluanților m_{gas} [g/încercare] se determină prin calcularea masei instantanee a emisiilor, prin integrare și corecție de fond, cu ajutorul ecuației (7-24):

$$m_{\text{gas}} = k_h \cdot k \cdot \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\left(m_{\text{ed},i} \cdot c_e \cdot u_{\text{gas}} \right) \right] - \left[\left(m_{\text{ed}} \cdot c_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \cdot u_{\text{gas}} \right) \right] \right\} \quad (7-24)$$

unde:

- c_e = concentrația emisiilor în gazele de evacuare diluate, în stare umedă [ppm] sau [% vol]
- c_d = concentrația emisiilor în aerul de diluare, în stare umedă [ppm] sau [% vol]
- $m_{\text{ed},i}$ = masa gazelor de evacuare diluate în intervalul de timp i [kg]
- m_{ed} = masa totală a gazelor de evacuare diluate pe durata ciclului [kg]
- u_{gas} = valoarea tabelară din tabelul 7.2 [-]
- D = factorul de diluare (a se vedea ecuația (7-28) de la punctul 2.2.2.2) [-]
- k_h = factorul de corecție NO_x [-], se aplică numai pentru calculul emisiilor de NO_x
- k = 1 pentru c în [ppm], $k = 10\ 000$ pentru c în [% vol]

Concentrațiile c_{gas} , c_e și c_d pot fi valori măsurate într-un eșantion pe lot (într-un sac, dar nu este permis pentru NO_x și HC) sau pot fi valori medii obținute prin integrarea măsurătorilor continue. De asemenea, $m_{\text{ed},i}$ trebuie calculată ca medie prin integrarea pe durata ciclului de încercare.

Următoarele ecuații arată modul de calcul al cantităților necesare (c_e , u_{gas} și m_{ed}).

2.2.2. Conversia concentrației de la stare uscată la stare umedă

Toate concentrațiile stabilite la punctul 2.2.1 măsurate în stare uscată se convertesc în stare umedă cu ajutorul ecuației (7-3).

2.2.2.1. Gaze de evacuare diluate

Concentrațiile în stare uscată se convertesc la concentrații în stare umedă prin aplicarea uneia dintre următoarele două ecuații [(7-25) sau (7-26)]:

$$k_{w,e} = \left[\left(1 - \frac{\alpha \cdot c_{\text{CO}_2w}}{200} \right) - k_{w2} \right] \cdot 1.008 \quad (7-25)$$

sau

$$k_{w,e} = \left(\frac{1 - k_{w2}}{1 + \frac{\alpha \cdot c_{\text{CO}_2d}}{200}} \right) \cdot 1.008 \quad (7-26)$$

unde:

α = raportul molar hidrogen-carbon al combustibilului [-]

c_{CO_2w} = concentrația de CO_2 din gazele de evacuare diluate, în stare umedă [% volum]

c_{CO_2d} = concentrația de CO_2 din gazele de evacuare diluate, în stare uscată [% volum]

Factorul de corecție de la stare uscată la stare umedă k_{w2} ia în considerare conținutul de apă din aerul de admisie și aerul de diluare și se calculează cu ajutorul ecuației (7-27):

$$k_{w2} = \frac{1.608 \cdot \left[H_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \cdot \left(\frac{1}{D} \right) \right]}{1000 + \left\{ 1.608 \cdot \left[H_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \cdot \left(\frac{1}{D} \right) \right] \right\}} \quad (7-27)$$

unde:

H_a = umiditatea aerului de admisie [g H_2O /kg aer uscat]

H_d = umiditatea aerului de diluare [g H_2O /kg aer uscat]

D = factorul de diluare (a se vedea ecuația (7-28) de la punctul 2.2.2.2)
[-]

2.2.2.2. Factorul de diluare

Factorul de diluare D [-] (care este necesar pentru calculul corecției de fond și a k_{w2}) se calculează cu ajutorul ecuației (7-28):

$$D = \frac{F_S}{c_{CO_2,e} + (c_{HC,e} + c_{CO,e}) \cdot 10^{-4}} \quad (7-28)$$

unde:

F_S = factor stoichiometric [-]

$c_{CO_2,e}$ = concentrația de CO_2 din gazele de evacuare diluate, în stare umedă [% volum]

$c_{HC,e}$ = concentrația de HC din gazele de evacuare diluate, în stare umedă [ppm C1]

$c_{CO,e}$ = concentrația de CO din gazele de evacuare diluate, în stare umedă [ppm]

Factorul stoichiometric se calculează cu ajutorul ecuației (7-29)

$$F_S = 100 \cdot \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{2} + 3.76 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{4}\right)} \quad (7-29)$$

unde:

α = raportul molar hidrogen-carbon din combustibil [-]

Alternativ, în cazul în care nu se cunoaște compoziția combustibilului, se pot folosi următorii factori stoichiometrici:

F_S (motorină) = 13,4

F_S (GPL) = 11,6

F_S (GN) = 9,5

F_S (E10) = 13,3

F_S (E85) = 11,5

Dacă debitul gazelor de evacuare se măsoară direct, factorul de diluare D [-] se poate calcula cu ajutorul ecuației (7-30):

$$D = \frac{q_{VCVS}}{q_{Vew}} \quad (7-30)$$

unde:

q_{VCVS} = debitul volumic al gazelor de evacuare diluate [m^3/s]

q_{Vew} = debitul volumic al gazelor de evacuare brute [m^3/s]

2.2.2.3. Aerul de diluare

$$k_{w,d} = (1 - k_{w3}) \cdot 1.008 \quad (7-31)$$

cu

$$k_{w3} = \frac{1.608 \cdot H_d}{1000 + 1.608 \cdot H_d} \quad (7-32)$$

unde:

H_d = umiditatea aerului de diluare [g H_2O /kg aer uscat]

2.2.2.4. Determinarea concentrației de fond corectate

Concentrația de fond medie a poluanților gazoși din aerul de diluare se scade din concentrațiile măsurate, pentru a se obține concentrațiile nete ale poluanților. Valorile medii ale concentrațiilor de fond se pot determina prin metoda sacului de prelevare sau prin măsurarea continuă cu integrare. Se folosește ecuația (7-33)

$$c_{gas} = c_{gas,e} - c_d \cdot \left(1 - \frac{1}{D}\right) \quad (7-33)$$

unde:

c_{gas} = concentrația netă a poluanților gazoși [ppm] sau [% vol]

$c_{gas,e}$ = concentrația emisiilor în gazele de evacuare diluate, în stare umedă [ppm] sau [% vol]

c_d = concentrația emisiilor în aerul de diluare, în stare umedă [ppm] sau [% vol]

D = factorul de diluare (a se vedea ecuația (7-28) de la punctul 2.2.2.2) [-]

2.2.3. Factorul u specific componentei

Factorul u_{gas} specific componentei gazelor diluate se poate calcula cu ajutorul ecuației (7-34) sau poate fi preluat din tabelul 7.2; în tabelul 7.2, densitatea gazelor de evacuare diluate a fost considerată egală cu densitatea aerului.

$$u = \frac{M_{\text{gas}}}{M_{\text{d,w}} \cdot 1000} = \frac{M_{\text{gas}}}{\left[M_{\text{da,w}} \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) + M_{\text{r,w}} \cdot \left(\frac{1}{D} \right) \right] \cdot 1000} \quad (7-34)$$

unde:

M_{gas} = masa molară a componentei gazoase [g/mol]

$M_{\text{d,w}}$ = masa molară a gazelor de evacuare diluate [g/mol]

$M_{\text{da,w}}$ = masa molară a aerului de diluare [g/mol]

$M_{\text{r,w}}$ = masa molară a gazelor de evacuare brute [g/mol]

D = factorul de diluare (a se vedea ecuația (7-28) de la punctul 2.2.2.2) [-]

Tabelul 7.2

Valorile u ale gazelor de evacuare diluate (pentru concentrațiile de emisii exprimate în ppm) și densitățile componentelor

Combustibili	ρ_e	Gaz					
		NO_x	CO	HC	CO_2	O_2	CH_4
		ρ_{gas} [kg/m ³]					
		2,053	1,250	^a	1,9636	1,4277	0.716
		u_{gas} ^b					
Motorină (motorină fără destinație rutieră)	1,2943	0,001586	0,000966	0,000482	0,001517	0,001103	0,000553
Etanol pentru motoare cu aprindere prin comprimare	1,2768	0,001609	0,000980	0,000780	0,001539	0,001119	0,000561

re dedicate (ED95)							
Gaz natural/bi ometan ^c	1,2661	0,001621	0,000987	0,000528 ^d	0,001551	0,001128	0,000565
Propan	1,2805	0,001603	0,000976	0,000512	0,001533	0,001115	0,000559
Butan	1,2832	0,001600	0,000974	0,000505	0,001530	0,001113	0,000558
GPL ^e	1,2811	0,001602	0,000976	0,000510	0,001533	0,001115	0,000559
Benzină (E10)	1,2931	0,001587	0,000966	0,000499	0,001518	0,001104	0,000553
Etanol (E85)	1,2797	0,001604	0,000977	0,000730	0,001534	0,001116	0,000559
^a în funcție de combustibil ^b la $\lambda = 2$, aer uscat, 273 K, 101,3 kPa ^c u cu exactitate de 0,2% pentru compoziția masică a: C = 66 - 76 %; H = 22 - 25 %; N = 0 - 12 % ^d NMHC pe bază de CH _{2,93} (pentru HC total, se folosește coeficientul u_{gas} al CH ₄) ^e u cu exactitate de 0,2% pentru compoziția masică a: C3 = 70 - 90 %; C4 = 10 - 30 %							

2.2.4. Calculul debitului masic al gazelor de evacuare

2.2.4.1. Sistemul PDP-CVS

Masa gazelor de evacuare diluate [kg/încercare] pe durata ciclului se calculează cu ajutorul ecuației (7-35), dacă temperatura gazelor de evacuare diluate m_{ed} este menținută constantă pe durata ciclului, cu o toleranță de ± 6 K, cu ajutorul unui schimbător de căldură:

$$m_{\text{ed}} = 1.293 \cdot V_0 \cdot n_p \cdot \frac{p_p}{101.325} \cdot \frac{273.15}{T} \quad (7-35)$$

unde:

V_0 = volumul de gaz pompat pe fiecare rotație în condiții de încercare [m³/rotație]

n_p = numărul total de rotații ale pompei pentru fiecare încercare [rotație/încercare]

p_p = presiunea absolută la admisia în pompă [kPa]

\bar{T} = temperatura medie a gazelor de evacuare diluate la admisia în pompă [K]

$1,293 \text{ kg/m}^3 =$ densitatea aerului la 273,15 K și 101,325 kPa

În cazul în care se utilizează un sistem cu compensarea debitului (respectiv fără schimbător de căldură), masa gazelor de evacuare diluate $m_{ed,i}$ [kg] în cursul intervalului de timp se calculează cu ajutorul ecuației (7-36):

$$m_{ed,i} = 1.293 \cdot V_0 \cdot n_{p,i} \cdot \frac{p_p}{101.325} \cdot \frac{273.15}{\bar{T}} \quad (7-36)$$

unde:

$V_0 =$ volumul de gaz pompat pe fiecare rotație în condiții de încercare [m³/rotație]

$p_p =$ presiunea absolută la intrarea în pompă [kPa]

$n_{p,i} =$ numărul total de rotații ale pompei pe intervalul de timp i [rev/Δt]

$\bar{T} =$ temperatura medie a gazelor de evacuare diluate la admisia în pompă [K]

$1,293 \text{ kg/m}^3 =$ densitatea aerului la 273,15 K și 101,325 kPa

2.2.4.2. Sistemul CFV-CVS

Debitul masic pe durata ciclului m_{ed} [g/încercare] se calculează cu ajutorul ecuației (7-37), dacă temperatura gazelor de evacuare diluate este menținută constantă pe durata ciclului, cu o toleranță de ± 11 K, cu ajutorul unui schimbător de căldură:

$$m_{ed} = \frac{1.293 \cdot t \cdot K_V \cdot p_p}{T^{0.5}} \quad (7-37)$$

unde:

$t =$ durata ciclului [s]

$K_V =$ coeficientul de etalonare al tubului Venturi cu debit critic, pentru condiții standard $\left[(\sqrt{\text{K}} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s}) / \text{kg} \right]$

$p_p =$ presiunea absolută la admisia în tubul Venturi [kPa]

$T =$ temperatura absolută la admisia în tubul Venturi [K]

$1,293 \text{ kg/m}^3 =$ densitatea aerului la 273,15 K și 101,325 kPa

În cazul în care se utilizează un sistem cu compensarea debitului (respectiv fără schimbător de căldură), masa gazelor de evacuare diluate $m_{ed,i}$ [kg] în cursul intervalului de timp se calculează cu ajutorul ecuației (7-38):

$$m_{ed,i} = \frac{1.293 \cdot \Delta t_i \cdot K_V \cdot p_p}{T^{0.5}} \quad (7-38)$$

unde:

- Δt_i = intervalul de timp al încercării [s]
- K_V = coeficientul de etalonare al tubului Venturi cu debit critic, pentru condiții standard $\left[(\sqrt{\text{K}} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s}) / \text{kg} \right]$
- p_p = presiunea absolută la admisia în tubul Venturi [kPa]
- T = temperatura absolută la admisia în tubul Venturi [K]
- $1,293 \text{ kg/m}^3$ = densitatea aerului la 273,15 K și 101,325 kPa

2.2.4.3. Sistemul SSV-CVS

Debitul gazelor de evacuare diluate pe durata ciclului m_{ed} [kg/încercare] se calculează cu ajutorul ecuației (7-39), dacă temperatura gazelor de evacuare diluate este menținută constantă pe durata ciclului, cu o toleranță de ± 11 K, cu ajutorul unui schimbător de căldură:

$$m_{ed} = 1.293 \cdot q_{VSSV} \cdot \Delta t \quad (7-39)$$

unde:

- $1,293 \text{ kg/m}^3$ = densitatea aerului la 273,15 K și 101,325 kPa
- Δt = durata ciclului [s]
- q_{VSSV} = debitul de aer în condiții standard (101,325 kPa, 273,15 K) [m³/s]

cu

$$q_{VSSV} = \frac{A_0}{60} d_v^2 C_d p_p \sqrt{\left[\frac{1}{T} (r_p^{1.4286} - r_p^{1.7143}) \cdot \left(\frac{1}{1 - r_D^4 r_p^{1.4286}} \right) \right]} \quad (7-40)$$

unde:

- A_0 = totalul constantelor și al conversiilor de unități = 0,0056940

$$\left[\frac{\text{m}^3 \cdot \text{K}^{\frac{1}{2}} \cdot 1}{\text{min} \cdot \text{kPa} \cdot \text{mm}^2} \right]$$
- d_V = diametrul gâtului SSV [mm]
- C_d = coeficientul de evacuare al SSV [-]
- p_p = presiunea absolută la intrarea în tubul Venturi [kPa]
- T_{in} = temperatura la intrarea în tubul Venturi [K]
- r_p = raportul dintre presiunea statică absolută la gâtul și la admisia SSV,

$$\left(1 - \frac{\Delta p}{p_a} \right) [-]$$
- r_D = raportul dintre diametrul gâtului SSV și diametrul interior al
conduței de admisie $\frac{d}{D}$ [-]

În cazul în care se utilizează un sistem cu compensarea debitului (respectiv fără schimbător de căldură), masa gazelor de evacuare diluate $m_{ed,i}$ [kg] în cursul intervalului de timp se calculează cu ajutorul ecuației (7-41):

$$m_{ed,i} = 1.293 \cdot q_{VSSV} \cdot \Delta t_i \quad (7-41)$$

unde:

$$1,293 \text{ kg/m}^3 = \text{densitatea aerului la } 273,15 \text{ K și } 101,325 \text{ kPa}$$

$$\Delta t_i = \text{intervalul de timp [s]}$$

$$q_{VSSV} = \text{debitul volumic al SSV [m}^3/\text{s]}$$

2.3. Calculul emisiilor de particule

2.3.1. Cicluri de încercare în regim tranzitoriu (NRTC și LSI-NRTC) și RMC

Masa particulelor se calculează după corecția de flotabilitate a masei eșantionului de particule, în conformitate cu punctul 8.1.12.2.5.

2.3.1.1. Sistem de diluare în circuit parțial

2.3.1.1.1. Calculul în funcție de raportul de prelevare

Emisia de particule pe durata ciclului m_{PM} [g] se calculează cu ajutorul ecuației (7-42):

$$m_{PM} = \frac{m_f}{r_s \cdot 1000} \quad (7-42)$$

unde:

m_f = masa de particule prelevată pe durata ciclului [mg]

r_s = raportul mediu de prelevare pe durata ciclului de încercare [-]

unde:

$$r_s = \frac{m_{se}}{m_{ew}} \cdot \frac{m_{sep}}{m_{sed}} \quad (7-43)$$

unde:

m_{se} = masa eșantionului de gaze de evacuare brute pe durata ciclului [kg]

m_{ew} = masa totală a gazelor de evacuare brute pe durata ciclului [kg]

m_{sep} = masa gazelor de evacuare diluate care trec prin filtrele de colectare a particulelor

[kg]

m_{sed} = masa gazelor de evacuare diluate care trec prin tunelul de diluare [kg]

În cazul sistemului de prelevare totală, m_{sep} și m_{sed} sunt identice.

2.3.1.1.2. Calculul în funcție de raportul de diluare

Emisia de particule pe durata ciclului m_{PM} [g] se calculează cu ajutorul ecuației (7-44):

$$m_{PM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot \frac{m_{edf}}{1000} \quad (7-44)$$

unde:

m_f = masa de particule prelevată pe durata ciclului [mg]

m_{sep} = masa gazelor de evacuare diluate care trec prin filtrele de colectare a particulelor

[kg]

m_{edf} = masa gazelor de evacuare diluate echivalente pe durata ciclului [kg]

Masa totală a gazelor de evacuare diluate echivalente pe durata ciclului m_{edf} [kg] se determină cu ajutorul ecuației (7-45):

$$m_{\text{edf}} = \frac{1}{f} \cdot \sum_{i=1}^N q_{\text{medf},i} \quad (7-45)$$

unde:

$$q_{\text{medf},i} = q_{\text{mew},i} \cdot r_{\text{d},i} \quad (7-46)$$

$$r_{\text{d},i} = \frac{q_{\text{mdew},i}}{q_{\text{mdew},i} - q_{\text{mdw},i}} \quad (7-47)$$

unde:

$q_{\text{medf},i}$ = debitul masic echivalent instantaneu al gazelor de evacuare diluate [kg/s]

$q_{\text{mew},i}$ = debitul masic instantaneu al gazelor de evacuare, în stare umedă [kg/s]

$r_{\text{d},i}$ = raportul de diluare instantaneu [-]

$q_{\text{mdew},i}$ = debitul masic instantaneu al gazelor de evacuare diluate, în stare umedă [kg/s]

$q_{\text{mdw},i}$ = debitul masic instantaneu al aerului de diluare [kg/s]

f = frecvența de prelevare a datelor [Hz]

N = numărul de măsurători [-]

2.3.1.2. Sistem de diluare în circuit principal

Masa emisiilor se calculează cu ajutorul ecuației (7-48):

$$m_{\text{PM}} = \frac{m_{\text{f}}}{m_{\text{sep}}} \cdot \frac{m_{\text{ed}}}{1000} \quad (7-48)$$

unde:

m_{f} este masa de particule prelevată pe durata ciclului [mg]

m_{sep} este masa gazelor de evacuare diluate care trec prin filtrele de colectare a particulelor [kg]

m_{ed} este masa gazelor de evacuare diluate pe durata ciclului [kg]

cu

$$m_{sep} = m_{set} - m_{ssd} \quad (7-49)$$

unde:

m_{sep} = masa gazelor de evacuare dublu diluate prin filtrul de particule [kg]

m_{ssd} = masa aerului de diluare secundar [kg]

2.3.1.2.1. Corecția de fond

Corecția de fond a masei de particule $m_{PM,c}$ [g] se poate realiza cu ajutorul ecuației (7-50):

$$m_{PM,c} = \left\{ \frac{m_f}{m_{sep}} - \left[\frac{m_b}{m_{sd}} \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot \frac{m_{ed}}{1000} \quad (7-50)$$

unde:

m_f = masa de particule prelevată pe durata ciclului [mg]

m_{sep} = masa gazelor de evacuare diluate care trec prin filtrele de colectare a particulelor

[kg]

m_{sd} = masa de aer de diluare prelevată cu sistemul de prelevare a particulelor de fond [kg]

m_b = masa particulelor de fond colectate din aerul de diluare [mg]

m_{ed} = masa gazelor de evacuare diluate pe durata ciclului [kg]

D = factorul de diluare (a se vedea ecuația (7-28) de la punctul 2.2.2.2) [-]

2.3.2. Calculul pentru NRSC în mod discontinuu

2.3.2.1. Sistemul de diluare

Toate calculele se bazează pe valorile medii ale modurilor individuale i pe durata perioadei de prelevare.

- (a) Pentru diluarea în circuit închis, debitul masic echivalent al gazelor de evacuare diluate se determină cu ajutorul ecuației (7-51) și al sistemului de măsurare a debitului prezentat în figura 9.2:

$$q_{medf} = q_{mew} \cdot r_d \quad (7-51)$$

$$r_d = \frac{q_{mdew}}{q_{mdew} - q_{mdw}} \quad (7-52)$$

unde:

q_{medf} = debitul masic echivalent al gazelor de evacuare diluate [kg/s]

q_{mew} = debitul masic al gazelor de evacuare, în stare umedă [kg/s]

r_d = raportul de diluare [-]

q_{mdew} = debitul masic al gazelor de evacuare diluate, în stare umedă [kg/s]

q_{mdw} = debitul masic al aerului de diluare [kg/s]

- (b) Pentru sistemele de diluare în circuit principal, q_{mdew} se utilizează ca q_{medf} .

