

TEST DE EXACTITATE PENTRU CONCENTRAȚIA DE ALCOOL DIN AERUL ALVEOLAR EXPIRAT

Mirela ANGHEL*

Rezumat : Scopul acestui articol este de a furniza rezultate obținute de către specialiștii de la Institutul Național de Metrologie (INM) în preocuparea lor de a asigura trasabilitatea concentrației de alcool etilic în România. Cheia calității parametrilor este dată de incertitudinile de măsurare asociate valorilor certificate și încrederea în incertitudinea estimată. Bugetele de incertitudine sunt calculate folosind standardele ISO [1,2]. Măsurările de alcool etilic din aerul alveolar expirat sunt prezentate în acest articol împreună cu incertitudinea extinsă U , folosind un factor de acoperire $k=2$, care este dat pentru intervalul de valori desemnat cu o probabilitate de 95 %.

Abstract : The aim of this article is to provide results obtained by specialists from the National Institute of Metrology (INM) in their attempt to assure traceability of breath alcohol concentration in Romania. The key quality parameters are the uncertainties associated with the certified values and the reliability of the uncertainty estimate. The uncertainty budgets were calculated using the ISO approach [1,2]. Breath alcohol measurements are presented in this article together with the expanded uncertainty U , using a coverage factor $k=2$ which gives a degree of confidence of approximately 95 %.

Cuvinte cheie: trasabilitate, materiale de referință, concentrație de alcool etilic în aerul alveolar expirat, metrologie

Key words : traceability, reference materials, breath alcohol concentration, metrology

1 Introducere

Agreat de unii, blestemat de alții, dar apreciat de majoritatea oamenilor, alcoolul, mai exact etanolul, reprezintă un mijloc de stimulare și relaxare.

Cuvântul “alcool” provine dintr-un cuvânt arab, care înseamnă “cel mai fin, distins, rafinat”. Când este consumat, acest lichid trece foarte rapid în sânge și, prin intermediul acestuia, este distribuit în tot organismul. În general vorbind, este un stimulent; din punct de vedere medical este o toxină de gradul unu pentru celule și, prin urmare, organismul declanșează reacția de eliminare a acestuia.

Începând cu concentrații mai mari de 0,05 %, reflexele se încetinesc considerabil. Acuitatea vizuală scade și viteza nu poate fi apreciată cu precizie.

Coordonarea mișcărilor se deteriorează. Crește confuzia și se pierde simțul orientării. Abilitatea de a vedea noaptea este redusă foarte mult. Creșterea, în schimb, a încrederii în sine conduce la opinii despre propria persoană, exagerate și periculoase. “Victima” începe să-și piardă controlul asupra propriei personalități. Voiciunea scade semnificativ. Reacțiile sunt exagerate. Pericolele iminente sunt recunoscute cu întârziere și reacțiile nu se potrivesc situațiilor ivite.

Etanolul se comportă ca un drog, afectând sistemul nervos central. Efectele alcoolului asupra comportamentului sunt rezultatul influenței lui asupra țesuturilor nervoase și nu asupra mușchilor și simțurilor. Alcoolul este un sedativ și în funcție de cantitate poate fi un calmant sau un anestezic general. El atenuează anumite funcții cerebrale. Consumat în cantități foarte reduse, el pare a fi un stimulent prin suprimarea anumitor funcții cerebrale inhibitorii. Totuși, pe măsură ce concentrația crește, suprimarea funcțiilor țesuturilor nervoase produce simptomul clasic al intoxicației; incapacitatea controlării limbajului, inabilitatea de a reacționa rapid, percepție senzorială defectuoasă. La concentrații ridicate, etanolul produce anestezie generală; persoanele aflate într-un grad ridicat de intoxicație vor fi într-o stare asemănătoare stării de comă. În cazuri extreme, dacă concentrația de alcool este suficient de ridicată, poate inhiba funcțiile involuntare de bază ale organismului, cum ar fi respirația, și poate cauza moartea.

2 Bazele măsurărilor concentrației de alcool din aerul alveolar expirat

Etanolul este volatil și, ca rezultat, o cantitate de alcool, proporțională cu concentrația de alcool din sânge, se transferă din sânge în aerul din alveolele pulmonare. Acest fenomen are loc în același mod în care dioxidul de carbon părăsește sângele alveolar și intră în plămâni pentru a fi ulterior eliminat din organism prin expirație. Ca urmare, este posibilă analizarea unei probe de aer alveolar pentru determinarea concentrației de alcool, determinarea cantitativă a acestuia putându-se face cu un grad de exactitate ridicat.