2.3.2.2. Calculul debitului masic de particule

Debitul emisiei de particule pe durata ciclului q_{mPM} [g/h] se calculează cu ajutorul ecuațiilor (7-53), (7-56), (7-57) sau (7-58):

- (a) Pentru metoda cu un singur filtru

$$q_{mPM} = \frac{m_f}{m_{sep}} \cdot q_{medf} \cdot \frac{3600}{1000} \quad (7-53)$$

$$q_{medf} = \sum_{i=1}^N q_{medfi} \cdot WF_i \quad (7-54)$$

$$m_{sep} = \sum_{i=1}^N m_{sepi} \quad (7-55)$$

unde:

q_{mPM} = debitul masic de particule [g/h]

m_f = masa de particule prelevată pe durata ciclului [mg]

- $\overline{q_{medf}}$ = debitul masic echivalent mediu al gazelor de evacuare diluate, în stare umedă
[kg/s]
- q_{medfi} = debitul masic echivalent al gazelor de evacuare diluate, în stare umedă,
în modul i [kg/s]
- WF_i = factor de ponderare pentru modul i [-]
- m_{sep} = masa gazelor de evacuare diluate care trec prin filtrele de colectare a particulelor
[kg]
- m_{sepi} = masa eșantionului de gaze de evacuare diluate care a trecut prin filtrul de prelevare a particulelor
în modul i [kg]
- N = numărul de măsurări [-]

(b) Pentru metoda cu filtre multiple

$$q_{mPMi} = \frac{m_{fi}}{m_{sepi}} \cdot q_{medfi} \cdot \frac{3600}{1000} \quad (7-56)$$

unde:

- q_{mPMi} = debitul masic de particule pentru modul i [g/h]
- m_{fi} = masa eșantionului de particule colectat în modul i [mg]
- q_{medfi} = debitul masic echivalent al gazelor de evacuare diluate, în stare umedă,
în modul i [kg/s]
- m_{sepi} = masa eșantionului de gaze de evacuare diluate care a trecut prin filtrul de prelevare a particulelor
în modul i [kg]

Masa de PM se determină pe durata ciclului de încercare prin însumarea valorilor medii ale modurilor individuale i pe durata perioadei de prelevare.

Corecția de fond a debitului masic de particule q_{mPM} [g/h] sau q_{mPMi} [g/h] se poate realiza după cum urmează:

(c) Pentru metoda cu un singur filtru

$$q_{mPM} = \left\{ \frac{m_f}{m_{sep}} - \left[\frac{m_{f,d}}{m_d} \cdot \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{1}{D_i} \right) \cdot WF_i \right] \right\} \cdot \overline{q_{medf}} \cdot \frac{3600}{1000} \quad (7-57)$$

unde:

q_{mPM} = debitul masic de particule [g/h]

m_f = masa eșantionului de particule colectate [mg]

m_{sep} = masa eșantionului de gaze de evacuare diluate care a trecut prin filtrul de prelevare a particulelor [kg]

$m_{f,d}$ = masa eșantionului de particule colectate din aerul de diluare [mg]

m_d = masa eșantionului de aer de diluare trecut prin filtrele de prelevare a particulelor [kg]

D_i = factorul de diluare în modul i [a se vedea ecuația (7-28) de la punctul 2.2.2.2] [-]

WF_i = factor de ponderare pentru modul i [-]

$\overline{q_{medf}}$ = debitul masic echivalent mediu al gazelor de evacuare diluate, în stare umedă [kg/s]

(d) Pentru metoda cu filtre multiple

$$q_{mPMi} = \left\{ \frac{m_{fi}}{m_{sepi}} - \left[\frac{m_{f,d}}{m_d} \cdot \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \cdot q_{medfi} \cdot \frac{3600}{1000} \quad (7-58)$$

unde:

q_{mPMi} = debitul masic de particule în modul i [g/h]

m_{fi} = masa eșantionului de particule colectat în modul i [mg]

m_{sepi} = masa eșantionului de gaze de evacuare diluate care a trecut prin filtrul de prelevare a particulelor în modul i [kg]

$m_{f,d}$ = masa eșantionului de particule colectate din aerul de diluare [mg]

m_d	=	masa eșantionului de aer de diluare trecut prin filtrele de prelevare a particulelor [kg]
D	=	factorul de diluare (a se vedea ecuația (7-28) de la punctul 2.2.2.2) [-]
q_{medfi}	=	debitul masic echivalent al gazelor de evacuare diluate, în stare umedă, în modul i [kg/s]

În cazul în care se realizează mai mult de o măsurătoare, $m_{f,d}/m_d$ se înlocuiește cu $\overline{m_{f,d}/m_d}$.

2.4. Lucrul mecanic al ciclului de încercare și emisiile specifice

2.4.1. Emisii de gaze

2.4.1.1. Cicluri de încercare în regim tranzitoriu (NRTC și LSI-NRTC) și RMC

Se face trimitere la punctele 2.1 și 2.2 pentru gazele de evacuare brute, respectiv diluate. Valorile rezultate pentru putere P [kW] sunt integrate pe un interval de încercare. Lucrul mecanic total W_{act} [kWh] se calculează cu ajutorul ecuației (7-59):

$$W_{act} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{10^3} \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^N (n_i \cdot T_i) \quad (7-59)$$

unde:

P_i	=	puterea instantanee a motorului [kW]
n_i	=	turația instantanee a motorului [rpm]
T_i	=	cuplul instantaneu al motorului [Nm]
W_{act}	=	lucrul mecanic efectiv în cursul unui ciclu [kWh]
f	=	frecvența de prelevare a datelor [Hz]
N	=	numărul de măsurări [-]

În cazul în care sunt montate dispozitive auxiliare în conformitate cu apendicele 2 la anexa VI, nu se efectuează ajustări pentru cuplul instantaneu al motorului în ecuația (7-59). În cazul în care, în conformitate cu punctul 6.3.2 sau 6.3.3 din anexa VI la prezentul regulament, dispozitivele auxiliare necesare care ar fi trebuit montate pentru încercare nu sunt instalate sau dispozitivele auxiliare care ar fi trebuit demontate pentru încercare sunt instalate, valoarea pentru T_i utilizată în ecuația (7-59) se ajustează cu ajutorul ecuației (7-60):

$$T_i = T_{i,\text{meas}} + T_{i,\text{AUX}} \quad (7-60)$$

unde:

$T_{i,\text{meas}}$ = valoarea măsurată a cuplului instantaneu al motorului

$T_{i,\text{AUX}}$ = valoarea corespunzătoare cuplului necesar pentru funcționarea dispozitivelor auxiliare, determinată în conformitate cu punctul 7.7.2.3.2 din anexa VI la prezentul regulament.

E emisiile specifice e_{gas} [g/kWh] se calculează în următoarele moduri, în funcție de tipul de ciclu de încercare.

$$e_{\text{gas}} = \frac{m_{\text{gas}}}{W_{\text{act}}} \quad (7-61)$$

unde:

m_{gas} = masa totală a emisiilor [g/încercare]

W_{act} = lucrul mecanic în cursul unui ciclu [kWh]

În cazul NRTC, pentru emisiile de gaze, altele decât CO₂, rezultatul final al încercării e_{gas} [g/kWh] este media ponderată între încercarea cu pornire la rece și încercarea cu pornire la cald, cu ajutorul ecuației (7-62):

$$e_{\text{gas}} = \frac{(0.1 \cdot m_{\text{cold}}) + (0.9 \cdot m_{\text{hot}})}{(0.1 \cdot W_{\text{act,cold}}) + (0.9 \cdot W_{\text{act,hot}})} \quad (7-62)$$

unde:

m_{cold} reprezintă emisiile masice de gaze la NRTC cu pornire la rece [g]

$W_{\text{act, cold}}$ reprezintă lucrul mecanic real al ciclului la NRTC cu pornire la rece [kWh]

m_{hot} reprezintă emisiile masice de gaze la NRTC cu pornire la cald [g]

$W_{\text{act, hot}}$ reprezintă lucrul mecanic real al ciclului la NRTC cu pornire la cald [kWh]

În cazul încercării NRTC, pentru CO₂, rezultatul final al încercării, e_{CO_2} [g/kWh], se calculează pe baza NRTC cu pornire la cald, cu ajutorul ecuației (7-63):

$$e_{\text{CO}_2,\text{hot}} = \frac{m_{\text{CO}_2,\text{hot}}}{W_{\text{act,hot}}} \quad (7-63)$$

unde:

$m_{CO_2, hot}$ reprezintă emisiile masice de CO_2 la NRTC cu pornire la cald [g]

$W_{act, hot}$ reprezintă lucrul mecanic real al ciclului la NRTC cu pornire la cald [kWh]

2.4.1.2. NRSC în mod discontinuu

Emisiile specifice e_{gas} [g/kWh] se calculează cu ajutorul ecuației (7-64):

$$e_{gas} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (q_{mgasi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N_{mode}} (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-64)$$

unde:

$q_{mgas,i}$ = debitul masic mediu al emisiilor pentru modul i [g/h]

P_i = puterea motorului pentru modul i [kW] cu $P_i = P_{maxi} + P_{auxi}$ (a se vedea punctele 6.3 și 7.7.1.3)

WF_i = factor de ponderare pentru modul i [-]

2.4.2. Emisiile de particule

2.4.2.1. Cicluri de încercare în regim tranzitoriu (NRTC și LSI-NRTC) și RMC

Emisiile specifice de particule se calculează cu ajutorul ecuației (7-61), unde e_{gas} [g/kWh] și m_{gas} [g/încercare] sunt înlocuite cu e_{PM} [g/kWh], respectiv m_{PM} [g/încercare]:

$$e_{PM} = \frac{m_{PM}}{W_{act}} \quad (7-65)$$

unde:

m_{PM} = masa totală a emisiilor de particule, calculată în conformitate cu punctul 2.3.1.1 sau 2.3.1.2 [g/încercare]

W_{act} = lucrul mecanic în cursul unui ciclu [kWh]

Emisiile în ciclul tranzitoriu compus (respectiv NRTC cu pornire la rece și NRTC cu pornire la cald) se calculează astfel cum se indică la punctul 2.4.1.1.

2.4.2.2. NRSC în mod discontinuu

Emisiile de particule specifice e_{PM} [g/kWh] se calculează cu ajutorul ecuațiilor (7-66) sau (7-67):

(a) Pentru metoda cu un singur filtru

$$e_{PM} = \frac{q_{mPM}}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-66)$$

unde:

P_i = puterea motorului pentru modul i [kW] cu $P_i = P_{maxi} + P_{auxi}$

(a se vedea punctele 6.3 și 7.7.1.3 din anexa VI)

WF_i = factor de ponderare pentru modul i [-]

q_{mPM} = debitul masic de particule [g/h]

(b) Pentru metoda cu filtre multiple

$$e_{PM} = \frac{\sum_{i=1}^N (q_{mPMi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-67)$$

unde:

P_i = puterea motorului pentru modul i [kW] cu $P_i = P_{maxi} + P_{auxi}$

(a se vedea punctele 6.3 și 7.7.1.3)

WF_i = factorul de ponderare pentru modul i [-]

q_{mPMi} = debitul masic de particule în modul i [g/h]

În cazul metodei cu un singur filtru, factorul de ponderare efectiv, WF_{ei} , pentru fiecare mod se calculează cu ajutorul ecuației (7-68):

$$WF_{ei} = \frac{m_{sepi} \cdot q_{medf}}{m_{sep} \cdot q_{medfi}} \quad (7-68)$$

unde:

m_{sepi} = masa eșantionului de gaze de evacuare diluate care a trecut prin filtrul de prelevare a particulelor

în modul i [kg]

$\overline{q_{medf}}$	=	debitul masic echivalent mediu de gaze de evacuare diluate [kg/s]
q_{medfi}	=	debitul masic echivalent de gaze de evacuare diluate în modul i [kg/s]
m_{sep}	=	masa eșantionului de gaze de evacuare diluate care a trecut prin filtrul de prelevare a particulelor [kg]

Valorile factorilor de ponderare efectivi trebuie să se încadreze în intervalul $\pm 0,005$ (valoare absolută) față de factorii de ponderare enumerați în apendicele 1 la anexa XVII.

2.4.3. Ajustări pentru sistemele de control a emisiilor care sunt regenerate în mod ocazional (periodic)

În cazul motoarelor, altele decât cele de categoria RLL, echipate cu sisteme de posttratate a gazelor de evacuare care sunt regenerate în mod ocazional (periodic) (a se vedea punctul 6.6.2 din anexa VI), emisiile specifice de gaze și particule poluante calculate în conformitate cu punctele 2.4.1 și 2.4.2 se corectează prin folosirea factorului de ajustare multiplicativ aplicabil sau a factorului de ajustare aditiv aplicabil. În cazul în care regenerarea ocazională nu a avut loc pe parcursul încercării, se aplică factorul de ajustare superioară ($k_{ru,m}$ sau $k_{ru,a}$). În cazul în care regenerarea ocazională a avut loc pe parcursul încercării, se aplică factorul de ajustare inferioară ($k_{rd,m}$ sau $k_{rd,a}$). În cazul NRSC în mod discontinuu, atunci când factorii de ajustare au fost determinați pentru fiecare mod, aceștia se aplică pentru fiecare mod în timpul calculării rezultatului ponderat al emisiilor.

2.4.4. Ajustări pentru factorul de deteriorare

Emisiile specifice de gaze și particule poluante calculate în conformitate cu punctele 2.4.1 și 2.4.2, dacă este cazul, inclusiv factorul de ajustare a regenerării ocazionale, în conformitate cu punctul 2.4.3, se ajustează, de asemenea, prin aplicarea factorului de deteriorare multiplicativ sau aditiv, stabilit în conformitate cu cerințele din anexa III.

2.5. Etalonarea debitului de gaze de evacuare (CVS) diluate și calculele aferente

Sistemul CVS se etalonează folosind un debitmetru de precizie și un dispozitiv de limitare a debitului. Debitul prin sistem trebuie măsurat la diferite reglaje de limitare, iar parametrii de control ai sistemului se măsoară și se raportează la debit.

Pot fi utilizate diferite tipuri de debitmetre precum tuburi Venturi etalonate, debitmetru etalonat pentru curgere laminară, debitmetru cu turbină etalonat.

2.5.1. Pompa volumetrică (PDP)

Toți parametrii cu privire la pompa volumetrică se măsoară simultan cu parametrii aferenți unui tub Venturi de etalonare conectat în serie cu pompa. Debitul calculat (în m^3/s la orificiul de admisie al pompei, la presiune absolută și temperatură absolută) se reprezintă grafic în raport cu o funcție de corelare care reprezintă valoarea unei combinații specifice a parametrilor pompei. Se stabilește ecuația liniară care pune în relație debitul pompei și funcția de corelare. În cazul în care un sistem CVS este antrenat de un motor cu viteze multiple, etalonarea se efectuează pentru fiecare interval folosit.

Pe durata etalonării, trebuie să se mențină o temperatură constantă.

Scurgerile la nivelul tuturor racordurilor și conductelor dintre tubul Venturi de etalonare și pompa CVS trebuie menținute sub 0,3 % din nivelul celui mai scăzut debit de curgere (cea mai mare limitare și cea mai mică turație a pompei volumetrice).

Debitul de aer (q_{VCVS}) la fiecare reglaj limitativ (minimum 6 reglaje) se calculează în m^3/s standard din datele debitmetrului utilizând metoda prescrisă de producător. Debitul de aer se transformă ulterior în debit unitar al pompei (V_0) în $m^3/rotație$, la temperatura și presiunea absolută la admisia în pompă, cu ajutorul ecuației (7-69):

$$V_0 = \frac{q_{VCVS}}{n} \cdot \frac{T}{273,15} \cdot \frac{101,325}{p_p} \quad (7-69)$$

unde:

q_{VCVS} = debitul de aer în condiții standard (101,325 kPa, 273,15 K) [m^3/s]

T = temperatura la intrarea în pompă [K]

p_p = presiunea absolută la admisia în pompă [kPa]

n = turația pompei [rotații/s]

Pentru a ține cont de variațiile de presiune la pompă și de rata pierderilor la pompă, funcția de corelare (X_0) [s/rotație] între turația pompei, diferența de presiune dintre

intrarea în pompă și ieșirea din pompă și presiunea absolută la ieșirea din pompă se calculează cu ajutorul ecuației (7-70):

$$X_0 = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_p}{p_p}} \quad (7-70)$$

unde:

Δp_p = diferența de presiune între intrarea în pompă și ieșirea din pompă [kPa]

p_p = presiunea absolută la ieșirea din pompă [kPa]

n = turația pompei [rotații/s]

Se realizează o ajustare liniară prin metoda celor mai mici pătrate pentru a genera etalonarea, cu ajutorul ecuației (7-71):

$$V_0 = D_0 - m \cdot X_0 \quad (7-71)$$

cu D_0 [$\text{m}^3/\text{rotație}$] și m [m^3/s], ordonata la origine și, respectiv, panta, care descriu linia de regresie.

Pentru sistemul CVS cu turații multiple, curbele de etalonare generate pentru diferite intervale ale debitului pompei trebuie să fie aproximativ paralele, iar valorile ordonate la origine (D_0) să crească o dată cu reducerea intervalului debitului pompei.

Valorile calculate prin ecuație trebuie să se situeze în intervalul $\pm 0,5\%$ din valorile măsurate ale V_0 . Valorile lui m variază în funcție de pompă. În timp, influxul de particule conduce la scăderea pierderilor de debit prin pompă, astfel cum este reflectat de valorile scăzute ale lui m . Prin urmare, etalonarea se efectuează la punerea în funcțiune a pompei, după lucrări de întreținere majore, precum și în cazul în care verificarea întregului sistem indică o modificare a ratei pierderilor de debit.

2.5.2. Tub Venturi cu debit critic (CFV)

Etalonarea CFV are la bază ecuația debitului pentru un tub Venturi cu debit critic. Debitul de gaz este în funcție de presiunea și temperatura de admisie în tubul Venturi.

Pentru determinarea intervalului debitului critic, K_V se reprezintă grafic ca o funcție a presiunii de admisie în tubul Venturi. Pentru debitul critic (strangulat), K_V va avea o valoare relativ constantă. Odată cu scăderea presiunii (creșterea vidului), tubul Venturi nu mai este strangulat, iar K_V scade, ceea ce indică faptul că CFV funcționează în afara intervalului permis.

Debitul de aer (q_{VCVS}) la fiecare reglaj limitativ (minimum 8 reglaje) se calculează în m^3/s standard din datele debitmetrului, utilizând metoda prescrisă de producător.

Coeficientul de etalonare K_V $\left[(\sqrt{\text{K}} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s}) / \text{kg} \right]$ se calculează pe baza datelor de etalonare pentru fiecare reglaj, cu ajutorul ecuației (7-72):

$$K_V = \frac{q_{V\text{CVS}} \cdot \sqrt{T}}{p_p} \quad (7-72)$$

unde:

$q_{V\text{SSV}}$ = debitul de aer în condiții standard (101,325 kPa, 273,15 K) [m^3/s]

T = temperatura la intrarea în tubul Venturi [K]

p_p = presiunea absolută la intrarea în tubul Venturi [kPa]

Se calculează media K_V și abaterea standard. Abaterea standard nu trebuie să depășească $\pm 0,3$ % din valoarea medie a K_V .

2.5.3. Tub Venturi subsonic (SSV)

Etalonarea SSV are la bază ecuația debitului pentru un tub Venturi subsonic. Debitul de gaz este o funcție a presiunii și temperaturii de admisie, a scăderii presiunii dintre orificiul de admisie și gâtul SSV, astfel cum se indică în ecuația (7-40).

Debitul de aer ($q_{V\text{SSV}}$) la fiecare reglaj limitativ (minimum 16 reglaje) se calculează în m^3/s standard din datele debitmetrului, utilizând metoda prescrisă de producător. Coeficientul de evacuare se calculează pe baza datelor de etalonare pentru fiecare reglaj, cu ajutorul ecuației (7-73):

$$C_d = \frac{q_{V\text{SSV}}}{\frac{A_0}{60} d_v^2 p_p \sqrt{\left[\frac{1}{T_{\text{in},V}} (r_p^{1.4286} - r_p^{1.7143}) \left(\frac{1}{1 - r_D^4 r_p^{1.4286}} \right) \right]}} \quad (7-73)$$

unde:

A_0 = totalul constantelor și al factorilor de conversie ai unităților =
 $0,0056940 \left[\frac{\text{m}^3 \cdot \text{K}^{\frac{1}{2}}}{\text{min} \cdot \text{kPa} \cdot \text{mm}^2} \right]$

$q_{V\text{SSV}}$ = debitul de aer în condiții standard (101,325 kPa, 273,15 K) [m^3/s]

$T_{\text{in},V}$ = temperatura la intrarea în tubul Venturi [K]

d_v = diametrul gâtului SSV [mm]

$$r_p = \text{raportul între presiunile statice absolute la gâtul și la admisia SSV} \\ = 1 - \Delta p / p_p \quad [-]$$

$$r_D = \text{raportul dintre diametrul gâtului SSV, } d_v, \text{ și diametrul interior al} \\ \text{conduței de admisie } D \text{ [-]}$$

Pentru a determina intervalul de valori ale debitului subsonic, C_d se reprezintă grafic ca o funcție a numărului lui Reynolds, Re , la nivelul gurii SSV. Re la gâtul SSV se calculează cu ajutorul ecuației (7-74):

$$Re = A_1 \cdot 60 \cdot \frac{q_{VSSV}}{d_v \cdot \mu} \quad (7-74)$$

cu

$$\mu = \frac{b \times T^{1.5}}{S + T} \quad (7-75)$$

unde:

$$A_1 = \text{totalul constantelor și al conversiilor de unități} = 27,43831 \\ \left[\frac{\text{Kg} \cdot \text{min} \cdot \text{mm}}{\text{m}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{m}} \right]$$

$$q_{VSSV} = \text{debitul de aer în condiții standard (101,325 kPa, 273,15 K) [m}^3/\text{s]}$$

$$d_v = \text{diametrul gurii SSV [mm]}$$

$$\mu = \text{viscozitatea absolută sau dinamică a gazului [kg/(m \cdot s)]}$$

$$b = 1,458 \times 10^6 \text{ (constantă empirică) [kg/(m \cdot s \cdot K}^{0,5}\text{)]}$$

$$S = 110,4 \text{ (constantă empirică) [K]}$$

Întrucât q_{VSSV} se utilizează în formula de calcul a Re , calculele trebuie să înceapă cu o valoare inițială estimată a q_{VSSV} sau a C_d a tubului Venturi de etalonare și să se repete până când valorile q_{VSSV} converg. Metoda de convergență trebuie să aibă o precizie de cel puțin 0,1 %.