Determinarea concentrației de alcool din aerul alveolar expirat se bazează pe principiul conform căruia, la echilibru, concentrația unei substanțe aflată în faza gazoasă, într-un vas închis, este proporțională cu concentrația acesteia aflată simultan în fază lichidă. Acest principiu este cunoscut în literatura de specialitate ca legea lui Henry. Această lege stabilește faptul că atunci când o substanță chimică volatilă (alcool) este dizolvată într-un lichid (sânge) și când este adusă în contact într-un spațiu închis, în care este prezent aer (aer alveolar) se formează rapid un echilibru caracterizat de un raport între concentrația compusului volatil în aer și concentrația sa în lichid (raport de partiție aer: sânge). Legea este valabilă la o valoare a presiunii și temperaturii bine precizate.

Se poate face următoarea comparație: plămânii sunt reprezentați de recipient, sângele din plămâni este ca lichidul din recipient și respirația este ca faza gazoasă de deasupra lichidului. În mod curent, valoarea de 2100:1 este folosită, de producătorii de analizoare de alcool din aerul alveolar expirat și de sistemul legislativ, ca valoare de partiție fixă, capabilă să evalueze cu precizie nivelul de alcool din respirație, deși numeroase studii efectuate de-a lungul anilor au arătat că utilizarea acestei valori poate conduce la erori.

Pentru a determina concentrația de alcool din organismul uman, cercetătorii au folosit sisteme complexe de analiză a alcoolului din fluide (sânge, urină, transpirație), din aerul expirat și din creier.

Necesitatea asigurării diseminării unității de măsură a concentrației de alcool etilic din aerul expirat, mg/L, către mijloacele de măsurare agreeate național și internațional, au impus elaborarea unor standarde și reglementări care impun parametri tehnici și funcționali sistemelor capabile să genereze amestecuri etalon care să simuleze prezența alcoolului etilic în concentrații și incertitudini de măsurare bine definite.

Astfel, Organizația Internațională de Metrologie Legală a elaborat un document OIML R 126: "Evidential breath analyzers", în care sunt prezentate cerințele tehnice și metrologice pe care analizoarele de alcool din aerul alveolar expirat – etilometrele - trebuie să le îndeplinească pentru ca valorile obținute prin măsurare cu ele să poată fi utilizate ca probă în instanță.

Același document, propune parametri tehnici și soluții constructive pentru standurile de testare a etilometrelor. În conformitate cu aceste prescripții, dispozitivul de testare, care este utilizat în laborator pentru verificarea analizatoarelor de alcool etilic din aerul alveolar expirat, trebuie să fie capabil să furnizeze amestecuri etalon cu concentrații masice analoge amestecului furnizat în timpul expirației.

Prepararea și conservarea în timp a etaloanelor de vapori de alcool etilic, în vederea asigurării trasabilității la INM a mijloacelor de măsurare a analizatoarelor de alcool din aerul alveolar expirat, este destul de complicată. În acest sens, specialiștii atât din sectorul de stat cât și din cel privat, au făcut primii pași în asigurarea diseminării la SI a unității de măsură (mg/L) de alcool etilic din aerul alveolar expirat.

Mijloacele de măsurare pe care le-am utilizat la diseminarea acestei unități de măsură au fost:

Etilometrul 7110 MK III Evidential RO, seria ARNC-0073, fabricație Dräger – Germania, cu Certificat de etalonare nr. 0347/14.10.2005, emis de EDN (Eichdurection Nord- Biroul de Metrologie Legală al landului Schleswig-Holstein și al orașului Hamburg), organism autorizat de Physikalisch -Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, cu trasabilitate asigurată PTB (Physicalisch Technische Bundesanstalt) – Germania

Sistem simulator de alcool în aerul expirat, fabricație ICIA- Cluj, tip SIVE – 01, nr. 001 /2005; Buletin de Măsurare nr. 05.03-002 / 2005;

A) Etilometrul tip ALCOLTEST 7110 MK III RO este un aparat de măsurare care se utilizează la efectuarea de măsurări legale ale concentrației de alcool etilic [7], prin analiza aerului alveolar expirat.