Pentru un minimum de șaisprezece puncte situate în regiunea debitului subsonic, valorile calculate ale C_d din ecuația rezultată din ajustarea curbei de etalonare trebuie să se situeze în intervalul $\pm 0,5$ % din valoarea măsurată a C_d pentru fiecare punct de etalonare.

2.6. Corectarea abaterilor de măsurare

2.6.1. Procedură generală

Calculule din această secțiune se efectuează pentru a determina dacă abaterea analizorului de gaze invalidează rezultatele unui interval de încercare. În cazul în care abaterea nu invalidează rezultatele unui interval de încercare, răspunsurile analizorului de gaze din intervalul de încercare se corectează în funcție de abatere, în conformitate cu punctul 2.6.2. Răspunsurile analizorului de gaze cu corecție de abatere se utilizează în toate calculele ulterioare privind emisiile. Pragul acceptabil pentru abaterea analizorului de gaze într-un interval de încercare este menționat la punctul 8.2.2.2. din anexa VI.

Procedura generală de încercare trebuie să respecte dispozițiile prevăzute în apendicele 1, concentrațiile x_i sau \bar{x} fiind înlocuite cu concentrațiile c_i sau, respectiv, \bar{c} .

2.6.2. Metoda de calcul

Corecția abaterii se calculează cu ajutorul ecuației (7-76):

$$c_{i\text{driftcor}} = c_{\text{refzero}} + (c_{\text{refspan}} - c_{\text{refzero}}) \frac{2c_i - (c_{\text{prezero}} + c_{\text{postzero}})}{(c_{\text{prespan}} + c_{\text{postspan}}) - (c_{\text{prezero}} + c_{\text{postzero}})} \quad (7-76)$$

unde:

$c_{i\text{driftcor}}$ = concentrația corectată în funcție de abatere [ppm]

c_{refzero} = concentrația de referință a gazului de aducere la zero, care este de obicei zero cu excepția cazului în care se cunoaște că este diferită [ppm]

c_{refspan} = concentrația de referință a gazului de calibrare [ppm]

c_{prespan} = răspunsul analizorului de gaze în intervalul dinaintea încercării la concentrația gazului de calibrare [ppm]

c_{postspan} = răspunsul analizorului de gaze în intervalul de după încercare la concentrația gazului de calibrare [ppm]

c_i sau \bar{c} = concentrația înregistrată, adică măsurată în timpul încercării, înainte de corecția în funcție de abaterea de măsurare [ppm]

c_{prezero} = răspunsul analizorului de gaze în intervalul dinaintea încercării la concentrația gazului de aducere la zero [ppm]

c_{postzero} = răspunsul analizorului de gaze în intervalul de după încercare la concentrația gazului de aducere la zero [ppm]

3. Calculul emisiilor pe bază molară

3.1. Indici

	Mărime
abs	Cantitate absolută
act	Cantitate efectivă
air	Aer, uscat
atmos	Atmosferic
bkgnd	Fond
C	Carbon
cal	Cantitate de etalonare
CFV	Tub Venturi cu debit critic
cor	Cantitate corectată
dil	Aer de diluare
dexh	Gaze de evacuare diluate
dry	Cantitate uscată
exh	Gazul de evacuare brut
exp	Cantitate preconizată
eq	Cantitate echivalentă
fuel	Combustibil
	Măsurare instantanee (de exemplu: 1 Hz)
<i>i</i>	Element individual dintr-o serie
idle	Stare la ralanti
in	Cantitate introdusă
init	Cantitate inițială, adesea înaintea unei încercări privind emisiile
max	Valoare maximă (respectiv de vârf)
meas	Cantitate măsurată
min	Valoare minimă
mix	Masă molară a aerului
out	Cantitate evacuată
part	Cantitate parțială
PDP	Pompă volumetrică
raw	Gaze de evacuare brute
ref	Cantitate de referință
rev	rotație
sat	Stare saturată

slip	Pierdere la nivelul PDP
simpl	Prelevare eşantioane
span	Cantitate de calibrare
SSV	Tub Venturi subsonic
std	Cantitate standard
test	Cantitate supusă încercării
total	Cantitate totală
uncor	Cantitate necorectată
vac	Cantitate vacuum
weight	Greutate de etalonare
wet	Cantitate în stare umedă
zero	Cantitate zero

3.2. Simboluri pentru bilanțul chimic

$x_{dil/exh}$ = Cantitatea de gaz de diluare sau de aer în exces pe mol de gaze de evacuare

$x_{H_2O_{exh}}$ = Cantitatea de apă din gazele de evacuare pe mol de gaze de evacuare

$x_{C_{combdry}}$ = Cantitatea de carbon din combustibil în gazele de evacuare pe mol de gaze de evacuare uscate

$x_{H_2O_{exhdry}}$ = Cantitatea de apă din gazele de evacuare pe mol de gaze de evacuare uscate

$x_{prod/intdry}$ = Cantitatea de produse stoichiometrice uscate pe mol uscat de aer de admisie

$x_{dil/exhdry}$ = Cantitatea de gaz de diluare și/sau de aer în exces pe mol de gaze de evacuare uscate

$x_{int/exhdry}$ = Cantitatea de aer de admisie necesară pentru generarea produșilor de ardere efectivi pe mol de gaze de evacuare uscate (brute sau diluate)

$x_{raw/exhdry}$ = Cantitatea de gaze de evacuare nediluate, fără exces de aer, pe mol de gaze de evacuare uscate (brute sau diluate)

$x_{O_2_{intdry}}$ = Cantitatea de O_2 din aerul de admisie pe mol de aer de admisie uscat

$x_{CO_2_{intdry}}$ = Cantitatea de CO_2 din aerul de admisie pe mol de aer de admisie uscat

$x_{H_2O_{intdry}}$ = Cantitatea de H_2O din aerul de admisie pe mol de aer de admisie uscat

$x_{CO_2_{int}}$ = Cantitatea de CO_2 din aerul de admisie pe mol de aer de admisie uscat

$x_{CO_2_{dil}}$ = Cantitatea de CO_2 din gazul de diluare pe mol de gaz de diluare

$x_{CO_2_{dildry}}$ = Cantitatea de CO_2 din gazul de diluare pe mol de gaz de diluare uscat

$x_{H_2O_{dil_{dry}}} =$ Cantitatea de H_2O din gazul de diluare pe mol de gaz de diluare uscat

$x_{H_2O_{dil}} =$ Cantitatea de H_2O din gazul de diluare pe mol de gaz de diluare

$x_{[emission]_{meas}} =$ Cantitatea de emisii măsurată în eșantionul de la analizorul de gaze respectiv

$x_{[emission]_{dry}} =$ Cantitatea de emisii pe mol uscat de eșantion uscat

$x_{H_2O_{[emission]_{meas}}} =$ Cantitatea de apă din eșantionul de la locul de detectare a emisiei

$x_{H_2O_{int}} =$ Cantitatea de apă din aerul de admisie, bazată pe măsurarea umidității aerului de admisie

3.3. Parametri și relații de bază

3.3.1. Aer uscat și specii chimice

Această secțiune utilizează următoarele valori pentru compoziția aerului uscat:

$$x_{O_{2air_{dry}}} = 0,209445 \text{ mol/mol}$$

$$x_{Ar_{air_{dry}}} = 0,00934 \text{ mol/mol}$$

$$x_{N_{2air_{dry}}} = 0,78084 \text{ mol/mol}$$

$$x_{CO_{2air_{dry}}} = 375 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

Această secțiune utilizează următoarele mase molare sau mase molare efective ale speciilor chimice:

$$M_{air} = 28,96559 \text{ g/mol (aer uscat)}$$

$$M_{Ar} = 39,948 \text{ g/mol (argon)}$$

$$M_C = 12,0107 \text{ g/mol (carbon)}$$

$$M_{CO} = 28,0101 \text{ g/mol (monoxid de carbon)}$$

$$M_{CO_2} = 44,0095 \text{ g/mol (dioxid de carbon)}$$

$$M_H = 1,00794 \text{ g/mol (hidrogen atomic)}$$

$$M_{H_2O} = 2,01588 \text{ g/mol (hidrogen molecular)}$$

$$M_{H_2O} = 18,01528 \text{ g/mol (apă)}$$

$$M_{He} = 4,002602 \text{ g/mol (heliu)}$$

$M_N = 14,0067 \text{ g/mol}$ (azot atomic)

$M_{N_2} = 28,0134 \text{ g/mol}$ (azot molecular)

$M_{NO_x} = 46,0055 \text{ g/mol}$ (oxizi de azot^(b))

$M_O = 15,9994 \text{ g/mol}$ (oxigen atomic)

$M_{O_2} = 31,9988 \text{ g/mol}$ (oxigen molecular)

$M_{C_3H_8} = 44,09562 \text{ g/mol}$ (propan)

$M_S = 32,065 \text{ g/mol}$ (sulf)

$M_{HC} = 13,875389 \text{ g/mol}$ (hidrocarburi totale^(a))

(a) Masa molară efectivă a HC este definită printr-un raport atomic hidrogen/carbon, α , de 1,85.

(b) Masa molară efectivă a NO_x este definită de masa molară a dioxidului de azot, NO₂.

Această secțiune utilizează următoarea constantă molară a gazului, R , pentru gaze ideale:

$$R = 8.314472 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

Această secțiune utilizează următoarele rapoarte ale căldurilor specifice γ $[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]/[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$ pentru aerul de diluare și gazele de evacuare diluate:

$\gamma_{\text{air}} = 1,399$ (raportul căldurilor specifice pentru aerul de admisie sau aerul de diluare)

$\gamma_{\text{dil}} = 1,399$ (raportul căldurilor specifice pentru gazele de evacuare diluate)

$\gamma_{\text{exh}} = 1,385$ (raportul căldurilor specifice pentru gazele de evacuare brute)

3.3.2. Aer umed

Această secțiune descrie modul de determinare a cantității de apă dintr-un gaz ideal:

3.3.2.1. Presiunea vaporilor de apă

Presiunea vaporilor de apă p_{H_2O} [kPa] pentru o temperatură de saturație dată, T_{sat} [K], se calculează cu ajutorul ecuațiilor (7-77) sau (7-78):

(a) Pentru măsurări ale umidității efectuate la temperaturi ambiante cuprinse între 0 și 100 °C sau pentru măsurători ale umidității efectuate în apă suprarăcită la temperaturi ambiante cuprinse între - 50 și 0 °C:

$$\log_{10}(p_{\text{H}_2\text{O}}) = 10.79574 \cdot \left(1 - \frac{273.16}{T_{\text{sat}}}\right) - 5.02800 \cdot \log_{10}\left(\frac{T_{\text{sat}}}{273.16}\right) +$$

$$+ 1.50475 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - 10^{-8.2969 \cdot \left(\frac{T_{\text{sat}}}{273.16} - 1\right)}\right) + 0.42873 \cdot 10^{-3} \cdot \left(10^{4.76955 \cdot \left(1 - \frac{273.16}{T_{\text{sat}}}\right)} - 1\right) - 0.2138602$$

(7-77)

unde:

$p_{\text{H}_2\text{O}}$ = presiunea de vapori a apei la temperatura de saturație [kPa]

T_{sat} = temperatura de saturație a apei în condițiile de măsurare [K]

- (b) Pentru măsurări ale umidității efectuate deasupra gheții la temperaturi ambiante cuprinse între -100 și 0 °C:

$$\log_{10}(p_{\text{H}_2\text{O}}) = -9.096853 \cdot \left(\frac{273.16}{T_{\text{sat}}} - 1\right) - 3.566506 \cdot \log_{10}\left(\frac{273.16}{T_{\text{sat}}}\right)$$

$$+ 0.876812 \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{sat}}}{273.16}\right) - 0.2138602$$

(7-78)

unde:

T_{sat} = temperatura de saturație a apei în condițiile de măsurare [K]

3.3.2.2. Punctul de rouă

În cazul în care umiditatea se măsoară ca punct de rouă, cantitatea de apă dintr-un gaz ideal $x_{\text{H}_2\text{O}}$ [mol/mol] se calculează cu ajutorul ecuației (7-79):

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{abs}}} \tag{7-79}$$

unde:

$x_{\text{H}_2\text{O}}$ = cantitatea de apă dintr-un gaz ideal [mol/mol]

$p_{\text{H}_2\text{O}}$ = presiunea de vapori a apei la punctul de condens măsurat,
 $T_{\text{sat}} = T_{\text{dew}}$ [kPa]

p_{abs} = presiunea statică absolută în mediu umed la locul de măsurare a punctului de rouă [kPa]

3.3.2.3. Umiditatea relativă

În cazul în care umiditatea se măsoară ca umiditate relativă $RH\%$, cantitatea de apă dintr-un gaz ideal x_{H_2O} [mol/mol] se calculează cu ajutorul ecuației (7-80):

$$x_{H_2O} = \frac{RH\%}{100} \cdot \frac{p_{H_2O}}{p_{abs}} \quad (7-80)$$

unde:

$RH\%$ = umiditatea relativă [%]

p_{H_2O} = presiunea vaporilor de apă la 100 % umiditate relativă la locul de măsurare a umidității relative, $T_{sat}=T_{amb}$ [kPa]

p_{abs} = presiunea statică absolută în mediu umed la locul de măsurare a umidității relative [kPa]

3.3.2.4. Determinarea punctului de rouă în funcție de umiditatea relativă și de temperatura termometrului uscat

În cazul în care umiditatea se măsoară ca umiditate relativă, $RH\%$, punctul de rouă, T_{dew} , se determină din $RH\%$ și temperatura termometrului uscat cu ajutorul ecuației (7-81):

$$T_{dew} = \frac{2.0798233 \cdot 10^2 - 2.0156028 \cdot 10^1 \cdot \ln(p_{H_2O}) + 4.6778925 \cdot 10^{-1} \cdot \ln(p_{H_2O})^2 - 9.2288067 \cdot 10^{-6} \cdot \ln(p_{H_2O})^3}{1 - 1.3319669 \cdot 10^{-1} \cdot \ln(p_{H_2O}) + 5.6577518 \cdot 10^{-3} \cdot \ln(p_{H_2O})^2 - 7.517286510 \cdot 10^{-5} \cdot \ln(p_{H_2O})^3} \quad (7-81)$$

unde

p_{H_2O} = presiunea vaporilor de apă ajustată la umiditatea relativă la locul de măsurare a umidității relative [kPa], $T_{sat} = T_{amb}$

T_{dew} = punctului de rouă determinat în funcție de umiditatea relativă și măsurarea temperaturii termometrului uscat

3.3.3. Proprietățile combustibilului

Formula chimică generală a combustibilului este $CH_\alpha O_\beta S_\gamma N_\delta$, unde α este raportul atomic hidrogen/carbon (H/C), β raportul atomic oxigen/carbon (O/C), γ raportul atomic sulf/carbon (S/C), iar δ raportul atomic azot/carbon (N/C). Pe baza acestei formule, se poate calcula fracția masică de carbon a combustibilului w_C . În cazul motorinei, se poate utiliza formula simplă $CH_\alpha O_\beta$. Valorile implicite pentru compoziția combustibilului pot fi obținute din tabelul 7.3:

Tabelul 7.3

Valori implicite ale raportului atomic hidrogen/carbon, α , ale raportului atomic oxigen/carbon, β , ale raportului atomic sulf/carbon, γ , ale raportului atomic azot/carbon, δ , precum și ale fracției masice de carbon a combustibilului, w_C , pentru combustibilii de referință

Combustibil	Raporturi hidrogen atomic/carbon, oxigen atomic/carbon, sulf atomic/carbon și azot atomic/carbon $CH_\alpha O_\beta S_\gamma N_\delta$	Concentrația masică a carbonului, w_C [g/g]
Motorină (motorină fără destinație rutieră)	$CH_{1,80}O_0S_0N_0$	0,869
Etanol pentru motoare cu aprindere prin comprimare dedicate (ED95)	$CH_{2,92}O_{0,46}S_0N_0$	0,538
Benzină (E10)	$CH_{1,92}O_{0,03}S_0N_0$	0,833
Benzină (E0)	$CH_{1,85}O_0S_0N_0$	0,866
Etanol (E85)	$CH_{2,73}O_{0,36}S_0N_0$	0,576
GPL	$CH_{2,64}O_0S_0N_0$	0,819
Gaz natural/biometan	$CH_{3,78}O_{0,016}S_0N_0$	0,747

3.3.3.1. Calcularea concentrației masice a carbonului, w_C

Ca alternativă la valorile implicite din tabelul 7.3 sau în cazul în care nu sunt date valori implicite pentru combustibilul de referință utilizat, concentrația masică a carbonului w_C se calculează cu ajutorul proprietăților măsurate ale combustibilului, cu ajutorul ecuației (7-82). Valorile pentru α și β se determină pentru combustibil și se introduc în ecuații în toate cazurile, însă valorile pentru γ și δ pot fi stabilite în mod opțional la zero, în cazul în care au valoare zero în rândul corespunzător din tabelul 7.3:

$$w_C = \frac{1 \cdot M_C}{1 \cdot M_C + \alpha \cdot M_H + \beta \cdot M_O + \gamma \cdot M_S + \delta \cdot M_N} \quad (7-82)$$

unde:

M_C = Masa molară a carbonului

α	=	Raportul atomic hidrogen/carbon al amestecului de combustibil (combustibili) ars (arși), ponderat cu consumul molar
M_H	=	Masa molară a hidrogenului
β	=	Raportul atomic oxigen/carbon al amestecului de combustibil (combustibili) ars (arși), ponderat cu consumul molar
M_O	=	Masa molară a oxigenului
γ	=	Raportul atomic sulf/carbon al amestecului de combustibil (combustibili) ars (arși), ponderat cu consumul molar
M_S	=	Masa molară a sulfului
δ	=	Raportul atomic azot/carbon al amestecului de combustibil (combustibili) ars (arși), ponderat cu consumul molar
M_N	=	Masa molară a azotului

3.3.4. Corecția contaminării inițiale a concentrației de HC total (THC)

Pentru măsurarea concentrației de HC, $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]}$ se calculează prin utilizarea concentrației contaminării THC inițiale $x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{init}}$ de la punctul 7.3.1.2 din anexa VI, cu ajutorul ecuației (7-83):

$$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}} = x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{uncorr}} - x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{init}} \quad (7-83)$$

unde:

$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{cor}}$ = concentrația THC corectată pentru contaminare [mol/mol]

$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{uncorr}}$ = concentrația THC necorectată [mol/mol]

$x_{\text{THC}[\text{THC-FID}]\text{init}}$ = concentrația contaminării THC inițiale [mol/mol]

3.3.5. Concentrația medie ponderată în funcție de debit

La unele puncte din această anexă, poate fi necesar să se calculeze concentrația medie ponderată în funcție de debit, în scopul de a determina aplicabilitatea anumitor dispoziții. O medie ponderată în funcție de debit reprezintă o cantitate medie după ce aceasta a fost ponderată proporțional cu un debit corespunzător. De exemplu, în cazul în care se măsoară continuu concentrația unui gaz provenit din gazele de evacuare brute ale unui motor, concentrația medie ponderată în funcție de debit a acestora reprezintă suma produselor fiecărei concentrații înregistrate înmulțită cu debitul molar al respectivelor gaze de evacuare, împărțită la suma valorilor debitelor înregistrate. Un alt exemplu, concentrația în sacul unui sistem CVS este aceeași cu concentrația medie

ponderată în funcție de debit, întrucât sistemul CVS însuși ponderează în funcție de debit concentrația din sac. O anumită concentrație medie ponderată în funcție de debit a unei emisii poate fi deja anticipată pe baza încercărilor anterioare cu motoare similare sau a încercărilor cu echipamente sau instrumente similare.

3.4. Bilanțuri chimice ale combustibilului, aerului de admisie și gazelor de evacuare

3.4.1. Considerații generale

Bilanțurile chimice ale combustibilului, aerului de admisie și gazelor de evacuare pot fi utilizate pentru calculul debitelor, a cantității de apă din debitele acestora și a concentrației umede a constituenților din debitele acestora. Bilanțurile chimice se pot utiliza împreună cu un debit al combustibilului, al aerului de admisie sau al gazelor de evacuare pentru a determina debitele celorlalte două. De exemplu, bilanțurile chimice împreună cu debitul aerului de admisie sau cu debitul de combustibil pot fi utilizate pentru a determina debitul de gaze de evacuare brute.

3.4.2. Proceduri care necesită bilanțuri chimice

Bilanțurile chimice sunt necesare pentru determinarea următoarelor:

- (a) cantitatea de apă prezentă într-un debit de gaze de evacuare diluate sau brute, $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, atunci când nu este măsurată cantitatea de apă necesară pentru corectarea cantității de apă înlăturate de un sistem de prelevare a eșantioanelor;
- (b) fracția medie ponderată în funcție de debit a aerului de diluare din gazele de evacuare diluate, $x_{\text{dil/exh}}$, atunci când debitul aerului de diluare nu este măsurat pentru corectarea emisiilor de fond. Trebuie remarcat faptul că, în cazul în care se utilizează bilanțuri chimice în acest scop, se pleacă de la ipoteza că gazele de evacuare sunt stoichiometrice, chiar dacă nu sunt.

3.4.3. Procedura bilanțului chimic

Calcululele pentru un bilanț chimic implică un sistem de ecuații care necesită iterație. Se presupun valorile inițiale pentru până la trei cantități: cantitatea de apă din debitul măsurat, $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, fracția de aer de diluare din gazele de evacuare diluate (sau excesul de aer din gazele de evacuare brute), $x_{\text{dil/exh}}$, precum și cantitatea de produse pe bază de C1 pe mol uscat de debit măsurat uscat, x_{Ccombdry} . Se pot utiliza valorile medii ponderate în timp ale umidității aerului de ardere și umidității aerului de diluare din bilanțul chimic, atât timp cât umiditatea aerului de ardere și cea a aerului de diluare se menține în limitele de toleranță de $\pm 0,0025$ mol/mol pentru valorile lor medii respective pe durata încercării. Pentru fiecare concentrație a emisiilor, x , și cantitate de apă, $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, se determină concentrațiile acestora în stare complet uscată, x_{dry} și $x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$. De asemenea, se utilizează raportul atomic hidrogen/carbon al combustibilului, α , raportul oxigen/carbon, β , precum și fracția masică a carbonului din combustibil, w_C . Pentru combustibilul de încercare, se pot utiliza α și β sau valorile implicite din tabelul 7.3.

Pentru a realiza un bilanț chimic, se parcurg următorii pași:

- (a) Concentrațiile măsurate, precum $x_{\text{CO}_2\text{meas}}$, x_{NOmeas} și $x_{\text{H}_2\text{Oint}}$, se transformă în concentrații uscate prin împărțirea acestora la unu minus cantitatea de apă prezentă în cursul măsurătorilor respective; de exemplu: $x_{\text{H}_2\text{O}x\text{CO}_2\text{meas}}$, $x_{\text{H}_2\text{O}x\text{NOmeas}}$, și $x_{\text{H}_2\text{Oint}}$. În cazul în care cantitatea de apă prezentă în cursul măsurării „umed” este aceeași cu cantitatea de apă necunoscută din debitul gazelor de evacuare, $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, aceasta trebuie rezolvată prin iterații pentru acea valoare din sistemul de ecuații. În cazul în care se măsoară numai valoarea NO_x totală, nu și valoarea NO și NO_2 în mod separat, se utilizează bunul raționament tehnic pentru a se estima o distribuție a NO și NO_2 în concentrația totală de NO_x pentru bilanțurile chimice. Concentrația molară a NO_x , x_{NO_x} , poate fi estimată la 75 % NO și 25 % NO_2 . Pentru sistemele de posttratate cu reținere de NO_2 , concentrația x_{NO_x} poate fi estimată la 25 % NO și 75 % NO_2 . Pentru calculul masei emisiilor de NO_x , se utilizează masa molară de NO_2 pentru masa molară efectivă a tuturor speciilor de NO_x , indiferent de fracția efectivă de NO_2 din NO_x .
- (b) Ecuațiile (7-82)-(7-99) de la litera (d) a acestui punct trebuie introduse într-un program informatic pentru a rezolva prin iterații $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, x_{Ccombdry} și $x_{\text{dil/exh}}$. Se utilizează bunul raționament tehnic pentru a estima valorile inițiale pentru $x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$, x_{Ccombdry} și $x_{\text{dil/exh}}$. Se recomandă estimarea unei valori inițiale pentru cantitatea de apă care să fie aproximativ dublul cantității de apă din aerul de admisie sau din aerul de diluare. Se recomandă estimarea unei valori inițiale a x_{Ccombdry} ca sumă a valorilor măsurate de CO_2 , CO și THC . De asemenea, se recomandă estimarea unui x_{dil} inițial cuprins între 0,75 și 0,95, cum ar fi 0,8. Valorile din sistemul de ecuații sunt iterate până când toate estimările actualizate cel mai recent se apropie cu ± 1 % de valorile lor cel mai recent calculate.
- (c) Următoarele simboluri și următorii indici sunt utilizați în sistemul de ecuații de la litera (d) a prezentului punct, unde unitatea pentru x este mol/mol:

Simbol	Descriere
$x_{\text{dil/exh}}$	Cantitatea de gaz de diluare sau de aer în exces pe mol de gaze de evacuare
$x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$	Cantitatea de H_2O din gazele de evacuare pe mol de gaze de evacuare
x_{Ccombdry}	Cantitatea de carbon din combustibil din gazele de evacuare pe mol de gaze de evacuare uscate
$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$	Cantitatea de apă din gazele de evacuare pe mol uscat de gaze de evacuare uscate
$x_{\text{prod/intdry}}$	Cantitatea de produse stoichiometrice uscate pe mol uscat de aer de admisie
$x_{\text{dil/exhdry}}$	Cantitatea de gaz de diluare și/sau de aer în exces pe mol de gaze de evacuare uscate
$x_{\text{int/exhdry}}$	Cantitatea de aer de admisie necesară pentru generarea produșilor de ardere efectivi pe mol de gaze de evacuare uscate (brute sau diluate)
$x_{\text{raw/exhdry}}$	Cantitatea de gaze de evacuare nediluate, fără exces de aer, pe mol de gaze de

	evacuare uscate (brute sau diluate)
$x_{O_2\text{intdry}}$	Cantitatea de O_2 din aerul de admisie pe mol de aer de admisie uscat; $x_{O_2\text{intdry}} = 0,209445$ mol/mol
$x_{CO_2\text{intdry}}$	Cantitatea de CO_2 din aerul de admisie pe mol de aer de admisie uscat. Se poate utiliza $x_{CO_2\text{intdry}} = 375$ $\mu\text{mol/mol}$, însă se recomandă măsurarea concentrației efective din aerul de admisie
$x_{H_2O\text{intdry}}$	Cantitatea de H_2O din aerul de admisie pe mol de aer de admisie uscat
$x_{CO_2\text{int}}$	Cantitatea de CO_2 din aerul de admisie pe mol de aer de admisie
$x_{CO_2\text{dil}}$	Cantitatea de CO_2 din gazul de diluare pe mol de gaz de diluare
$x_{CO_2\text{dildry}}$	Cantitatea de CO_2 din gazul de diluare pe mol de gaz de diluare uscat În cazul în care aerul este utilizat ca diluant, se poate utiliza $x_{CO_2\text{dildry}} = 375$ $\mu\text{mol/mol}$, însă se recomandă măsurarea concentrației efective din aerul de admisie
$x_{H_2O\text{dildry}}$	Cantitatea de H_2O din gazul de diluare pe mol de gaz de diluare uscat
$x_{H_2O\text{dil}}$	Cantitatea de H_2O din gazul de diluare pe mol de gaz de diluare
$x_{[\text{emission}]\text{meas}}$	Cantitatea de emisii măsurată în eșantionul de la analizorul de gaze respectiv
$x_{[\text{emission}]\text{dry}}$	Cantitatea de emisii pe mol uscat de eșantion uscat
$x_{H_2O[\text{emission}]\text{meas}}$	Cantitatea de apă din eșantionul de la locul de detectare a emisiei. Aceste valori se măsoară sau sunt estimate în conformitate cu punctul 9.3.2.3.1.
$x_{H_2O\text{int}}$	Cantitatea de apă din aerul de admisie, bazată pe măsurarea umidității aerului de admisie
$K_{H_2O\text{gas}}$	Coeficientul de echilibru al reacției apă-gaz. Se poate calcula, folosind bunul raționament tehnic, o valoare de 3,5 sau o altă valoare.
α	Raportul atomic hidrogen/carbon al amestecului de combustibil (combustibili) ($CH_\alpha O_\beta$) ars (arși), ponderat cu consumul molar
β	Raportul atomic oxigen/carbon al amestecului de combustibil (combustibili) ($CH_\alpha O_\beta$) ars (arși), ponderat cu consumul molar

- (d) Se utilizează următoarele ecuații [(7-84)-(7-101)] pentru a rezolva prin iterații $x_{\text{dil/exh}}$, $x_{H_2O\text{exh}}$ și $x_{C\text{combdry}}$:

$$x_{\text{dil/exh}} = 1 - \frac{x_{\text{raw/exhdry}}}{1 + x_{H_2O\text{exhdry}}} \quad (7-84)$$

$$x_{H_2O\text{exh}} = \frac{x_{H_2O\text{exhdry}}}{1 + x_{H_2O\text{exhdry}}} \quad (7-85)$$

$$x_{\text{Ccombdry}} = x_{\text{CO2dry}} + x_{\text{COdry}} + x_{\text{THCdry}} - x_{\text{CO2dil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}} - x_{\text{CO2int}} \cdot x_{\text{int/exhdry}} \quad (7-86)$$

$$x_{\text{H2dry}} = \frac{x_{\text{COdry}} \cdot (x_{\text{H2Oexhdry}} - x_{\text{H2Odil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}})}{K_{\text{H2Ogas}} \cdot (x_{\text{CO2dry}} - x_{\text{CO2dil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}})} \quad (7-87)$$

$$x_{\text{H2Oexhdry}} = \frac{\alpha}{2} (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) + x_{\text{H2Odil}} \cdot x_{\text{dil/exhdry}} + x_{\text{H2Oint}} \cdot x_{\text{int/exhdry}} - x_{\text{H2dry}} \quad (7-88)$$

$$x_{\text{dil/exhdry}} = \frac{x_{\text{dil/exh}}}{1 - x_{\text{H2Oexh}}} \quad (7-89)$$

$$x_{\text{int/exhdry}} = \frac{1}{2 \cdot x_{\text{O2int}}} \left[\left(\frac{\alpha}{2} - \beta + 2 + 2\gamma \right) (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) - (x_{\text{COdry}} - x_{\text{NOdry}} - 2x_{\text{NO2dry}} + x_{\text{H2dry}}) \right] \quad (7-90)$$

$$x_{\text{raw/exhdry}} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\alpha}{2} + \beta + \delta \right) (x_{\text{Ccombdry}} - x_{\text{THCdry}}) + (2x_{\text{THCdry}} + x_{\text{COdry}} - x_{\text{NO2dry}} + x_{\text{H2dry}}) \right] + x_{\text{int/exhdry}} \quad (7-91)$$

$$x_{\text{O2int}} = \frac{0.209820 - x_{\text{CO2intdry}}}{1 + x_{\text{H2Ointdry}}} \quad (7-92)$$

$$x_{\text{CO2int}} = \frac{x_{\text{CO2intdry}}}{1 + x_{\text{H2Ointdry}}} \quad (7-93)$$

$$x_{\text{H2Ointdry}} = \frac{x_{\text{H2Oint}}}{1 - x_{\text{H2Oint}}} \quad (7-94)$$

$$x_{\text{CO2dil}} = \frac{x_{\text{CO2dildry}}}{1 + x_{\text{H2Odildry}}} \quad (7-95)$$

$$x_{\text{H2Odildry}} = \frac{x_{\text{H2Odil}}}{1 - x_{\text{H2Odil}}} \quad (7-96)$$

$$x_{\text{COdry}} = \frac{x_{\text{COmeas}}}{1 - x_{\text{H2OCOmeas}}} \quad (7-97)$$

$$x_{\text{CO2dry}} = \frac{x_{\text{CO2meas}}}{1 - x_{\text{H2OCO2meas}}} \quad (7-98)$$

$$x_{\text{NOdry}} = \frac{x_{\text{NOmeas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{ONOmeas}}} \quad (7-99)$$

$$x_{\text{NO}_2\text{dry}} = \frac{x_{\text{NO}_2\text{meas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{ONO}_2\text{meas}}} \quad (7-100)$$

$$x_{\text{THCdry}} = \frac{x_{\text{THCmeas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{OTHCmeas}}} \quad (7-101)$$

La sfârșitul bilanțului chimic, debitul molar se calculează astfel cum se precizează la punctele 3.5.3 și 3.6.3.

3.4.4. Corecția NO_x pentru a ține cont de umiditate

Toate concentrațiile de NO_x, inclusiv concentrațiile de fond din aerul de diluare, se corectează pentru a ține cont de umiditatea aerului de admisie, cu ajutorul ecuației (7-102) sau (7-103):

(a) Pentru motoare cu aprindere prin compresie

$$x_{\text{NO}_x\text{cor}} = x_{\text{NO}_x\text{uncor}} \cdot (9.953 \cdot x_{\text{H}_2\text{O}} + 0.832) \quad (7-102)$$

(b) Pentru motoare cu aprindere prin scânteie

$$x_{\text{NO}_x\text{cor}} = x_{\text{NO}_x\text{uncor}} \cdot (18.840 \cdot x_{\text{H}_2\text{O}} + 0.68094) \quad (7-103)$$

unde:

$x_{\text{NO}_x\text{uncor}}$ = concentrația molară de NO_x necorectată din gazele de evacuare [μmol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{O}}$ = cantitatea de apă din aerul de admisie [mol/mol]

3.5. Emisii de gaze brute

3.5.1. Masa emisiilor gazoase

Pentru a calcula masa totală pe încercare a emisiilor gazoase m_{gas} [g/încercare], concentrația sa molară se înmulțește cu debitul molar respectiv și cu masa molară a gazelor de evacuare; apoi se efectuează integrarea pe durata ciclului de încercare [ecuația (7-104)]:

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\text{exh}} \cdot x_{\text{gas}} \cdot dt \quad (7-104)$$

unde:

M_{gas} = masa molară a emisiilor gazoase generice [g/mol]

\dot{n}_{exh} = debitul molar instantaneu al gazelor de evacuare în stare umedă [mol/s]

x_{gas} = concentrația molară instantanee a gazului generic în stare umedă [mol/mol]

t = timp [s]

Deoarece ecuația (7-104) trebuie rezolvată prin integrare numerică, aceasta se transformă în ecuația (7-105):

$$m_{\text{gas}} = M_{\text{gas}} \cdot \int \dot{n}_{\text{exh}} \cdot x_{\text{gas}} \cdot dt \Rightarrow m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}} \cdot x_{\text{gasi}} \quad (7-105)$$

unde:

M_{gas} = masa molară a emisiilor generice [g/mol]

\dot{n}_{exhi} = debitul molar instantaneu al gazelor de evacuare în stare umedă [mol/s]

x_{gasi} = concentrația molară instantanee a gazului generic în stare umedă [mol/mol]

f = frecvența de prelevare a datelor [Hz]

N = numărul de măsurări [-]

Ecuația generală poate fi modificată în funcție de sistemul de măsurare utilizat, prelevarea pe lot sau prelevarea continuă a eșantioanelor, precum și în funcție de tipul de debit din care se prelevează eșantioane (variabil sau continuu).

- (a) Pentru prelevarea continuă a eșantioanelor, în cazul general cu debit variabil, masa emisiilor gazoase m_{gas} [g/încercare] se calculează cu ajutorul ecuației (7-106):

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}} \cdot x_{\text{gasi}} \quad (7-106)$$

unde:

M_{gas} = masa molară a emisiilor generice [g/mol]

- \dot{n}_{exhi} = debitul molar instantaneu al gazelor de evacuare în stare umedă [mol/s]
 x_{gasi} = fracția molară instantanee a emisiilor gazoase în stare umedă [mol/mol]
 f = frecvența de prelevare a datelor [Hz]
 N = numărul de măsurări [-]

- (b) Tot pentru prelevarea continuă a eșantioanelor, însă în cazul particular al debitului constant, masa emisiilor gazoase m_{gas} [g/încercare] se calculează cu ajutorul ecuației (7-107):

$$m_{gas} = M_{gas} \cdot \dot{n}_{exh} \cdot \bar{x}_{gas} \cdot \Delta t \quad (7-107)$$

unde:

- M_{gas} = masa molară a emisiilor generice [g/mol]
 \dot{n}_{exh} = debitul molar al gazelor de evacuare în stare umedă [mol/s]
 \bar{x}_{gas} = fracția molară medie a emisiilor gazoase în stare umedă [mol/mol]
 Δt = intervalul de timp aferent desfășurării încercării

- (c) Pentru prelevarea pe lot a eșantioanelor, indiferent dacă debitul este variabil sau constant, ecuația (7-104) poate fi simplificată cu ajutorul ecuației (7-108):

$$m_{gas} = \frac{1}{f} \cdot M_{gas} \cdot \bar{x}_{gas} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{exhi} \quad (7-108)$$

unde:

- M_{gas} = masa molară a emisiilor generice [g/mol]
 \dot{n}_{exhi} = debitul molar instantaneu al gazelor de evacuare în stare umedă [mol/s]
 \bar{x}_{gas} = fracția molară medie a emisiilor gazoase în stare umedă [mol/mol]
 f = frecvența de prelevare a datelor [Hz]
 N = numărul de măsurări [-]

3.5.2. Conversia concentrației de la stare uscată la stare umedă

Parametrii de la acest punct se obțin din rezultatele bilanțului chimic calculat la punctul 3.4.3. Între concentrațiile molare ale gazului din debitul măsurat x_{gasdry} și x_{gas} [mol/mol], exprimate în stare uscată și, respectiv, în stare umedă, există următoarea relație [ecuațiile (7-109) și (7-110)]:

$$x_{\text{gasdry}} = \frac{x_{\text{gas}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (7-109)$$

$$x_{\text{gas}} = \frac{x_{\text{gasdry}}}{1 + x_{\text{H}_2\text{Odry}}} \quad (7-110)$$

unde:

$x_{\text{H}_2\text{O}}$ = fracția molară a apei în debitul măsurat în stare umedă [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{Odry}}$ = fracția molară a apei în debitul măsurat în stare uscată [mol/mol]

Pentru emisiile gazoase, se aplică o corecție a apei eliminate pentru concentrația generică x [mol/mol], cu ajutorul ecuației (7-111):

$$x = x_{\text{[emission]meas}} \left[\frac{(1 - x_{\text{H}_2\text{Oexh}})}{1 - x_{\text{H}_2\text{O[emission]meas}}} \right] \quad (7-111)$$

unde:

$x_{\text{[emission]meas}}$ = fracția molară a emisiilor în debitul măsurat la locul de măsurare [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{O[emission]meas}}$ = cantitatea de apă din debitul măsurat la măsurarea concentrației [mol/mol]

$x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$ = cantitatea de apă la debitmetru [mol/mol]

3.5.3. Debitul molar al gazelor de evacuare

Debitul gazelor de evacuare brute poate fi măsurat direct sau poate fi calculat pe baza bilanțului chimic de punctul 3.4.3. Debitul molar al gazelor de evacuare brute se calculează din debitul molar al aerului de admisie sau din debitul masic al combustibilului. Debitul molar al gazelor de evacuare brute poate fi calculat din emisiile prelevate, \dot{n}_{exh} , pe baza debitului molar măsurat al aerului de admisie, \dot{n}_{int} , sau a debitului masic de combustibil, \dot{m}_{fuel} , și a valorilor calculate folosind bilanțul chimic de

la punctul 3.4.3. Acesta se calculează pentru bilanțul chimic de la punctul 3.4.3 la aceeași frecvență de actualizare și înregistrare precum \dot{n}_{int} sau \dot{m}_{fuel} .

- (a) Debitul gazelor de carter. Debitul gazelor de evacuare brute se poate calcula pe baza \dot{n}_{int} sau a \dot{m}_{fuel} numai dacă este îndeplinită cel puțin una dintre următoarele condiții cu privire la debitul emisiilor de gaze de carter:
- (i) motorul supus încercării este prevăzut din fabricație cu un sistem de control al emisiilor cu carter închis, care dirijează debitul gazelor de carter înapoi în aerul de admisie, în aval față de debitmetrul pentru aerul de admisie;
 - (ii) în timpul încercării privind emisiile de gaze, debitul gazelor provenite de la carterul deschis este dirijat spre gazele de evacuare, conform punctului 6.10 din anexa VI;
 - (iii) emisiile și debitul prin carterul deschis se măsoară și se adaugă la calculul emisiilor specifice frânării;
 - (iv) utilizând datele privind emisiile sau o analiză tehnică, se poate demonstra că neglijarea debitului emisiilor de carter deschis nu afectează negativ conformitatea cu normele aplicabile.
- (b) Calculul debitului molar pe baza aerului de admisie.

Pe baza \dot{n}_{int} , debitul molar al gazelor de evacuare \dot{n}_{exh} [mol/s] se calculează cu ajutorul ecuației (7-112):

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{\dot{n}_{\text{int}}}{\left[1 + \frac{(x_{\text{int/exhdry}} - x_{\text{raw/exhdry}})}{(1 + x_{\text{H2Oexhdry}})} \right]} \quad (7-112)$$

unde:

- \dot{n}_{exh} = debitul molar al gazelor de evacuare brute din care se măsoară emisiile [mol/s]
- \dot{n}_{int} = debitul molar al aerului de admisie, inclusiv umiditatea din aerul de admisie [mol/s]
- $x_{\text{int/exhdry}}$ = cantitatea de aer de admisie necesară pentru generarea produșilor de ardere efectivi pe mol de gaze de evacuare uscate (brute sau diluate) [mol/mol]

$x_{\text{raw/exhdry}}$ = cantitatea de gaze de evacuare nediluate, fără exces de aer, pe mol de gaze de evacuare uscate (brute sau diluate) [mol/mol]

$x_{\text{H2Oexhdry}}$ = cantitatea de apă din gazele de evacuare pe mol de gaze de evacuare uscate [mol/mol]

(c) Calculul debitului molar pe baza debitului masic de combustibil

Pe baza \dot{m}_{fuel} , \dot{n}_{exh} [mol/s] se calculează după cum urmează:

Atunci când se efectuează încercări în laborator, acest calcul poate fi utilizat numai pentru NRSC în mod discontinuu și pentru RMC [ecuația (7-113)]:

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot w_{\text{C}} \cdot (1 + x_{\text{H2Oexhdry}})}{M_{\text{C}} \cdot x_{\text{Ccombdry}}} \quad (7-113)$$

unde:

\dot{n}_{exh} = debitul molar al gazelor de evacuare brute din care se măsoară emisiile

\dot{m}_{fuel} = debitul de combustibil, inclusiv umiditatea aerului de admisie [g/s]

w_{C} = fracția masică de carbon pentru combustibilul dat [g/g]

$x_{\text{H2Oexhdry}}$ = cantitatea de H₂O pe mol uscat de debit măsurat [mol/mol]

M_{C} = masa moleculară a carbonului, 12,0107 g/mol

x_{Ccombdry} = cantitatea de carbon din combustibil în gazele de evacuare pe mol de gaze de evacuare uscate [mol/mol]

(d) Calculul debitului molar al gazelor de evacuare bazat pe debitul molar al aerului de admisie, debitul molar al gazelor de evacuare diluate și bilanțul chimic al gazelor de evacuare diluate

Debitul molar al gazelor de evacuare \dot{n}_{exh} [mol/s] poate fi calculat pe baza debitului molar măsurat al aerului de admisie, \dot{n}_{int} , a debitului molar măsurat al gazelor de evacuare diluate, \dot{n}_{dexh} , și a valorilor calculate utilizând bilanțul chimic de la punctul 3.4.3. A se remarca faptul că bilanțul chimic trebuie să se bazeze pe concentrațiile de gaze de evacuare diluate. Pentru calculele privind debitul continuu, acesta se calculează pentru bilanțul chimic de la punctul 3.4.3 cu aceeași frecvență de actualizare și înregistrare ca și \dot{n}_{int} sau \dot{n}_{dexh} . \dot{n}_{dexh} calculat poate fi utilizat pentru verificarea raportului de diluare a PM, pentru calculul debitului molar al aerului de diluare în cazul

corecției de fond de la punctul 3.6.1 și calculul masei de emisii de la punctul 3.5.1 pentru speciile măsurate în gazele de evacuare brute.