Etilometrul tip ALCOLTEST 7110 MK III RO măsoară concentrația de alcool prin analiza aerului alveolar expirat, utilizând fenomenul de absorbție a radiațiilor infraroșii într-un domeniu centrat pe lungimea de undă cu valoarea de 9,5 μm . Alegerea acestei lungimi de undă permite evitarea interferenței cu alte gaze sau vapori, cum ar fi: vapori de apă, acetona, dioxid de carbon, hidrocarburi, solvenți etc.

Din punct de vedere constructiv, aparatul este compus dintr-un ansamblu electronic cu dispozitiv de afișare și imprimare, o celulă de absorbție în infraroșu și un circuit de captare, vehiculare și condiționare a fluidului (aerul expirat), toate dispuse într-o carcasă, amplasată într-o cutie de transport.

Celula de absorbție în infraroșu cu reflexii multiple conține o sursă de IR și un receptor de tip fotoelectric. Reflexia se realizează prin intermediul a două oglinzi, în centrul cărora se află dispuse sursa și receptorul (precedat de un filtru optic). Celula de măsurare este încălzită la 40 $^{\circ}\text{C}$, pentru a evita condensarea vaporilor de apă.

Caracteristici metrologice: domeniul de măsurare: (0...3,0) mg/L alcool etilic în aerul alveolar expirat; exactitate de măsurare: 0,01 mg/L în modul normal de măsurare și 0,001 mg/L în modul control.

Unitățile de măsură pentru concentrația de alcool etilic utilizate în mediile științifice și în activitatea practică sunt: mg/L; $\mu\text{g/L}$; $\mu\text{g}/100\text{ mL}$; $\mu\text{g}\%$; g/210 L și ‰ .

Aparatul poate fi utilizat atât ca aparat staționar, alimentat de la rețea, cât și ca aparat portabil, alimentat de la bateria unui autovehicul

B) Standul de încercări

În vederea diseminării la SI a unității de măsură a concentrației de alcool în aerul alveolar expirat, a mai fost utilizat și un stand de încercare cu ajutorul căruia se poate efectua etalonarea etilotestelor, în vederea alinierii la normativele Uniunii Europene privitoare la acest domeniu.

Proiectarea și construcția standului de încercare a fost efectuată avându-se în vedere recomandările standardelor OIML R 126: "Evidential Breath Analyzers" și DIN VDE 0405: „Determination of Breath Alcohol Concentration”.

După efectuarea testelor asupra standului de etalonare a etilotestelor, care este produs de Institutul de Cercetări pentru Instrumentație Analitică (ICIA), Cluj Napoca prin contractul de cercetare nr. 4231 încheiat cu U.M.P. – CALIST, a fost emis de către Institutul Național de Metrologie "Buletinul de încercare nr. 05.03-002/2005".

Standul este un dispozitiv portabil destinat încercării și etalonării caracteristicilor tehnico-funcționale prevăzute în cartea tehnică a aparatelor de tip etilotest sau alcotest utilizate la determinarea alcoolemiei prin metoda măsurării concentrației vaporilor de alcool etilic din aerul alveolar expirat.

Aparatul generează un amestec de aer-vapori de alcool etilic cu concentrație prestabilă și având parametrii temperatură, presiune, debit, volum și durată, similar cu aerul alveolar expirat de un subiect uman supus testării cu un alcotest sau etilotest.

Aparatul este util pentru încercarea, etalonarea sau calibrarea periodică etilotestelor și alcotestelor.

Generarea unui amestec format din alcool etilic în soluție apoasă se obține prin introducerea unei cantități controlate de alcool etilic, de puritate cunoscută. Concentrația masică a alcoolului din soluție $C_{\text{H}_2\text{O}}$, determină, la echilibru, în conformitate cu legea Henry, o valoare proporțională de alcool în stare de vapori, prin barbotarea prin sistem a unui debit constant de aer. Concentrația finală a etanolului în aer C_{aer} , va avea valori date de formula Dubowski:

$$C_{\text{aer}} = 0,041\,445 \times 10^{-3} C_{\text{H}_2\text{O}} \times e^{0,065\,83 \times t}$$

unde t este temperatura soluției, exprimată în $^{\circ}\text{C}$; pentru $t = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_{\text{aer}} = 0,388\,66 \times 10^{-3} C_{\text{H}_2\text{O}}$.

Sistemul de generare a concentrației de alcool în aer trebuie să fie menținut la o temperatură constantă de 34 °C, cu o eroare maximă tolerată de $\pm 0,1$ °C.