Pe baza debitului molar al gazelor de evacuare diluate și al aerului de admisie, debitul molar al gazelor de evacuare, \dot{n}_{exh} [mol/s], se calculează după cum urmează:

$$\dot{n}_{\text{exh}} = (x_{\text{raw/exhdry}} - x_{\text{int/exhdry}}) \cdot (1 - x_{\text{H}_2\text{Oexh}}) \cdot \dot{n}_{\text{dexh}} + \dot{n}_{\text{int}} \quad (7-114)$$

unde

\dot{n}_{exh}	=	debitul molar al gazelor de evacuare brute din care se măsoară emisiile [mol/s];
$x_{\text{int/exhdry}}$	=	cantitatea de aer de admisie necesară pentru generarea produșilor de ardere efectivi pe mol de gaze de evacuare uscate (brute sau diluate) [mol/mol]
$x_{\text{raw/exhdry}}$	=	cantitatea de gaze de evacuare nediluate, fără exces de aer, pe mol de gaze de evacuare uscate (brute sau diluate) [mol/mol]
$x_{\text{H}_2\text{Oexh}}$	=	cantitatea de apă din gazele de evacuare pe mol de gaze de evacuare [mol/mol]
\dot{n}_{dexh}	=	debitul molar al gazelor de evacuare diluate din care se măsoară emisiile [mol/s]
\dot{n}_{int}	=	debitul molar al aerului de admisie, inclusiv umiditatea din aerul de admisie [mol/s]

3.6. Emisii gazoase diluate

3.6.1. Calculul masei emisiilor de gaze și corecția de fond

Calculul masei emisiilor gazoase m_{gas} [g/încercare] ca funcție a debitelor emisiilor molare este următorul:

(a) Prelevarea continuă a eșantioanelor, debit variabil, se calculează cu ajutorul ecuației (7-106):

$$m_{\text{gas}} = \frac{1}{f} \cdot M_{\text{gas}} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{\text{exhi}} \cdot x_{\text{gasi}} \quad [\text{a se vedea ecuația (7-106)}]$$

unde:

M_{gas} = masa molară a emisiilor generice [g/mol]

- \dot{n}_{exhi} = debitul molar instantaneu al gazelor de evacuare în stare umedă [mol/s]
 x_{gasi} = concentrația molară instantanee a gazului generic în stare umedă [mol/mol]
 f = frecvența de prelevare a datelor [Hz]
 N = numărul de măsurări [-]

Prelevarea continuă a eșantioanelor, debit constant, se calculează cu ajutorul ecuației (7-107):

$$m_{gas} = M_{gas} \cdot \dot{n}_{exh} \cdot \bar{x}_{gas} \cdot \Delta t \quad [\text{a se vedea ecuația (7-107)}]$$

unde:

- M_{gas} = masa molară a emisiilor generice [g/mol]
 \dot{n}_{exh} = debitul molar al gazelor de evacuare în stare umedă [mol/s]
 \bar{x}_{gas} = fracția molară medie a emisiilor gazoase în stare umedă [mol/mol]
 Δt = intervalul de timp aferent desfășurării încercării

(b) Prelevarea pe lot a eșantioanelor, indiferent dacă debitul este variabil sau constant, se calculează cu ajutorul ecuației (7-108):

$$m_{gas} = \frac{1}{f} \cdot M_{gas} \cdot \bar{x}_{gas} \cdot \sum_{i=1}^N \dot{n}_{exhi} \quad [\text{a se vedea ecuația (7-108)}]$$

unde:

- M_{gas} = masa molară a emisiilor generice [g/mol]
 \dot{n}_{exhi} = debitul molar instantaneu al gazelor de evacuare în stare umedă [mol/s]
 \bar{x}_{gas} = fracția molară medie a emisiilor gazoase în stare umedă [mol/mol]
 f = frecvența de prelevare a datelor [Hz]
 N = numărul de măsurători [-]

- (c) În cazul gazelor de evacuare diluate, valorile calculate pentru masa poluanților se corectează prin scăderea masei emisiilor de fond, ca urmare a aerului de diluare:
- (i) În primul rând, se determină debitul molar al aerului de diluare \dot{n}_{airdil} [mol/s] pe durata încercării. Acesta poate fi o cantitate măsurată sau o cantitate calculată din debitul de gaze de evacuare diluate și din fracția medie ponderată în funcție de debit a aerului de diluare din gazele de evacuare diluate, $\bar{x}_{\text{dil/exh}}$.
 - (ii) Debitul total al aerului de diluare n_{airdil} [mol] se înmulțește cu concentrația medie a emisiilor de fond. Aceasta poate fi o medie ponderată în funcție de timp sau o medie ponderată în funcție de debit (de exemplu, un eșantion proporțional cu emisiile de fond). Produsul dintre n_{airdil} și concentrația medie a emisiilor de fond reprezintă cantitatea totală a emisiilor de fond.
 - (iii) În cazul în care rezultatul este o cantitate molară, aceasta se transformă în masa emisiilor de fond m_{bkngnd} [g] prin înmulțirea sa cu masa molară a emisiilor, M_{gas} [g/mol].
 - (iv) Masa totală a emisiilor de fond se scade din masa totală, pentru corecția în funcție de emisiile de fond.
 - (v) Debitul total al aerului de diluare poate fi determinat printr-o măsurare directă a debitului. În acest caz, se calculează masa totală a emisiilor de fond utilizând debitul de aer de diluare, n_{airdil} . Masa emisiilor de fond se scade din masa totală. Rezultatul se utilizează în calculele emisiilor specifice frânării.
 - (vi) Debitul total de aer de diluare poate fi determinat din debitul total al gazelor de evacuare diluate și din bilanțul chimic al combustibilului, al aerului de admisie și al gazelor de evacuare, în conformitate cu descrierea de la punctul 3.4. În acest caz, masa totală a emisiilor de fond se calculează utilizând debitul total al gazelor de evacuare diluate, n_{dexh} . Apoi, acest rezultat se înmulțește cu fracția medie de aer de diluare din gazele de evacuare diluate, $\bar{x}_{\text{dil/exh}}$, ponderată în funcție de debit.

Ținând cont de cele două cazuri de la punctele (v) și (vi), se utilizează ecuațiile (7-115) și (7-116):

$$m_{\text{bkngnd}} = M_{\text{gas}} \cdot x_{\text{gasdil}} \cdot n_{\text{airdil}} \quad \text{sau} \quad m_{\text{bkngnd}} = M_{\text{gas}} \cdot \bar{x}_{\text{dil/exh}} \cdot \bar{x}_{\text{bkngnd}} \cdot n_{\text{dexh}} \quad (7-115)$$

$$m_{\text{gascor}} = m_{\text{gas}} - m_{\text{bkngnd}} \quad (7-116)$$

unde:

$$m_{\text{gas}} = \text{masa totală a emisiilor gazoase [g]}$$

m_{bknd}	=	masa totală a emisiilor de fond [g]
m_{gascor}	=	masa de gaz corectată în funcție de emisiile de fond [g]
M_{gas}	=	masa moleculară a emisiilor gazoase generice [g/mol]
x_{gasdil}	=	concentrația emisiilor gazoase în aerul de diluare [mol/mol]
n_{airdil}	=	debitul molar al aerului de diluare [mol]
$\bar{x}_{\text{dil/exh}}$	=	fracția medie ponderată în funcție de debit a aerului de diluare din gazele de evacuare diluate [mol/mol]
\bar{x}_{bknd}	=	fracția gazoasă a emisiilor de fond [mol/mol]
n_{dexh}	=	debitul total al gazelor de evacuare diluate [mol]

3.6.2. Conversia concentrației de la stare uscată la stare umedă

Aceleași relații ca în cazul gazelor brute (punctul 3.5.2.) se utilizează pentru conversia de la stare uscată la stare umedă a eșantioanelor diluate. Pentru aerul de diluare, se efectuează o măsurare a umidității în scopul calculării fracției de vapori de apă $x_{\text{H}_2\text{O}_{\text{dil}}}$ [mol/mol] a acestuia, cu ajutorul ecuației (7-96):

$$x_{\text{H}_2\text{O}_{\text{dildry}}} = \frac{x_{\text{H}_2\text{O}_{\text{dil}}}}{1 - x_{\text{H}_2\text{O}_{\text{dil}}}} \quad [\text{a se vedea ecuația (7-96)}]$$

unde:

$$x_{\text{H}_2\text{O}_{\text{dil}}} = \text{fracția molară de apă din fluxul aerului de diluare [mol/mol]}$$

3.6.3. Debitul molar al gazelor de evacuare

(a) Calculul cu ajutorul bilanțului chimic

Debitul molar \dot{n}_{exh} [mol/s] poate fi calculat pe baza debitului masic de combustibil \dot{m}_{fuel} cu ajutorul ecuației (7-113):

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \frac{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot w_{\text{C}} \cdot (1 + x_{\text{H}_2\text{O}_{\text{exhdry}}})}{M_{\text{C}} \cdot x_{\text{C}_{\text{combdry}}}} \quad [\text{a se vedea ecuația (7-113)}]$$

unde:

$$\dot{n}_{\text{exh}} = \text{debitul molar al gazelor de evacuare brute din care se măsoară emisiile}$$

\dot{m}_{fuel}	=	debitul de combustibil, inclusiv umiditatea aerului de admisie [g/s]
w_C	=	fracția masică de carbon pentru combustibilul dat [g/g]
$x_{\text{H}_2\text{Oexhdry}}$	=	cantitatea de H ₂ O pe mol uscat de debit măsurat [mol/mol]
M_C	=	masa moleculară a carbonului, 12,0107 g/mol
x_{Ccombdry}	=	cantitatea de carbon din combustibil în gazele de evacuare pe mol de gaze de evacuare uscate [mol/mol]

(b) Măsurare

Debitul molar de gaze de evacuare poate fi măsurat prin trei metode:

- (i) Debitul molar al PDP. Pe baza turației de funcționare a pompei volumetrice (PDP) într-un interval de încercare, pentru calculul debitului molar \dot{n} [mol/s] se utilizează panta corespunzătoare a_1 și ordonata la origine, a_0 [-], astfel cum sunt calculate prin procedura de etalonare descrisă din apendicele 1, cu ajutorul ecuației (7-117):

$$\dot{n} = f_{n,\text{PDP}} \cdot \frac{p_{\text{in}} \cdot V_{\text{rev}}}{R \cdot T_{\text{in}}} \quad (7-117)$$

unde:

$$V_{\text{rev}} = \frac{a_1}{f_{n,\text{PDP}}} \cdot \sqrt{\frac{p_{\text{out}} - p_{\text{in}}}{p_{\text{in}}}} + a_0 \quad (7-118)$$

unde:

a_1	=	coeficientul de etalonare [m ³ /s]
a_0	=	coeficientul de etalonare [m ³ /rotație]
$p_{\text{in}}, p_{\text{out}}$	=	presiune de admisie/evacuare [Pa]
R	=	constanta molară a gazului [J/(mol K)]
T_{in}	=	temperatura la intrare [K]
V_{rev}	=	volumul pompat de PDP [m ³ /rotație]
$f_{n,\text{PDP}}$	=	turația pompei PDP [rotații/s]

- (ii) Debitul molar al SSV. Pe baza ecuației C_d funcție de $Re^\#$ determinate în conformitate cu apendicele 1, debitul molar al tubului Venturi subsonic (SSV) pe durata unei încercări privind emisiile \dot{n} [mol/s] se calculează cu ajutorul ecuației (7-119):

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{in}}{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}} \quad (7-119)$$

unde:

- p_{in} = presiunea la intrare [kPa]
 A_t = aria secțiunii transversale prin gâtul tubului Venturi [m²]
 R = constanta molară a gazului [J/(mol K)]
 T_{in} = temperatura la intrare [K]
 Z = factor de compresibilitate
 M_{mix} = masa molară a gazelor de evacuare diluate [kg/mol]
 C_d = coeficient de evacuare al SSV [-]
 C_f = coeficient de debit al SSV [-]

- (iii) Debitul molar al CFV. Pentru a calcula debitul molar printr-un tub Venturi sau o combinație de tuburi Venturi, se utilizează media respectivă a acestora C_d și alte constante, determinate în conformitate cu apendicele 1. Calculul debitului molar al acestuia \dot{n} [mol/s] pe durata unei încercări privind emisiile se efectuează cu ajutorul ecuației (7-120):

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{in}}{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}} \quad (7-120)$$

unde:

- p_{in} = presiunea la intrare [kPa]
 A_t = aria secțiunii transversale prin gâtul tubului Venturi [m²]
 R = constanta molară a gazului [J/(mol K)]
 T_{in} = temperatura la intrare [K]
 Z = factor de compresibilitate

M_{mix} = masa molară a gazelor de evacuare diluate [kg/mol]

C_d = coeficient de evacuare al CFV [-]

C_f = coeficient de debit al CFV [-]

3.7. Determinarea masei particulelor

3.7.1. Prelevare de eşantioane

(a) Prelevarea de eşantioane dintr-un debit variabil:

În cazul în care se prelevează un lot de eşantioane dintr-un debit al gazelor de evacuare variabil, se extrage un eşantion proporțional cu debitul variabil al gazelor de evacuare. Debitul se integrează pe un interval de încercare în scopul de a determina debitul total. Concentrația medie a PM \bar{M}_{PM} (care este exprimată deja în unități de masă pe mol de eşantion) se înmulțește cu debitul total în scopul de a obține masa totală de PM m_{PM} [g] cu ajutorul ecuației (7-121):

$$m_{\text{PM}} = \bar{M}_{\text{PM}} \cdot \sum_{i=1}^N (\dot{n}_i \cdot \Delta t_i) \quad (7-121)$$

unde:

\dot{n}_i = debitul molar instantaneu al gazelor de evacuare [mol/s]

\bar{M}_{PM} = concentrația medie de PM [g/mol]

Δt_i = durata intervalului de prelevare a eşantioanelor [s]

(b) Prelevarea de eşantioane dintr-un debit constant

În cazul în care se prelevează un lot de eşantioane dintr-un debit constant al gazelor de evacuare, se determină debitul molar mediu din care se prelevează eşantionul. Concentrația medie de PM se înmulțește cu debitul total în scopul de a obține masa totală a PM m_{PM} [g] cu ajutorul ecuației (7-122):

$$m_{\text{PM}} = \bar{M}_{\text{PM}} \cdot \dot{n} \cdot \Delta t \quad (7-122)$$

unde:

\dot{n} = debitul molar al gazelor de evacuare [mol/s]

\bar{M}_{PM} = concentrația medie de PM [g/mol]

Δt = intervalul de timp aferent desfășurării încercării [s]

Pentru prelevarea de eșantioane la un raport de diluare constant (DR), m_{PM} [g] se calculează cu ajutorul ecuației (7-123):

$$m_{PM} = m_{PMdil} \cdot DR \quad (7-123)$$

unde:

m_{PMdil} = masa de PM în aerul de diluare [g]

DR = raportul de diluare [-] definit ca raportul dintre masa de emisii m și masa gazelor de evacuare diluate $m_{dil/exh}$ ($DR = m/m_{dil/exh}$).

Raportul de diluare DR poate fi exprimat în funcție de $x_{dil/exh}$ [ecuația (7-124)]:

$$DR = \frac{1}{1 - x_{dil/exh}} \quad (7-124)$$

3.7.2. Corecția de fond

Se aplică aceeași abordare precum cea prezentată la punctul 3.6.1 pentru a efectua corecția de fond a masei de PM. Prin înmulțirea \bar{M}_{PMbknd} cu debitul total al aerului de diluare se obține masa totală de fond a PM (m_{PMbknd} [g]). Prin scăderea masei totale de fond din masa totală se obține masa particulelor cu corecție de fond, m_{PMcor} [g], [ecuația (7-125)]:

$$m_{PMcor} = m_{PMuncor} - \bar{M}_{PMbknd} \cdot n_{airdil} \quad (7-125)$$

unde:

$m_{PMuncor}$ = masa de PM necorectată [g]

\bar{M}_{PMbknd} = concentrația medie de PM din aerul de diluare [g/mol]

n_{airdil} = debitul molar al aerului de diluare [mol]

3.8. Lucrul mecanic al ciclului de încercare și emisiile specifice

3.8.1. Emisii gazoase

3.8.1.1. 2.3.1. Cicluri de încercare în regim tranzitoriu (NRTC și LSI-NRTC) și RMC

Se face trimitere la punctele 3.5.1 și 3.6.1 pentru gazele de evacuare brute, respectiv diluate. Valorile rezultate pentru puterea P_i [kW] sunt integrate pe un interval de încercare. Lucrul mecanic total W_{act} [kWh] se calculează cu ajutorul ecuației (7-126):

$$W_{act} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{10^3} \frac{2 \cdot \pi}{60} \sum_{i=1}^N (n_i \cdot T_i) \quad (7-126)$$

unde:

P_i = puterea instantanee a motorului [kW]

n_i = turația instantanee a motorului [rpm]

T_i = cuplul instantaneu al motorului [N·m]

W_{act} = lucrul mecanic efectiv în cursul unui ciclu [kWh]

f = frecvența de prelevare a datelor [Hz]

N = numărul de măsurări [-]

În cazul în care sunt montate dispozitive auxiliare în conformitate cu apendicele 2 la anexa VI, nu se efectuează ajustări pentru cuplul instantaneu al motorului în ecuația (7-126). În cazul în care, în conformitate cu punctul 6.3.2 sau 6.3.3 din anexa VI la prezentul regulament, dispozitivele auxiliare necesare care ar fi trebuit montate pentru încercare nu sunt instalate sau dispozitivele auxiliare care ar fi trebuit demontate pentru încercare sunt instalate, valoarea pentru T_i utilizată în ecuația (7-126) se ajustează cu ajutorul ecuației (7-127):

$$T_i = T_{i,meas} + T_{i,AUX} \quad (7-127)$$

unde:

$T_{i,meas}$ = valoarea măsurată a cuplului instantaneu al motorului

$T_{i,AUX}$ = valoarea corespunzătoare a cuplului necesară pentru acționarea dispozitivelor auxiliare, determinată în conformitate cu punctul 7.7.2.3.2 din anexa VI la prezentul regulament.

Emisiile specifice e_{gas} [g/kWh] se calculează în următoarele moduri, în funcție de tipul ciclului de încercare.

$$e_{gas} = \frac{m_{gas}}{W_{act}} \quad (7-128)$$

unde:

m_{gas} = masa totală a emisiilor [g/încercare]

W_{act} = lucrul mecanic în cursul unui ciclu [kWh]

În cazul NRTC, pentru emisiile de gaze, altele decât CO₂, rezultatul final al încercării e_{gas} [g/kWh] este media ponderată între încercarea cu pornire la rece și încercarea cu pornire la cald, calculată cu ajutorul ecuației (7-129):

$$e_{\text{gas}} = \frac{(0.1 \cdot m_{\text{cold}}) + (0.9 \cdot m_{\text{hot}})}{(0.1 \cdot W_{\text{actcold}}) + (0.9 \cdot W_{\text{acthot}})} \quad (7-129)$$

unde:

m_{cold} reprezintă emisiile masice de gaze la NRTC cu pornire la rece [g]

$W_{\text{act, cold}}$ reprezintă lucrul mecanic real al ciclului la NRTC cu pornire la rece [kWh]

m_{hot} reprezintă emisiile masice de gaze la NRTC cu pornire la cald [g]

$W_{\text{act, hot}}$ reprezintă lucrul mecanic real al ciclului la NRTC cu pornire la cald [kWh]

În cazul încercării NRTC, pentru CO₂, rezultatul final al încercării, e_{CO_2} [g/kWh], se calculează pe baza NRTC cu pornire la cald, cu ajutorul ecuației (7-130):

$$e_{\text{CO}_2, \text{hot}} = \frac{m_{\text{CO}_2, \text{hot}}}{W_{\text{act, hot}}} \quad (7-130)$$

unde:

$m_{\text{CO}_2, \text{hot}}$ reprezintă emisiile masice de CO₂ la NRTC cu pornire la cald [g]

$W_{\text{act, hot}}$ reprezintă lucrul mecanic real al ciclului la NRTC cu pornire la cald [kWh]

3.8.1.2. NRSC în mod discontinuu

Emisiile specifice e_{gas} [g/kWh] se calculează cu ajutorul ecuației (7-131):

$$e_{\text{gas}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (\dot{m}_{\text{gas}i} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-131)$$

unde:

$\dot{m}_{\text{gas},i}$ = debitul masic mediu al emisiilor pentru modul i [g/h]

P_i = puterea motorului pentru modul i [kW] cu $P_i = P_{\max i} + P_{\text{aux}i}$ (a se vedea punctele 6.3 și 7.7.1.3 din anexa VI)

WF_i = factor de ponderare pentru modul i [-]

3.8.2. Emisiile de particule

3.8.2.1. 2.3.1. Cicluri de încercare în regim tranzitoriu (NRTC și LSI-NRTC) și RMC

Emisiile specifice de particule se calculează prin transformarea ecuației (7-128) în ecuația (7-132), unde e_{gas} [g/kWh] și m_{gas} [g/încercare] sunt înlocuite cu e_{PM} [g/kWh], respectiv m_{PM} [g/încercare]:

$$e_{\text{PM}} = \frac{m_{\text{PM}}}{W_{\text{act}}} \quad (7-132)$$

unde:

m_{PM} = masa totală a emisiilor de particule, calculată în conformitate cu punctul 3.7.1 [g/încercare]

W_{act} = lucrul mecanic în cursul unui ciclu [kWh]

Emisiile în ciclul tranzitoriu compus (respectiv NRTC cu pornire la rece și NRTC cu pornire la cald) se calculează astfel cum se indică la punctul 3.8.1.1.

3.8.2.2. NRSC în mod discontinuu

Emisiile specifice de particule e_{PM} [g/kWh] se calculează după cum urmează:

4.8.2.2.1. În cazul metodei cu un singur filtru, cu ajutorul ecuației (7-133):

$$e_{\text{PM}} = \frac{\dot{m}_{\text{PM}}}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-133)$$

unde:

P_i = puterea motorului pentru modul i [kW] cu $P_i = P_{\max i} + P_{\text{aux}i}$ (a se vedea punctele 6.3 și 7.7.1.3 din anexa VI)

WF_i = factorul de ponderare pentru modul i [-]

\dot{m}_{PM} = debitul masic de particule [g/h]

4.8.2.2.2. În cazul metodei cu filtre multiple, cu ajutorul ecuației (7-134):

$$e_{PM} = \frac{\sum_{i=1}^N (\dot{m}_{PMi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-134)$$

unde:

P_i = puterea motorului pentru modul i [kW] cu $P_i = P_{maxi} + P_{auxi}$ (a se vedea punctele 6.3 și 7.7.1.3 din anexa VI)

WF_i = factor de ponderare pentru modul i [-]

\dot{m}_{PMi} = debitul masic de particule în modul i [g/h]

În cazul metodei cu un singur filtru, factorul de ponderare efectiv, WF_{effi} , pentru fiecare mod se calculează cu ajutorul ecuației (7-135):

$$WF_{effi} = \frac{m_{smpldexhi} \cdot \overline{\dot{m}_{eqdexhwet}}}{m_{smpldex} \cdot \dot{m}_{eqdexhweti}} \quad (7-135)$$

unde:

$m_{smpldexhi}$ = masa eșantionului de gaze de evacuare diluate care a trecut prin filtrele de prelevare a particulelor în modul i [kg]

$m_{smpldex}$ = masa eșantionului de gaze de evacuare diluate care a trecut prin filtrele de prelevare a particulelor [kg]

$\dot{m}_{eqdexhweti}$ = debitul masic echivalent de gaze de evacuare diluate în modul i [kg/s]

$\overline{\dot{m}_{eqdexhwet}}$ = debitul masic echivalent mediu de gaze de evacuare diluate [kg/s]

Valorile factorilor de ponderare efectivi trebuie să se încadreze în intervalul $\pm 0,005$ (valoare absolută) față de factorii de ponderare enumerați în apendicele 1 la anexa XVII.

3.8.3. Ajustări pentru sistemele de control a emisiilor care sunt regenerate în mod ocazional (periodic)

În cazul motoarelor, altele decât cele de categoria RLL, echipate cu sisteme de posttratate a gazelor de evacuare care sunt regenerate în mod ocazional (periodic) (a se vedea punctul 6.6.2 din anexa VI), emisiile specifice de gaze și particule poluante calculate în conformitate cu punctele 3.8.1 și 3.8.2 se corectează prin folosirea factorului de ajustare multiplicativ aplicabil sau a factorului de ajustare aditiv aplicabil.

În cazul în care regenerarea ocazională nu a avut loc pe parcursul încercării, se aplică factorul de ajustare superioară ($k_{ru,m}$ sau $k_{ru,a}$). În cazul în care regenerarea ocazională a avut loc pe parcursul încercării, se aplică factorul de ajustare inferioară ($k_{rd,m}$ sau $k_{rd,a}$). În cazul NRSC în mod discontinuu, atunci când factorii de ajustare au fost determinați pentru fiecare mod, aceștia se aplică pentru fiecare mod în timpul calculării rezultatului ponderat al emisiilor.

3.8.4. Ajustări pentru factorul de deteriorare

Emisiile specifice de gaze și particule poluante calculate în conformitate cu punctele 3.8.1 și 3.8.2, dacă este cazul, inclusiv factorul de ajustare a regenerării ocazionale, în conformitate cu punctul 3.8.3, se ajustează, de asemenea, prin aplicarea factorului de deteriorare multiplicativ sau aditiv, stabilit în conformitate cu cerințele din anexa III.

3.9. Etalonarea debitului de gaze de evacuare (CVS) diluate și calculele aferente

Această secțiune descrie calculele pentru etalonarea diferitelor debitmetre. Punctul 3.9.1 descrie, în primul rând, modul de transformare a rezultatelor de referință ale debitmetrului în vederea utilizării în ecuațiile de etalonare, care sunt prezentate pe o bază molară. Celelalte puncte descriu calculele de etalonare specifice anumitor tipuri de debitmetre.

3.9.1. Conversii ale debitmetrului de referință

Ecuațiile de etalonare din această secțiune utilizează debitul molar, \dot{n}_{ref} , drept valoare de referință. Dacă s-ar utiliza o valoare de referință diferită, cum ar fi debitul volumic standard, \dot{V}_{stdref} , debitul volumic real, \dot{V}_{actref} , sau debitul masic, \dot{m}_{ref} valoarea măsurată de debitmetrul de referință trebuie să fie convertită într-un debit molar cu ajutorul ecuațiilor (7-136), (7-137) și (7-138), cu mențiunea că, în timp ce valorile pentru debitul volumic, debitul masic, presiune, temperatura și masa molară pot varia în timpul unei încercări de emisii, acestea trebuie să fie menținute la un nivel cât mai constant posibil, pentru fiecare punct stabilit, în timpul unei etalonări a debitmetrului:

$$\dot{n}_{\text{ref}} = \frac{\dot{V}_{\text{stdref}} \cdot p_{\text{std}}}{T_{\text{std}} \cdot R} = \frac{\dot{V}_{\text{actref}} \cdot p_{\text{act}}}{T_{\text{act}} \cdot R} = \frac{\dot{m}_{\text{ref}}}{M_{\text{mix}}} \quad (7-136)$$

unde:

\dot{n}_{ref} = debitul molar de referință [mol/s]

\dot{V}_{stdref} = debitul volumic de referință corectat la presiunea și temperatura standard [m³/s]

\dot{V}_{actref} = debitul volumic de referință la presiunea și temperatura reale [m³/s]

\dot{m}_{ref} = debitul masic de referință [g/s]

p_{std} = presiunea standard [Pa]

p_{act} = presiunea reală a gazelor [Pa]

T_{std} = temperatura standard [K]

T_{act} = temperatura reală a gazelor [K]

R = constanta molară a gazelor [J/(mol·K)]

M_{mix} = masa molară a gazelor [g/mol]

3.9.2. Calcule pentru etalonarea PDP

Pentru fiecare poziție a restrictorului, următoarele valori se calculează din valorile medii determinate la punctul 8.1.8.4 din anexa VI, după cum urmează:

- (a) Volumul PDP pompat pe fiecare rotație, V_{rev} ($\text{m}^3/\text{rotație}$):

$$V_{\text{rev}} = \frac{\bar{n}_{\text{ref}} \cdot R \cdot \bar{T}_{\text{in}}}{\bar{p}_{\text{in}} \cdot \bar{f}_{n\text{PDP}}} \quad (7-137)$$

unde:

\bar{n}_{ref} = valoarea medie a debitului molar de referință [mol/s]

R = constanta molară a gazelor [$\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$]

\bar{T}_{in} = temperatura medie de admisie [K]

\bar{p}_{in} = presiunea medie de admisie [Pa]

$\bar{f}_{n\text{PDP}}$ = viteza medie de rotație [rotații/s]

- (b) Factor de corecție pentru pierderea de debit la pompa volumetrică, K_s [s/rotație]:

$$K_s = \frac{1}{\bar{f}_{n\text{PDP}}} \cdot \sqrt{\frac{\bar{p}_{\text{out}} - \bar{p}_{\text{in}}}{\bar{p}_{\text{out}}}} \quad (7-138)$$

unde:

\bar{n}_{ref} = debitul molar mediu de referință [mol/s]

\bar{T}_{in} = temperatura medie de admisie [K]

\bar{p}_{in} = presiunea medie de admisie [Pa]

\bar{p}_{out} = presiunea medie de evacuare [Pa]

$\bar{f}_{n\text{PDP}}$ = viteza medie de rotație a pompei PDP [rotații/s]

R = constanta molară a gazelor [$\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$]

- (c) Se determină o regresie prin metoda celor mai mici pătrate a volumului pompat de PDP pe fiecare rotație, V_{rev} , în raport cu factorul de corecție pentru pierderea de

debit la PDP, K_s , prin calcularea pantei a_1 și a ordonatei la origine a_0 , în conformitate cu descrierea din apendicele 4.

- (d) Se repetă procedura de la literele (a)-(c) de la prezentul punct pentru fiecare tură de funcționare a PDP.
- (e) Tabelul 7.4 ilustrează aceste calcule pentru diferite valori ale $\bar{f}_{n\text{PDP}}$:

Tabelul 7.4
Exemplu de date de etalonare pentru PDP

$\bar{f}_{n\text{PDP}}$ [rotații/min]	$\bar{f}_{n\text{PDP}}$ [rotații/s]	a_1 [m ³ /min]	a_1 [m ³ /s]	a_0 [m ³ /rotație]
755,0	12,58	50,43	0,8405	0,056
987,6	16,46	49,86	0,831	-0,013
1 254,5	20,9	48,54	0,809	0,028
1 401,3	23,355	47,30	0,7883	-0,061

- (f) Pentru fiecare turație la care funcționează PDP, panta corespunzătoare, a_1 , și ordonata la origine, a_0 , se utilizează pentru calculul debitului în timpul încercărilor pentru emisii, astfel cum se descrie la punctul 3.6.3 litera (b).

3.9.3. Ecuații care descriu funcționarea tubului Venturi și ipoteze admise

Prezenta secțiune prezintă ecuațiile utilizate și ipotezele admise pentru etalonarea unui tub Venturi și calculul debitului cu ajutorul unui tub Venturi. Întrucât un tub Venturi subsonic (SSV) și un tub Venturi cu debit critic (CFV) funcționează similar, ecuațiile care descriu funcționarea lor sunt aproape identice, cu excepția ecuației care descrie raportul de presiune, r (respectiv r_{SSV} în raport cu r_{CFV}). Aceste ecuații de descriere a procesului pleacă de la ipoteza unui debit unidimensional compresibil, nevâscos, izoentropic al unui gaz ideal. La punctul 3.9.3 litera (d), sunt descrise alte ipoteze care pot fi luate în considerare. În cazul în care nu se permite ipoteza privind un gaz ideal pentru debitul măsurat, ecuațiile care descriu procesul includ o corecție de ordinul întâi pentru comportamentul unui gaz real, și anume factorul de compresibilitate Z . În cazul în care un bun raționament tehnic impune utilizarea unei valori diferite de $Z = 1$, se poate utiliza o ecuație de stare corespunzătoare pentru a determina valorile Z în funcție de presiunile și temperaturile măsurate sau se pot crea ecuații de etalonare specifice, pe baza unui bun raționament tehnic. Trebuie remarcat faptul că ecuația pentru coeficientul de debit, C_f , se bazează pe ipoteza gazului ideal, și anume că exponentul izoentropic, γ , este egal cu raportul căldurilor specifice, c_p/c_v . În cazul în care bunul raționament tehnic impune utilizarea unui exponent izoentropic pentru un gaz real, se poate utiliza o ecuație de stare corespunzătoare pentru a determina valorile γ în funcție de presiunile și de temperaturile măsurate sau se pot crea ecuații de etalonare specifice. Debitul molar, \dot{n} [mol/s], se calculează cu ajutorul ecuației (7-139):

$$\dot{n} = C_d \cdot C_f \cdot \frac{A_t \cdot p_{\text{in}}}{\sqrt{Z \cdot M_{\text{mix}} \cdot R \cdot T_{\text{in}}}} \quad (7-139)$$

unde:

- C_d = coeficientul de evacuare, determinat la punctul 3.9.3. litera (a) [-]
 C_f = coeficientul de debit, determinat la punctul 3.9.3. litera (b) [-]
 A_t = aria secțiunii transversale prin gâtul tubului Venturi [m²]
 p_{in} = presiunea statică absolută la intrarea în tubul Venturi [Pa]
 Z = factor de compresibilitate [-]
 M_{mix} = masa molară a amestecului de gaze [kg/mol]
 R = constanta molară a gazelor [J/(mol · K)]
 T_{in} = temperatura absolută la intrarea în tubul Venturi [K]

- (a) Cu ajutorul datelor colectate la punctul 8.1.8.4 din anexa VI, se calculează C_d cu ajutorul ecuației (7-140):

$$C_d = \dot{n}_{ref} \cdot \frac{\sqrt{Z \cdot M_{mix} \cdot R \cdot T_{in}}}{C_f \cdot A_t \cdot p_{in}} \quad (7-140)$$

unde:

$$\dot{n}_{ref} = \text{debitul molar de referință [mol/s]}$$

Celelalte simboluri sunt aceleași cu cele din ecuația (7-139).

- (b) C_f se determină prin utilizarea uneia dintre următoarele metode:
- (i) Numai în cazul debitmetrelor CFV, C_{fCFV} se determină din tabelul 7.5 pe baza valorilor pentru β (raportul dintre diametrul gâtului și cel al intrării în tubul Venturi) și γ (raportul dintre căldurile specifice ale amestecului de gaze), utilizând interpolarea liniară pentru a determina valorile intermediare:

Tabelul 7.5

C_{fCFV} față de β and γ pentru debitmetrele CFV

β	C_{fCFV}	
	$\gamma_{exh}=1,385$	$\gamma_{dexh}=\gamma_{air}=1,399$
0,000	0,6822	0,6846
0,400	0,6857	0,6881
0,500	0,6910	0,6934
0,550	0,6953	0,6977
0,600	0,7011	0,7036
0,625	0,7047	0,7072
0,650	0,7089	0,7114
0,675	0,7137	0,7163
0,700	0,7193	0,7219
0,720	0,7245	0,7271
0,740	0,7303	0,7329
0,760	0,7368	0,7395
0,770	0,7404	0,7431
0,780	0,7442	0,7470
0,790	0,7483	0,7511
0,800	0,7527	0,7555
0,810	0,7573	0,7602
0,820	0,7624	0,7652
0,830	0,7677	0,7707
0,840	0,7735	0,7765
0,850	0,7798	0,7828

- (ii) Pentru orice debitmetru CFV sau SSV, se poate folosi ecuația (7-141) pentru calculul C_f :

$$C_f = \left[\frac{2 \cdot \gamma \cdot \left(r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)}{(\gamma-1) \cdot \left(\beta^4 - r^{\frac{-2}{\gamma}} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7-141)$$

unde:

- γ = exponent izoentropic [-]. Pentru un gaz ideal, aceasta este raportul dintre căldurile specifice ale amestecului de gaze, c_p/c_V
- r = raportul de presiune, determinat la litera (c) subpunctul (3) a acestui punct
- β = raportul diametrelor gâtului și intrării tubului Venturi

- (c) Raportul de presiune r se calculează după cum urmează:

- (i) Numai pentru sisteme SSV, r_{SSV} se calculează cu ajutorul ecuației (7-142):

$$r_{SSV} = 1 - \frac{\Delta p_{SSV}}{P_{in}} \quad (7-142)$$

unde:

- Δp_{SSV} = diferența de presiune statică între presiunea la intrarea în tubul Venturi și presiunea din zona gâtului tubului Venturi [Pa]

- (ii) Numai pentru sisteme CFV, r_{CFV} se calculează cu ajutorul ecuației (7-143):

$$r_{CFV}^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} + \left(\frac{\gamma-1}{2} \right) \cdot \beta^4 \cdot r_{CFV}^{\frac{2}{\gamma}} = \frac{\gamma+1}{2} \quad (7-143)$$

- (d) Se pot considera oricare dintre următoarele ipoteze simplificatoare ale ecuațiilor care descriu procesul sau se poate apela la un bun raționament tehnic pentru a stabili valori mai adecvate pentru încercare:

- (i) Pentru încercări privind emisiile pentru întreaga gamă a gazelor de evacuare brute, a gazelor de evacuare diluate și a aerului de diluare, se poate considera că amestecul de gaze se comportă ca un gaz ideal: $Z = 1$.

- (ii) Pentru gama completă de gaze de evacuare brute, se poate considera un raport constant al căldurilor specifice $\gamma = 1,385$.
- (iii) Pentru gama completă a gazelor de evacuare diluate și a aerului de diluare (de exemplu, aerul de etalonare sau aerul de diluare), se poate considera un raport constant al căldurilor specifice $\gamma = 1,399$.
- (iv) Pentru gama completă a gazelor de evacuare diluate și a aerului de diluare, masa molară a amestecului, M_{mix} [g/mol], poate fi considerată o funcție doar de cantitatea de apă din aerul de diluare sau din aerul de etalonare, $x_{\text{H}_2\text{O}}$, determinată în conformitate cu punctul 3.3.2 și calculată cu ajutorul ecuației (7-144):

$$M_{\text{mix}} = M_{\text{air}} \cdot (1 - x_{\text{H}_2\text{O}}) + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (x_{\text{H}_2\text{O}}) \quad (7-144)$$

unde:

$$M_{\text{air}} = 28,96559 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18,01528 \text{ g/mol}$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \text{cantitatea de apă din aerul de diluare sau din aerul de etalonare [mol/mol]}$$

- (v) Pentru gama completă a gazelor de evacuare diluate și a aerului de diluare, se poate considera o masă molară constantă a amestecului, M_{mix} , pentru toate etalonările și încercările, atât timp cât masa molară considerată nu diferă cu mai mult de $\pm 1 \%$ față de masele molare minime și maxime estimate pe durata etalonării și încercării. Această ipoteză poate fi luată în considerare dacă se asigură un control suficient al cantității de apă în aerul de etalonare și în aerul de diluare sau dacă se elimină o cantitate suficientă de apă atât din aerul de etalonare, cât și din aerul de diluare. Tabelul 7.6 prezintă exemple de intervale admise pentru punctul de rouă al aerului de diluare în raport cu punctul de rouă al aerului de etalonare:

Tabelul 7.6

Exemple de puncte de rouă pentru aerul de diluare și aerul de etalonare la care M_{mix} poate fi considerată constantă

În cazul în care T_{dew} al aerului de etalonare ($^{\circ}\text{C}$) este...	se consideră următoarea M_{mix} constantă (g/mol)	pentru următoarele intervale ale T_{dew} ($^{\circ}\text{C}$) în timpul încercărilor de emisii ^(a)
Uscat	28,96559	de la uscat până la 18
0	28,89263	de la uscat până la 21

5	28,86148	de la uscat până la 22
10	28,81911	de la uscat până la 24
15	28,76224	de la uscat până la 26
20	28,68685	de la -8 până la 28
25	28,58806	de la 12 până la 31
30	28,46005	de la 23 până la 34
(a) Interval valabil pentru toate etalonările și încercările de emisii în intervalul de presiune atmosferică (80 000 - 103 325) kPa.		

3.9.4. Etalonarea SSV

(a) Metoda molară. Pentru a etalona un debitmetru SSV, se parcurg următoarele etape:

- (i) Se calculează numărul Reynolds, $Re^{\#}$, pentru fiecare debit molar de referință, folosind diametrul gâtului tubului Venturi, d_t [ecuația (7-145)]. Deoarece este necesară vâscozitatea dinamică, μ , pentru a calcula $Re^{\#}$, se poate utiliza un model pentru vâscozitatea specifică în vederea determinării μ pentru gazul de etalonare (de obicei aer), pe baza unui bun raționament tehnic [ecuația (7-146)]. Alternativ, se poate utiliza modelul vâscozității cu trei coeficienți al lui Sutherland, pentru a aproxima μ (a se vedea tabelul 7.7):

$$Re^{\#} = \frac{4 \cdot M_{\text{mix}} \cdot \dot{n}_{\text{ref}}}{\pi \cdot d_t \cdot \mu} \quad (7-145)$$

unde:

d_t = diametrul gâtului SSV [m]

M_{mix} = masa molară a amestecului [kg/mol]

\dot{n}_{ref} = debitul molar de referință [mol/s]

și, prin utilizarea modelului vâscozității cu trei coeficienți al lui Sutherland:

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T_{\text{in}}}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{T_0 + S}{T_{\text{in}} + S} \right) \quad (7-146)$$

unde:

μ	=	vâscozitatea dinamică a gazului de etalonare [kg/(m·s)]
μ_0	=	viscozitatea de referință Sutherland [kg/(m·s)]
S	=	constanta lui Sutherland [K]
T_0	=	temperatura de referință Sutherland [K]
T_{in}	=	temperatura absolută la intrarea în tubul Venturi [K]

Tabelul 7.7

Parametrii modelului vâscozității cu trei coeficienți al lui Sutherland

Gaz ^(a)	μ_0 kg/(m·s)	T_0 K	S K	Interval de temperatură cu o eroare de $\pm 2\%$ K	Limita de presiune kPa
Aer	$1,716 \times 10^{-5}$	273	111	de la 170 până la 1 900	$\leq 1\ 800$
CO ₂	$1,370 \times 10^{-5}$	273	222	de la 190 până la 1 700	$\leq 3\ 600$
H ₂ O	$1,12 \times 10^{-5}$	350	1,064	de la 360 până la 1 500	$\leq 10\ 000$
O ₂	$1,919 \times 10^{-5}$	273	139	de la 190 până la 2 000	$\leq 2\ 500$
N ₂	$1,663 \times 10^{-5}$	273	107	de la 100 până la 1 500	$\leq 1\ 600$

^(a) Parametrii din tabel se utilizează numai pentru gaze pure, astfel cum sunt enumerați. Parametrii pentru calculul vâscozității amestecurilor de gaze nu se combină.

- (ii) Se creează o ecuație pentru C_d în raport cu $Re^\#$, prin utilizarea perechilor de valori ($Re^\#, C_d$). C_d se calculează în conformitate cu ecuația (7-140), cu C_f obținută din ecuația (7-141), sau se poate folosi orice altă expresie matematică, inclusiv o serie polinomială sau o serie de puteri. Ecuația (7-147) reprezintă un exemplu de expresie matematică utilizată în mod obișnuit pentru stabilirea unei relații între C_d și $Re^\#$.

$$C_d = a_0 - a_1 \cdot \sqrt{\frac{10^6}{Re^\#}} \quad (7-147)$$

- (iii) Se efectuează o analiză a regresiei prin metoda celor mai mici pătrate pentru a determina coeficienții cei mai potriviți pentru ecuație și a calcula statistica de regresie a ecuației, eroarea de estimare standard SEE și coeficientul de determinare r^2 , în conformitate cu apendicele 3.