Cantitatea de etanol exprimată în mL, care trebuie introdusă într-un litru de apă ce trebuie utilizată pentru a genera amestecuri etalon de alcool etilic în aerul alveolar, este dată de relația:

$$C_{H_2O} = C_{C_2H_5-OH} (g) / \rho_{C_2H_5-OH}, \quad mL$$

unde

- C_{H_2O} – cantitatea de etanol în soluție, mL;

$\rho_{C_2H_5-OH}$ - 0,789, g/mL;

$C_{C_2H_5-OH}$ - cantitatea de etanol, de puritate 99,8 %, cod K 22707783 608, lot 200-578-6, fabricație Merck.

În vederea preparării și analizei concentrațiilor de alcool etilic în aer, am utilizat următoarele mijloace de măsurare:

Măsură etalon primar de volum din sticlă de forma baloanelor cotate: max. 5000 cm³ ;

Pipetă cu piston monocanal, capacitate (10,0 \pm 0,2) mL;

Apă distilată.

3 Calcularea bugetului de incertitudini de măsurare a soluțiilor de alcool etilic din aerul alveolar expirat

Incertitudinile asociate concentrațiilor de alcool etilic din aer, preparate cu mijloacele de măsurare din dotarea INM, sunt datorate contribuției următorilor factori de influență:

- incertitudinea datorată seringii,
- incertitudinea datorată recipientului (1 L),
- incertitudinea datorată purității etalonului,
- incertitudinea datorată temperaturii de termostatare a sistemului simulator.

Pentru a determina contribuția fiecărei surse de incertitudine am prelucrat statistic rezultatele de măsurare obținute prin efectuarea unor serii repetate de măsurări ale parametrilor care pot genera incertitudine de măsurare sau au fost luate în calcul valorile prezentate de producători pentru mijloacele de măsurare respective [3-4].

3.1 Incertitudinea datorată seringii

În vederea stabilirii contribuției incertitudinii de măsurare datorată seringii din dotare, cu capacitatea de (0..10) mL, am efectuat 10 cântăriri ale unui volum de lichid de 4,60 mL H₂O, cu o balanță.

Tabelul 1 – Abaterea standard a masei de apă distilată

Valoarea convențional adevărată a masei de apă distilată g	Valoarea medie a masei de apă distilată g	Abaterea standard experimentală g
4,60	4,600 88	0,018 59

$$s^2 = 0,018 59^2 = 0,000 35 \text{ mL}^2$$

Incertitudinea de măsurare datorată prescripțiilor producătorului (10,00 \pm 0,02) mL :

$$u_{s1} = \frac{0,02}{\sqrt{6}} = 0,00816 \text{ mL}$$

Incertitudinea de măsurare datorată coeficientului de dilatare al apei :

$$u_{s2} = 10 \text{ (mL)} \cdot \frac{2.1}{10^{-4}} \cdot \frac{1(^{\circ}\text{C})}{\sqrt{3}} = 0,001 21 \text{ mL}$$

Incertitudinea standard compusă:

$$u_{C_seringa} = \sqrt{s^2 + u_{s1}^2 + u_{s2}^2} = \sqrt{0,00035^2 + 0,00816^2 + 0,00121^2} = 0,020336 \text{ mL}$$

$$V_{_seringa} = (4,60 \pm 0,02), \text{ mL}$$

3.2 Incertitudinea de măsurare datorată recipientului

Incertitudinea de măsurare din certificatul de etalonare (1 000,0 ± 0,5) mL :

$$u_{V1} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,57735 \text{ mL}$$

Incertitudinea de măsurare datorată coeficientului de dilatare al apei :

$$u_{V2} = 1000 \text{ (mL)} \cdot \frac{2.1}{10^{-4}} \cdot \frac{1(^{\circ}\text{C})}{\sqrt{3}} = 0,12124 \text{ mL}$$

3.3 Incertitudinea standard compusă:

$$u_{C_volum} = \sqrt{u_{V1}^2 + u_{V2}^2} = \sqrt{0,57735^2 + 0,12124^2} = 0,589944 \text{ mL}$$

$$V_volum = (1000,00 \pm 0,59) \text{ mL}$$

Calculul incertitudinii de măsurare pentru o concentrație de alcool în aerul alveolar expirat de 0,4 ‰ sau 0,190 mg/L (aer expirat)

a) Incertitudinea de măsurare datorată purității etalonului este sursă de incertitudine pentru concentrația alcoolului etilic din soluție. Etanolul utilizat a avut puritatea de 99,8 ‰. [3-6].