- (iv) În cazul în care ecuația întrunește criteriile $SEE < 0,5 \% n_{\text{ref max}}$ (sau \dot{m}_{refmax}) și $r^2 \geq 0,995$, aceasta se poate utiliza pentru a determina C_d pentru încercările privind emisiile, astfel cum se descrie la punctul 3.6.3 litera (b).
- (v) În cazul în care nu sunt satisfăcute criteriile privind SEE și r^2 , se poate apela la un bun raționament tehnic pentru a omite puncte de date de etalonare, astfel încât să fie satisfăcută statistica de regresie. Pentru a satisface criteriile, trebuie să se utilizeze cel puțin șapte puncte de date de etalonare.
- (vi) Dacă prin omiterea punctelor nu se elimină valorile excepționale, se vor lua măsuri corective. De exemplu, se alege o altă expresie matematică pentru ecuația C_d în funcție de $Re^\#$, se verifică pierderile sau se repetă procesul de etalonare. În cazul în care se repetă procesul, se aplică toleranțe mai stricte măsurătorilor și se acordă mai mult timp pentru stabilizarea debitelor.
- (vii) Din momentul în care ecuația îndeplinește criteriile de regresie, aceasta se poate utiliza numai pentru determinarea debitelor din gama debitelor de referință folosite pentru întrunirea criteriilor de regresie ale ecuației C_d în funcție de $Re^\#$.

3.9.5. Etalonarea CVF

- (a) Anumite debitmetre CFV constau într-un singur tub Venturi, iar altele constau în mai multe tuburi Venturi, atunci când sunt folosite diferite combinații de tuburi Venturi pentru a măsura debite diferite. Pentru debitmetrele CFV care constau în mai multe tuburi Venturi, se poate efectua o etalonare a fiecărui tub Venturi în parte pentru a determina un coeficient de evacuare distinct, C_d , pentru fiecare tub Venturi, sau se poate efectua o etalonare a fiecărei combinații de tuburi Venturi într-o singură etapă. În cazul în care se etalonează o combinație de tuburi Venturi, se consideră suma suprafețelor active ale gâturilor tuburilor Venturi ca fiind A_t , rădăcina pătrată a sumei pătratelor diametrelor gâturilor tuburilor Venturi active ca fiind d_t și raportul dintre diametrele gâturilor tuburilor Venturi și diametrul orificiului de intrare în tubul Venturi ca fiind raportul dintre rădăcina pătrată a sumei diametrelor gâturilor tuburilor Venturi active (d_t) și diametrul orificiului de intrare comun pentru toate tuburile Venturi (D). Pentru a determina C_d pentru un singur tub Venturi sau pentru o singură combinație de tuburi Venturi, se parcurg următoarele etape:
 - (i) Cu datele colectate în fiecare punct de etalonare, se calculează un C_d individual pentru fiecare punct, utilizând ecuația (7-140).
 - (ii) Abaterea medie și abaterea standard pentru toate valorile C_d se calculează în conformitate cu ecuațiile (7-155) și (7-156).
 - (iii) În cazul în care abaterea standard a tuturor valorilor C_d este mai mică sau egală cu 0,3 % din valoarea medie a C_d , atunci se utilizează media C_d în

ecuația (7-120), iar CFV se utilizează numai până la cea mai mică valoare r măsurată pe durata etalonării.

$$r = 1 - (\Delta p / p_m) \quad (7-148)$$

- (iv) În cazul în care abaterea standard a tuturor valorilor C_d depășește 0,3 % din valoarea medie a C_d , se omit valorile C_d corespunzătoare punctului de date colectat la cea mai mică valoare r măsurată pe durata etalonării.
- (v) Dacă numărul de puncte de date rămase este mai mic de șapte, se iau măsuri corective prin verificarea datelor de etalonare sau prin repetarea procesului de etalonare. În cazul repetării procesului de etalonare, se recomandă verificarea pierderilor, aplicarea unor toleranțe mai stricte pentru măsurători și alocarea unui timp mai îndelungat pentru stabilizarea debitelor.
- (vi) În cazul în care numărul valorilor C_d rămase este mai mare sau egal cu șapte, se recalculează abaterea medie și abaterea standard pentru valorile C_d rămase.
- (vii) În cazul în care abaterea standard a valorilor C_d rămase este mai mică sau egală cu 0,3 % din media valorilor C_d rămase, atunci se utilizează valoarea medie C_d în ecuația (7-120) și se folosesc numai valorile CFV până la cea mai mică valoare r asociată valorii C_d rămase.
- (viii) În cazul în care abaterea standard a valorilor C_d rămase depășește în continuare 0,3 % din media valorilor C_d rămase, se repetă pașii de la litera (e) subpunctele (4)-(8) de la acest punct.

Appendicele 1

Corectarea abaterilor de măsurare

1. Domeniul de aplicare și frecvența

Se efectuează calculele din prezentul apendice pentru a determina dacă abaterea de măsurare a analizorului de gaze invalidează rezultatele unui interval de încercare. În cazul în care abaterea de măsurare nu invalidează rezultatele unui interval de încercare, răspunsurile analizorului de gaze din intervalul de încercare se corectează în funcție de abatere, în conformitate cu prezentul apendice. Răspunsurile analizorului de gaze cu corecție de abatere se utilizează în toate calculele ulterioare privind emisiile. Pragul acceptabil pentru abaterea analizorului de gaze într-un interval de încercare este prevăzut la punctul 8.2.2.2 din anexa VI.

2. Principii de corectare

Calculele din prezentul apendice utilizează răspunsurile unui analizor de gaze la concentrațiile de referință ale gazelor analitice de aducere la zero și de calibrare, determinate cu un anumit timp înainte și după un interval de încercare. Calculele corectează răspunsurile analizorului de gaze înregistrate în timpul unui interval de încercare. Corecția se bazează pe răspunsurile medii ale analizorului la gazele de referință de aducere la zero și de calibrare și se bazează pe concentrațiile de referință ale acestor gaze. Validarea și corecția pentru abaterea de măsurare se realizează după cum urmează:

3. Validarea abaterilor de măsurare

După aplicarea tuturor celorlalte corecții – cu excepția corecției de abatere de măsurare – pentru toate semnalele analizorului de gaz, se calculează emisiile specifice frânării în conformitate cu punctul 3.8. Apoi, se corectează toate semnalele analizorului de gaze în funcție de abaterea de măsurare, în conformitate cu prezentul apendice. Emisiile specifice frânării se recalculează folosind toate semnalele analizorului de gaze ale care au fost corectate în funcție de abaterea de măsurare. Rezultatele emisiilor specifice frânării se validează și se raportează înainte și după corecția în funcție de abaterea de măsurare, în conformitate cu punctul 8.2.2.2 din anexa VI.

4. Corectarea abaterilor de măsurare

Toate semnalele analizorului de gaze se corectează după cum urmează:

- Fiecare concentrație înregistrată, x_i , se corectează pentru prelevarea continuă de eșantioane sau pentru prelevarea pe lot a eșantioanelor, \bar{x} .
- Corecția abaterii se calculează cu ajutorul ecuației (7-149):

$$x_{\text{idriftcor}} = x_{\text{refzero}} + (x_{\text{refspan}} - x_{\text{refzero}}) \frac{2x_i - (x_{\text{prezero}} + x_{\text{postzero}})}{(x_{\text{prespan}} + x_{\text{postspan}}) - (x_{\text{prezero}} + x_{\text{postzero}})} \quad (7-149)$$

unde:

x_{driftcor}	=	concentrația corectată în funcție de abaterea de măsurare [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{refzero}	=	concentrația de referință a gazului de aducere la zero, care este de obicei zero, cu excepția cazului în care se cunoaște că este diferită [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{refspan}	=	concentrația de referință a gazului de calibrare [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{prespan}	=	răspunsul analizorului de gaze în intervalul dinaintea încercării la concentrația gazului de calibrare [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{postspan}	=	răspunsul analizorului de gaze în intervalul de după încercare la concentrația gazului de calibrare [$\mu\text{mol/mol}$]
x_i sau \bar{x}	=	concentrația înregistrată, respectiv măsurată în timpul încercării, înainte de corecția în funcție de abatere [ppm]
x_{prezero}	=	răspunsul analizorului de gaze în intervalul dinaintea încercării la concentrația gazului de aducere la zero [$\mu\text{mol/mol}$]
x_{postzero}	=	răspunsul analizorului de gaze în intervalul de după încercare la concentrația gazului de aducere la zero [$\mu\text{mol/mol}$]

- (c) Pentru orice concentrație din intervalul dinaintea încercării se utilizează concentrațiile determinate cel mai recent înainte de intervalul încercării. Pentru anumite intervale de încercare, cea mai recentă concentrație înainte de aducerea la zero sau înainte de calibrare ar fi putut să apară înaintea unuia sau mai multor intervale de încercare anterioare;
- (d) Pentru orice concentrație din intervalul de după încercare, se utilizează concentrațiile determinate cel mai recent după intervalul încercării. Pentru anumite intervale de încercare, cea mai recentă concentrație după aducerea la zero sau după calibrare ar fi putut să apară după unul sau mai multe intervale de încercare ulterioare;
- (e) În cazul în care nu se înregistrează niciun răspuns la concentrația gazului de calibrare în intervalul dinaintea încercării, x_{prespan} , aceasta se consideră egală cu concentrația de referință a gazului de calibrare: $x_{\text{prespan}} = x_{\text{refspan}}$;
- (f) În cazul în care nu se înregistrează niciun răspuns la concentrația gazului de aducere la zero în intervalul dinaintea încercării, x_{prezero} , aceasta se consideră egală cu concentrația de referință a gazului de aducere la zero: $x_{\text{prezero}} = x_{\text{refzero}}$;
- (g) Adesea, concentrația de referință a gazului de aducere la zero, x_{refzero} , este zero: $x_{\text{refzero}} = 0 \mu\text{mol/mol}$. Cu toate acestea, în unele cazuri, este posibil să se cunoască faptul că x_{refzero} are o concentrație diferită de zero. De exemplu, în cazul în care un analizor de CO_2 este adus la zero folosind aerul înconjurător,

se poate folosi concentrația implicită de CO₂ din aerul înconjurător, care este de 375 μmol/mol. În acest caz, $x_{\text{refzero}} = 375 \mu\text{mol/mol}$. În cazul în care un analizor este adus la zero folosind o valoare x_{refzero} diferită de zero, analizorul se reglează pentru a avea drept rezultat concentrația x_{refzero} reală. De exemplu, în cazul în care $x_{\text{refzero}} = 375 \mu\text{mol/mol}$, analizorul se reglează pentru a avea drept rezultat o valoare de 375 μmol/mol atunci când prin analizor curge gazul de aducere la zero.

Apendicele 2

Verificarea debitului de carbon

1. Introducere

În afară de o mică parte, întreaga cantitate de carbon din gazele de evacuare provine din combustibil și, în afară de un procent minim, toată cantitatea respectivă se regăsește în gazele de evacuare sub formă de CO₂. Aceasta este baza pentru o verificare a sistemului bazată pe măsurarea CO₂. În cazul motoarelor AS fără control asupra raportului aerului în exces λ sau a motoarelor AS care funcționează în afara intervalului $0,97 \leq \lambda \leq 1,03$, procedura include în plus măsurarea concentrației de HC sau CO.

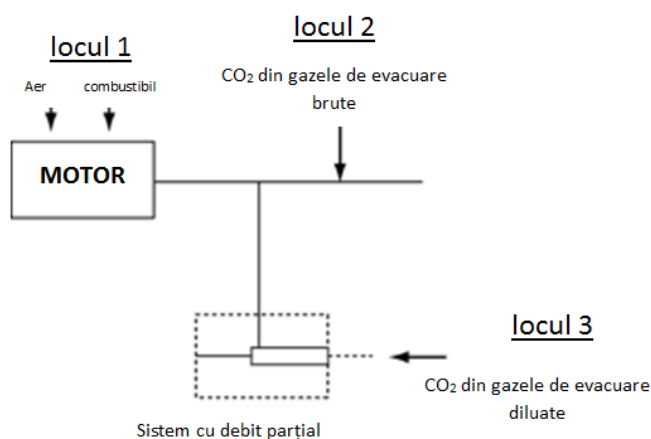
Debitul de carbon în sistemele de măsurare a gazelor de evacuare se stabilește în funcție de debitul de combustibil. Debitul de carbon în diferite puncte de prelevare din sistemele de prelevare a eșantioanelor din emisii și particulele se stabilește în funcție de concentrațiile de CO₂ (sau CO₂, HC și CO) și de debitul gazelor din punctele respective.

În acest sens, motorul furnizează un debit cunoscut de carbon, iar prin observarea aceluiași debit de carbon în conducta de evacuare și la ieșirea sistemului de prelevare a eșantioanelor de PM cu debit parțial se verifică integritatea sistemului de etanșare și precizia de măsurare a debitului. Această verificare are avantajul că permite funcționarea componentelor în condiții de încercare reale ale motorului, din punct de vedere al temperaturii și al debitului.

Figura 7.1 ilustrează punctele de prelevare de eșantioane în care se verifică debitele de carbon. Ecuațiile specifice pentru debitele de carbon în fiecare punct de prelevare a eșantioanelor sunt menționate la punctele următoare.

Figura 7.1

Puncte de măsurare pentru verificarea debitului de carbon



2. Debitul de carbon în motor (poziția 1)

Debitul masic de carbon în motor q_{mCf} [kg/s] pentru un combustibil $CH_{\alpha}O_{\varepsilon}$ se calculează cu ajutorul ecuației (7-150):

$$q_{mCf} = \frac{12.011}{12.011 + \alpha + 15.9994 \cdot \varepsilon} \cdot q_{mf} \quad (7-150)$$

unde:

$$q_{mf} = \text{debitul masic al combustibilului [kg/s]}$$

3. Debitul de carbon în gazele de evacuare brute (poziția 2)

3.1. Pe baza CO_2

Debitul masic al carbonului din conducta de evacuare a motorului q_{mCe} [kg/s] se determină din concentrația de CO_2 brut și din debitul masic al gazelor de evacuare cu ajutorul ecuației (7-151):

$$q_{mCe} = \left(\frac{c_{CO_2,r} - c_{CO_2,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \cdot \frac{12.011}{M_e} \quad (7-151)$$

unde:

$$c_{CO_2,r} = \text{concentrația de } CO_2 \text{ în stare umedă în gazele de evacuare brute } [\%]$$

$$c_{CO_2,a} = \text{concentrația de } CO_2 \text{ în stare umedă în aerul ambiant } [\%]$$

$$q_{mew} = \text{debitul masic de gaze de evacuare în stare umedă [kg/s]}$$

$$M_e = \text{masa molară a gazelor de evacuare [g/mol]}$$

În cazul în care concentrația de CO_2 este măsurată în stare uscată, aceasta se convertește la stare umedă în conformitate cu punctul 2.1.3 sau 3.5.2.

3.2. Pe baza CO_2 , HC și CO

Ca o alternativă pentru efectuarea calculului numai pe baza CO_2 de la punctul 3.1, debitul masic al carbonului din conducta de evacuare a motorului q_{mCe} [kg/s] se

calculează din concentrația de CO₂, HC și CO brut și din debitul masic al gazelor de evacuare cu ajutorul ecuației (7-152):

$$q_{mCe} = \left(\frac{c_{CO_2,r} - c_{CO_2,a}}{100} + \frac{c_{THC(C1),r} - c_{THC(C1),a}}{100} + \frac{c_{CO,r} - c_{CO,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \frac{12.011}{M_e} \quad (7-152)$$

unde:

$c_{CO_2,r}$	=	concentrația de CO ₂ în stare umedă în gazele de evacuare brute [%]
$c_{CO_2,a}$	=	concentrația de CO ₂ în stare umedă în aerul ambiant [%]
$c_{THC(C1),r}$	=	concentrația de THC(C1) în gazele de evacuare brute [%]
$c_{THC(C1),a}$	=	concentrația de THC(C1) în aerul înconjurător [%]
$c_{CO,r}$	=	concentrația de CO în stare umedă în gazul de evacuare brut [%]
$c_{CO,a}$	=	concentrația de CO în stare umedă în aerul ambiant [%]
q_{mew}	=	debitul masic de gaze de evacuare în stare umedă [kg/s]
M_e	=	masa molară a gazelor de evacuare [g/mol]

În cazul în care concentrațiile de CO₂ sau CO sunt măsurate în stare uscată, acestea se convertesc la stare umedă în conformitate cu punctul 2.1.3 sau 3.5.2.

4. Debitul de carbon din sistemul de diluare (poziția 3)

4.1. Pe baza CO₂

Pentru un sistem de diluare în circuit parțial, se ia în considerare raportul de diferențiere. Debitul de carbon dintr-un sistem de diluare echivalent q_{mCp} [kg/s] (echivalent însemnând echivalent cu un sistem cu debit integral în care debitul total este diluat) se determină din concentrația de CO₂ diluat, debitul masic de gaze de evacuare și debitul eșantionului; noua ecuație (7-153) este identică cu ecuația (7-151), fiind completată numai cu factorul de diluare q_{mdew}/q_{mp} .

$$q_{mCp} = \left(\frac{c_{CO_2,d} - c_{CO_2,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \cdot \frac{12.011}{M_e} \cdot \frac{q_{mdew}}{q_{mp}} \quad (7-153)$$

unde:

$c_{CO_2,d}$	=	concentrația de CO ₂ în stare umedă în gazele de evacuare diluate la ieșirea din tunelul de diluare [%]
$c_{CO_2,a}$	=	concentrația de CO ₂ umed din aerul ambiant [%]
q_{mdew}	=	debitul eșantionului diluat din sistemul de diluare în circuit parțial [kg/s]
q_{mew}	=	debitul masic de gaze de evacuare în stare umedă [kg/s]
q_{mp}	=	debitul eșantionului de gaz de evacuare din sistemul de diluare în circuit parțial [kg/s]
M_e	=	masa molară a gazelor de evacuare [g/mol]

În cazul în care concentrația de CO₂ este măsurată în stare uscată, aceasta se convertește la stare umedă în conformitate cu punctul 2.1.3 sau 3.5.2.

4.2. Pe baza CO₂, HC și CO

Pentru un sistem de diluare în circuit parțial, se ia în considerare raportul de diferențiere. Ca o alternativă pentru efectuarea calculului bazat numai pe CO₂ de la punctul 4.1, debitul de carbon dintr-un sistem de diluare echivalent q_{mCp} [kg/s] (echivalent însemnând echivalent cu un sistem cu debit integral în care debitul total este diluat) se determină din concentrația de CO₂, HC și CO diluat, debitul masic de gaze de evacuare și debitul eșantionului; noua ecuație (7-154) este identică cu ecuația (7-152), fiind completată numai cu factorul de diluare q_{mdew}/q_{mp} .

$$q_{mCe} = \left(\frac{c_{CO_2,d} - c_{CO_2,a}}{100} + \frac{c_{THC(C1),d} - c_{THC(C1),a}}{100} + \frac{c_{CO,d} - c_{CO,a}}{100} \right) \cdot q_{mew} \frac{12.011}{M_e} \cdot \frac{q_{mdew}}{q_{mp}}$$

(7-154)

unde:

$c_{CO_2,d}$	=	concentrația de CO ₂ în stare umedă în gazele de evacuare diluate la ieșirea din tunelul de diluare [%]
$c_{CO_2,a}$	=	concentrația de CO ₂ în stare umedă din aerul ambiant [%]
$c_{THC(C1),d}$	=	concentrația de THC(C1) în gazele de evacuare diluate la ieșirea din tunelul de diluare [%]
$c_{THC(C1),a}$	=	concentrația de THC(C1) în aerul înconjurător [%]
$c_{CO,d}$	=	concentrația de CO în stare umedă în gazele de evacuare diluate la ieșirea din tunelul de diluare [%]

$c_{CO,a}$	=	concentrația de CO în stare umedă în aerul înconjurător [%]
q_{mdew}	=	debitul eșantionului diluat din sistemul de diluare în circuit parțial [kg/s]
q_{mew}	=	debitul masic de gaze de evacuare în stare umedă [kg/s]
q_{mp}	=	debitul eșantionului de gaz de evacuare din sistemul de diluare în circuit parțial [kg/s]
M_e	=	masa molară a gazelor de evacuare [g/mol]

În cazul în care concentrațiile de CO₂ sau CO sunt măsurate în stare uscată, acestea se convertesc la stare umedă în conformitate cu punctul 2.1.3 sau 3.5.2 din această anexă.

5. Calculul masei molare a gazelor de evacuare

Masa molară a gazelor de evacuare se calculează cu ajutorul ecuației (7-13) (a se vedea punctul 2.1.5.2 din prezenta anexă).

Alternativ, se pot utiliza următoarele mase molare ale gazelor de evacuare:

$$M_e \text{ (motorină)} = 28,9 \text{ g/mol}$$

$$M_e \text{ (GPL)} = 28,6 \text{ g/mol}$$

$$M_e \text{ (gaze naturale/biometan)} = 28,3 \text{ g/mol}$$

$$M_e \text{ (benzină)} = 29,0 \text{ g/mol}$$

Apendicele 3

Statistică

1. Media aritmetică

Media aritmetică, \bar{y} , se calculează cu ajutorul ecuației (7-155):

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad (7-155)$$

2. Abaterea standard

Abaterea standard σ pentru un eșantion neafectat de o eroare sistematică (de exemplu, $N-1$) se calculează cu ajutorul ecuației (7-156):

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{(N-1)}} \quad (7-156)$$

3. Media pătratică

Media pătratică, rms_y , se calculează cu ajutorul ecuației (7-157):

$$rms_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2} \quad (7-157)$$

4. Testul t

Se determină dacă datele trec un test t, prin utilizarea următoarelor ecuații și a tabelului 7.8:

- (a) În cazul unui test t pentru eșantioane independente, statistica t și numărul gradelor de libertate ale acesteia, ν , se calculează cu ajutorul ecuațiilor (7-158) și (7-159):

$$t = \frac{|\bar{y}_{\text{ref}} - \bar{y}|}{\sqrt{\frac{\sigma_{\text{ref}}^2}{N_{\text{ref}}} + \frac{\sigma_y^2}{N}}} \quad (7-158)$$

$$\nu = \frac{\left(\frac{\sigma_{\text{ref}}^2}{N_{\text{ref}}} + \frac{\sigma_y^2}{N} \right)^2}{\frac{(\sigma_{\text{ref}}^2 / N_{\text{ref}})^2}{N_{\text{ref}} - 1} + \frac{(\sigma_y^2 / N)^2}{N - 1}} \quad (7-159)$$

- (b) Pentru un test t pentru eșantioane dependente, statistica t și numărul gradelor de libertate ale acesteia, ν , se calculează cu ajutorul ecuației (7-160), cu mențiunea că ε_i reprezintă erorile (de exemplu, diferențele) dintre fiecare pereche y_{refi} și y_i :

$$t = \frac{|\bar{\varepsilon}| \cdot \sqrt{N}}{\sigma_{\varepsilon}} \quad \nu = N - 1 \quad (7-160)$$

- (c) Tabelul 7.8 se utilizează pentru a compara valorile t cu valorile t_{crit} prezentate în formă tabelară în raport cu gradele de libertate. Dacă t este mai mic decât t_{crit} , atunci se consideră că t întrunește cerințele testului t .

Tabelul 7.8

Valorile critice t în raport cu numărul gradelor de libertate, ν

	Încredere	
	90 %	95 %
1	6,314	12,706
2	2,920	4,303
3	2,353	3,182
4	2,132	2,776
5	2,015	2,571
6	1,943	2,447
7	1,895	2,365
8	1,860	2,306
9	1,833	2,262
10	1,812	2,228
11	1,796	2,201
12	1,782	2,179
13	1,771	2,160
14	1,761	2,145
15	1,753	2,131
16	1,746	2,120
18	1,734	2,101
20	1,725	2,086
22	1,717	2,074
24	1,711	2,064
26	1,706	2,056
28	1,701	2,048
30	1,697	2,042
35	1,690	2,030
40	1,684	2,021
50	1,676	2,009
70	1,667	1,994
100	1,660	1,984
1 000+	1,645	1,960

Pentru valorile care nu sunt prezentate în tabel, se utilizează interpolarea liniară.

5. Testul F

Statistica F se calculează cu ajutorul ecuației (7-161):

$$F_y = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{\text{ref}}^2} \quad (7-161)$$

- (a) Pentru un test F cu grad de încredere de 90 % se utilizează tabelul 7.9 în scopul de a compara valorile F cu valorile $F_{\text{crit}90}$, prezentate în formă tabelară, în raport cu $(N-1)$ și $(N_{\text{ref}}-1)$. În cazul în care F este mai mic decât $F_{\text{crit}90}$, atunci F întrunește cerințele testului F la gradul de încredere de 90 %.
- (b) Pentru un test F cu grad de încredere de 95% se utilizează tabelul 7.10 în scopul de a compara valorile F cu valorile $F_{\text{crit}95}$, prezentate în formă tabelară, în raport cu $(N-1)$ și $(N_{\text{ref}}-1)$. În cazul în care F este mai mic decât $F_{\text{crit}95}$, atunci F întrunește cerințele testului F la gradul de încredere de 95 %.

6. Panta

Panta de regresie prin metoda celor mai mici pătrate, a_{1y} , se calculează cu ajutorul ecuației (7-162):

$$a_{1y} = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}) \cdot (y_{refi} - \bar{y}_{ref})}{\sum_{i=1}^N (y_{refi} - \bar{y}_{ref})^2} \quad (7-162)$$

7. Ordonata la origine

Ordonata la origine a liniei de regresie prin metoda celor mai mici pătrate, a_{0y} , se calculează cu ajutorul ecuației (7-163):

$$a_{0y} = \bar{y} - (a_{1y} \cdot \bar{y}_{ref}) \quad (7-163)$$

8. Eroarea de estimare standard

Eroarea de estimare standard, SEE , se calculează cu ajutorul ecuației (7-164):

$$SEE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [y_i - a_{0y} - (a_{1y} \cdot y_{refi})]^2}{N - 2}} \quad (7-164)$$

9. Coeficientul de determinare

Coeficientul de determinare, r^2 , se calculează cu ajutorul ecuației (7-165):

$$r_y^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [y_i - a_{0y} - (a_{1y} \cdot y_{refi})]^2}{\sum_{i=1}^N [y_i - \bar{y}]^2} \quad (7-165)$$

Apendicele 4

FORMULA INTERNAȚIONALĂ A GRAVITAȚIEI, 1980

Accelerația gravitațională a Pământului, a_g , variază în funcție de loc, iar a_g se calculează pentru o anumită latitudine, cu ajutorul ecuației (7-166):

$$a_g = 9.7803267715 \left[1 + 5.2790414 \times 10^{-3} \sin^2 \theta + 2.32718 \times 10^{-5} \sin^4 \theta + 1.262 \times 10^{-7} \sin^6 \theta + 7 \times 10^{-10} \sin^8 \theta \right]$$

(7-166)

unde:

θ = grade latitudine nordică sau sudică

Apendicele 5

Calcularea numărului de particule

1. Determinarea numărului de particule

1.1. Sincronizarea

Pentru sistemele de diluare în circuit parțial, se ia în considerare timpul de reținere în sistemul de prelevare și măsurare a numărului de particule, prin sincronizarea semnalului numărului de particule cu ciclul de încercare și cu debitul masic al gazelor de evacuare, conform procedurii specificate la punctul 8.2.1.2 din anexa VI. Timpul de transformare al sistemului de prelevare și de măsurare a numărului de particule se determină în conformitate cu punctul 2.1.3.7 din apendicele 1 la anexa VI.

1.2. Determinarea numărului de particule pentru ciclurile de încercare în regim tranzitoriu (NRTC și LSI-NRTC) și RMC cu sistem de diluare în circuit parțial

În cazul în care prelevarea pentru măsurarea numărului de particule se efectuează utilizând un sistem de diluare în circuit parțial, în conformitate cu specificațiile prevăzute la punctul 9.2.3 din anexa VI, numărul de particule emise pe parcursul ciclului de încercare se calculează cu ajutorul ecuației (7-167):

$$N = \frac{m_{edf}}{1.293} \cdot k \cdot \bar{c}_s \cdot \bar{f}_r \cdot 10^6 \quad (7-167)$$

unde:

N este numărul de particule emise pe parcursul ciclului de încercare, [#încercare];

m_{edf} este masa gazelor de evacuare diluate echivalente pe durata ciclului, determinată cu ajutorul ecuației (7-45) (punctul 2.3.1.1.2), [kgîncercare];

k este factorul de etalonare pentru corectarea măsurătorilor indicate de contorul de particule în funcție de instrumentul de referință, în cazul în care această corectare nu se efectuează automat în contorul de particule. În cazul în care factorul de etalonare este aplicat automat în interiorul conturului de particule, factorului k i se atribuie valoarea 1 în ecuația (7-167);

\bar{c}_s este concentrația medie de particule din gazele de evacuare diluate, corectată pentru condiții standard de temperatură și presiune (273,2 K; 101,33 kPa), în particule pe centimetru cub;

$\overline{f_r}$ este factorul de reducere a concentrației medii de particule a separatorului de particule volatile specific nivelurilor de diluare utilizate pentru efectuarea încercării.

cu

$$\overline{c_s} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \quad (7-168)$$

unde:

$c_{s,i}$ este valoarea discretă a concentrației de particule din gazele de evacuare diluate indicată de contorul de particule și corectată pentru condițiile standard de temperatură și presiune (273,2 K și 101,33 kPa), în particule pe centimetru cub;

n numărul de măsurări ale concentrației de particule efectuate pe durata încercării.

1.3. Determinarea numărului de particule pentru ciclurile de încercare în regim tranzitoriu (NRTC și LSI-NRTC) și RMC cu sistem de diluare în circuit principal

În cazul în care prelevarea pentru măsurarea numărului de particule se efectuează utilizând un sistem de diluare în circuit principal, în conformitate cu specificațiile prevăzute la punctul 9.2.2 din anexa VI, numărul de particule emise pe parcursul ciclului de încercare se calculează cu ajutorul ecuației (7-169):

$$N = \frac{m_{edf}}{1.293} \cdot k \cdot \overline{c_s} \cdot \overline{f_r} \cdot 10^6 \quad (7-169)$$

unde:

N este numărul de particule emise pe parcursul ciclului de încercare, [#/încercare];

m_{ed} este masa totală de gaze de evacuare diluate pe durata ciclului, calculată în conformitate cu una dintre metodele descrise la punctele 2.2.4.1 și 2.2.4.3 din anexa VII, kg/încercare;

k este factorul de etalonare pentru corectarea măsurătorilor indicate de contorul de particule în funcție de instrumentul de referință, în cazul în care această corectare nu se efectuează automat în contorul de particule. În cazul în care factorul de etalonare este aplicat automat în interiorul contorului de particule, factorului k i se atribuie valoarea 1 în ecuația (7-169);

$\overline{c_s}$ este concentrația medie corectată de particule din gazele de evacuare diluate, corectată pentru condiții standard de temperatură și presiune (273,2 K; 101,33 kPa), în particule pe centimetru cub;

\bar{f}_r este factorul de reducere a concentrației medii de particule a separatorului de particule volatile specific nivelurilor de diluare utilizate pentru efectuarea încercării.

cu

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \quad (7-170)$$

unde:

$c_{s,i}$ este valoarea discretă a concentrației de particule din gazele de evacuare diluate indicată de contorul de particule și corectată pentru condițiile standard de temperatură și presiune (273,2 K și 101,33 kPa), în particule pe centimetru cub;

n este numărul de măsurări ale concentrației de particule efectuate pe durata încercării.

1.4. Determinarea numărului de particule pentru NRSC în mod discontinuu cu sistem de diluare în circuit parțial

În cazul în care prelevarea pentru măsurarea numărului de particule se efectuează utilizând un sistem de diluare în circuit parțial, în conformitate cu specificațiile prevăzute la punctul 9.2.3 din anexa VI, rata de emisii de particule pe parcursul fiecărui ciclu de încercare în mod discontinuu se calculează cu ajutorul ecuației (7-171), prin utilizarea valorilor medii pentru mod:

$$\dot{N} = \frac{q_{medf}}{1.293} \times k \times \bar{c}_s \times \bar{f}_r \times 10^6 \times 3600 \quad (7-171)$$

unde:

\dot{N} este rata de emisii de particule pe durata modului discontinuu individual, #/h;

q_{medf} debitul masic echivalent al gazelor de evacuare diluate în stare umedă pe durata unui mod discontinuu individual, determinat în conformitate cu ecuația (7-51) (punctul 2.3.2.1) din anexa VII, kg/s;

k este factorul de etalonare pentru corectarea măsurătorilor indicate de contorul de particule în funcție de instrumentul de referință, în cazul în care această corectare nu se efectuează automat în contorul de particule. În cazul în care factorul de etalonare este aplicat automat în interiorul contorului de particule, factorului k i se atribuie valoarea 1 în ecuația (1-171);

\bar{c}_s este concentrația medie de particule din gazele de evacuare diluate pe durata ciclului în mod discontinuu, corectată pentru condiții standard de

temperatură și presiune (273,2 K; 101,33 kPa), în particule pe centimetru cub;

\bar{f}_r este factorul de reducere a concentrației medii de particule a separatorului de particule volatile specific nivelurilor de diluare utilizate pentru efectuarea încercării.

cu

$$\bar{c}_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \quad (7-172)$$

unde:

$c_{s,i}$ este valoarea discretă a concentrației de particule din gazele de evacuare diluate indicată de contorul de particule și corectată pentru condițiile standard de temperatură și presiune (273,2 K și 101,33 kPa), în particule pe centimetru cub;

n numărul de măsurări ale concentrației particulelor efectuate pe durata prelevării individuale de eșantioane din timpul modului discontinuu.

1.5. Determinarea numărului de particule pentru ciclul în mod discontinuu cu sistem de diluare în circuit principal

În cazul în care prelevarea pentru măsurarea numărului de particule se efectuează utilizând un sistem de diluare în circuit principal, în conformitate cu specificațiile prevăzute la punctul 9.2.2 din anexa VI, rata de emisii de particule pe parcursul fiecărui ciclu de încercare în mod discontinuu se calculează cu ajutorul ecuației (7-173), prin utilizarea valorilor medii pentru mod:

$$\dot{N} = \frac{q_{mdew}}{1.293} \times k \times \bar{c}_s \times \bar{f}_r \times 10^6 \times 3600 \quad (7-173)$$

unde:

\dot{N} este rata de emisii de particule pe durata modului discontinuu individual, #/h;

q_{mdew} debitul masic total al gazelor de evacuare diluate în stare umedă pe durata unui mod discontinuu individual, kg/s;

k este factorul de etalonare pentru corectarea măsurătorilor indicate de contorul de particule în funcție de instrumentul de referință, în cazul în care această corectare nu se efectuează automat în contorul de particule. În cazul în care factorul de etalonare este aplicat automat în interiorul contorului de particule, factorului k i se atribuie valoarea 1 în ecuația (7-173);

\bar{c}_s este concentrația medie de particule din gazele de evacuare diluate pe durata ciclului în mod discontinuu, corectată pentru condiții standard de

temperatură și presiune (273,2 K; 101,33 kPa), în particule pe centimetru cub;

$\overline{f_r}$ este factorul de reducere a concentrației medii de particule a separatorului de particule volatile specific nivelurilor de diluare utilizate pentru efectuarea încercării.

cu

$$\overline{c_s} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{s,i}}{n} \quad (7-174)$$

unde:

$c_{s,i}$ este valoarea discretă a concentrației de particule din gazele de evacuare diluate indicată de contorul de particule și corectată pentru condițiile standard de temperatură și presiune (273,2 K și 101,33 kPa), în particule pe centimetru cub;

n numărul de măsurări ale concentrației particulelor efectuate pe durata prelevării individuale de eşantioane din timpul modului discontinuu.

2. Rezultatul încercării

2.1. Calcularea emisiilor specifice pentru ciclurile de încercare în regim tranzitoriu (NRTC și LSI-NRTC) și RMC

Pentru fiecare ciclu individual aplicabile RMC, NRTC cu pornire la cald și NRTC cu pornire la rece, emisiile specifice în număr de particule/kWh se calculează cu ajutorul ecuației (7-175):

$$e = \frac{N}{W_{act}} \quad (7-175)$$

unde:

N este numărul de particule emise pe parcursul ciclurilor RMC, NRTC cu pornire la cald sau NRTC cu pornire la rece aplicabile;

W_{act} este lucrul mecanic real, în conformitate cu punctul 7.8.3.4 din anexa VI, [kWh].

Pentru RMC, în cazul unui motor cu regenerare ocazională (periodică) a sistemului de posttratare a gazelor de evacuare (a se vedea 6.6.2 din anexa VI), emisiile specifice se corectează prin folosirea factorului de ajustare multiplicativ aplicabil sau prin intermediul factorului de ajustare aditiv aplicabil. În cazul în care regenerarea ocazională nu a avut loc pe parcursul încercării, se aplică factorul de ajustare superioară ($k_{ru,m}$ sau $k_{ru,a}$). În cazul în care regenerarea ocazională a avut loc pe parcursul încercării, se aplică factorul de ajustare inferioară ($k_{rd,m}$ sau $k_{rd,a}$).

În cazul unui RMC, rezultatul final se ajustează, de asemenea, prin aplicarea factorului de deteriorare multiplicativ sau aditiv, stabilit în conformitate cu cerințele anexei III.

2.1.1. Media ponderată a rezultatelor încercării NRTC

Pentru NRTC, rezultatul final al încercării este o medie ponderată între pornirea la rece și pornirea la cald (inclusiv regenerarea periodică, dacă este cazul), calculată cu ajutorul ecuației (7-176) sau (7-177):

- (a) În cazul ajustării multiplicative a regenerării sau pentru motoare fără regenerare periodică a sistemului de posttratate a gazelor de evacuare:

$$e = k_r \left(\frac{(0.1 \times N_{cold}) + (0.9 \times N_{hot})}{(0.1 \times W_{act,cold}) + (0.9 \times W_{act,hot})} \right) \quad (7-176)$$

în cazul ajustării aditive a regenerării

$$e = k_r + \left(\frac{(0.1 \times N_{cold}) + (0.9 \times N_{hot})}{(0.1 \times W_{act,cold}) + (0.9 \times W_{act,hot})} \right) \quad (7-177)$$

unde:

N_{cold} este numărul total de particule emise pe durata ciclului de încercare NRTC cu pornire la rece;

N_{hot} este numărul total de particule emise pe durata ciclului de încercare NRTC cu pornire la cald;

$W_{act,cold}$ este lucrul mecanic real pe durata ciclului de încercare NRTC cu pornire la rece, în conformitate cu punctul 7.8.3.4 din anexa VI, în kWh;

$W_{act,hot}$ este lucrul mecanic real pe durata ciclului de încercare NRTC cu pornire la cald, în conformitate cu punctul 7.8.3.4 din anexa VI, în kWh;

k_r este ajustarea regenerării, în conformitate cu punctul 6.6.2 din anexa VI sau, în cazul motoarelor fără regenerare periodică a sistemului de posttratate a gazelor de evacuare, $k_r = 1$

În cazul în care regenerarea ocazională nu a avut loc pe parcursul încercării, se aplică factorul de ajustare superioară ($k_{ru,m}$ sau $k_{ru,a}$). În cazul în care regenerarea ocazională a avut loc pe parcursul încercării, se aplică factorul de ajustare inferioară ($k_{rd,m}$ sau $k_{rd,a}$).

Rezultatul, acolo unde este cazul, inclusiv factorul de ajustare a regenerării ocazionale, se ajustează, de asemenea, prin aplicarea factorului de deteriorare multiplicativ sau aditiv, stabilit în conformitate cu cerințele anexei III.

2.2. Calculul emisiilor specifice pentru încercările NRSC în mod discontinuu

Emisiile specifice e [#kWh] se calculează cu ajutorul ecuației (7-178):

$$e = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (\dot{N}_i \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} (P_i \cdot WF_i)} \quad (7-178)$$

unde:

P_i este puterea motorului pentru modul i [kW] cu $P_i = P_{\text{maxi}} + P_{\text{auxi}}$

(a se vedea punctele 6.3 și 7.7.1.3 din anexa VI)

WF_i este factor de ponderare pentru modul i [-]

\dot{N}_i este debitul mediu al numărului de emisii pentru modul i [#h] din ecuația (7-171) sau (7-173), în funcție de metoda de diluare

În cazul unui motor cu regenerare ocazională (periodică) a sistemului de posttratare a gazelor de evacuare (a se vedea 6.6.2 din anexa VI), emisiile specifice se corectează prin intermediul factorului de ajustare multiplicativ aplicabil sau prin intermediul factorului de ajustare aditiv aplicabil. În cazul în care regenerarea ocazională nu a avut loc pe parcursul încercării, se aplică factorul de ajustare superioară ($k_{\text{ru,m}}$ sau $k_{\text{ru,a}}$). În cazul în care regenerarea ocazională a avut loc pe parcursul încercării, se aplică factorul de ajustare inferioară ($k_{\text{rd,m}}$ sau $k_{\text{rd,a}}$). Atunci când factorii de ajustare au fost determinați pentru fiecare mod, aceștia se aplică pentru fiecare mod în timpul calculării rezultatului ponderat al emisiilor, în ecuația (7-178).

Rezultatul, acolo unde este cazul, inclusiv factorul de ajustare a regenerării ocazionale, se ajustează, de asemenea, prin aplicarea factorului de deteriorare multiplicativ sau aditiv, stabilit în conformitate cu cerințele anexei III.

2.3. Rotunjirea rezultatelor finale

Rezultatele finale ale încercării NRTC și media ponderată a încercărilor NRTC se rotunjesc într-o singură etapă la trei cifre semnificative, în conformitate cu ASTM E 29–06B. Nu este permisă rotunjirea valorilor intermediare care conduc la rezultatul final al emisiilor specifice frânării.

2.4. Determinarea numărului de particule de fond

2.4.1. La cererea producătorului motorului, se pot preleva eșantioane, înainte sau după încercare, pentru concentrațiile numărului de particule de fond din tunelul de diluare, pornind de la un punct situat în aval de filtrele de particule și de hidrocarburi amplasate în sistemul de măsurare a numărului de particule, pentru a determina concentrațiile de particule de fond din tunel.

2.4.2. Nu este permisă scăderea concentrațiilor de fond din tunel, însă poate fi utilizată, la cererea producătorului, pentru omologarea de tip, cu acordul prealabil al autorității de omologare, în scopul încercărilor de verificare a conformității producției, în cazul în care se poate demonstra că valoarea concentrației de fond din tunel este semnificativă; acesta poate fi ulterior scăzut din valorile măsurate în gazele de evacuare diluate.

Apendicele 6

Calcularea emisiilor de amoniac

1. Calcularea concentrației medii pentru ciclurile de încercare în regim tranzitoriu (NRTC și LSI-NRTC) și RMC

Concentrația medie de NH₃ din gazele de evacuare pe durata ciclului de încercare c_{NH3} [ppm] se determină prin integrarea valorilor instantanee măsurate pe durata ciclului. Se aplică ecuația (7-179):

$$c_{\text{NH3}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} c_{\text{NH3},i} \quad (7-179)$$

unde:

c_{NH3,i} este concentrația instantanee de NH₃ din gazele de evacuare [ppm]

n este numărul de măsurări

Pentru NRTC, rezultatul final al încercării se calculează cu ajutorul ecuației (7-180):

$$c_{\text{NH3}} = (0,1 \times c_{\text{NH3,cold}}) + (0,9 \times c_{\text{NH3,hot}}) \quad (7-180)$$

unde:

c_{NH3,cold} este concentrația medie a NH₃ pentru NRTC cu pornire la rece [ppm]

c_{NH3,hot} este concentrația medie a NH₃ pentru NRTC cu pornire la cald [ppm]

2. Calculul concentrației medii pentru NRSC în mod discontinuu

Concentrația medie de NH₃ din gazele de evacuare pe durata ciclului de încercare c_{NH3} [ppm] se determină prin măsurarea concentrației medii pentru fiecare mod și ponderarea rezultatului în conformitate cu factorii de ponderare aplicabili ciclului de încercare. Se aplică ecuația (7-181):

$$c_{\text{NH3}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{mode}}} \bar{c}_{\text{NH3},i} \cdot W_{F_i} \quad (7-181)$$

unde:

$\bar{c}_{\text{NH3},i}$ este concentrația medie de NH₃ din gazele de evacuare pentru modul i [ppm]

N_{mode} este numărul de moduri din cadrul ciclului de încercare

W_{F_i} este factorul de ponderare pentru modul i [-]