Incertitudinea de măsurare datorată purității etalonului este:

$$u_{\text{etalon}} = \sqrt{\left(\frac{1-0,998}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,001155 \text{ mL}$$

Matricea de calcul a incertitudinii de măsurare :

C_{etanol}	0,473400	$u_{\text{etanol, g}}$	0,016045		0,489445	0,473400	0,473400
Puritate, ‰	0,998	$u_{\text{purității}}$	0,001155		0,998	0,999	0,998
Volum, L	1	u_{volum}	0,000590		1	1	1,000590
$C_{0(\text{etanol/L})}$	0,472453	$u_{(\text{etanol/L})}$	0,016013	$C_{i(\text{etanol/L})}$	0,488466	0,473000	0,472175
				$C_0 - C_i$	0,016013	0,000547	-0,000279
				$(C_0 - C_i)^2$	0,000256	0,000000	0,000000
				$\sum(C_0 - C_i)^2$			0,000256

$$u_{(\text{etanol/L})} = \sqrt{\sum(C_0 - C_i)^2} = \sqrt{0,000256} = 0,016013 \text{ g/L}$$

Incertitudinea de măsurare a temperaturii este sursă de incertitudine pentru concentrația alcoolului etilic din aerul expirat.

Termostatul a fost fixat la (34,0 ± 0,1) °C.

$$u_{\text{termostat}} = \sqrt{\left(\frac{0,1}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,005774 \text{ mL}$$

$$C_{\text{aer}} = 0,041445 \times 10^{-3} C_{\text{H}_2\text{O}} \times e^{0,06583 \times t}; \quad C_{\text{aer}} = 0,38866 \times 10^{-3} C_{\text{H}_2\text{O}}$$

unde t este temperatura soluției, exprimată în °C; pentru $t = 34$ °C,

Matricea de calcul a incertitudinii de măsurare:

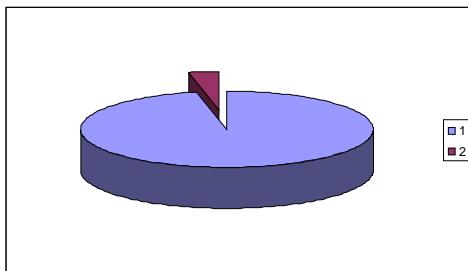
$C_{0(\text{etanol/L})}$	0,472 453	u_{solutie}	0,016 013		0,488 466	0,472 453
$T, ^\circ\text{C}$	34	$u_{\text{temperatura}}$	0,005 774		34,00	34,01
$C_{0(\text{etanol/Laer})}$	0,183 624	$u_{\text{etanol/Laer}}$	0,006 224	$C_{i(\text{etanol/Laer})}$	0,189 848	0,183 694
‰	0,39	Index, %	3,39	$C_0 - C_i$	0,006 224	0,000 070
		$U (k=2)$	0,012 448	$(C_0 - C_i)^2$	0,000 039	0,000 000
				$\sum(C_0 - C_i)^2$		0,000 039
				Index, %	99,99	0,01

$$u_{(\text{etanol/Laer})} = \sqrt{\sum(C_0 - C_i)^2} = \sqrt{0,000 039} = 0,006 224 \text{ mg/L}$$

Concentrația de alcool etilic la litru de aer expirat este:

$$C = (0,183 624 \pm 0,006 224) \text{ mg/L, sau}$$

$$C = (0,184 \pm 0,006) \text{ mg/L}$$



- 1 – concentrația de alcool în aerul expirat
- 2 – incertitudinea asociată

4 Stabilitatea în timp a soluției

Stabilitatea în timp a soluției pentru 0,4 ‰, reprezentând $(0,184 \pm 0,006) \text{ mg/L}$, la o temperatură de $34 ^\circ\text{C}$, după 30 de măsurări:

Tabelul 2 Eroare tolerată. Recuperare

$C_o,$ mg/L	$C_i,$ mg/L	$\delta,$ mg/L	R	$\delta_{\text{rel}},$ mg/L
0,184	0,185; 0,185; 0,185;	0,001; 0,001; 0,001;	0,992; 0,992; 0,992;	±0,009
	0,184; 0,184; 0,185;	0,000; 0,000; 0,001;	0,997; 0,997; 0,992;	
	0,184; 0,184; 0,184;	0,000; 0,000; 0,000;	0,997; 0,997; 0,997;	
	0,184; 0,184; 0,184;	0,000; 0,000; 0,000;	0,997; 0,997; 0,997;	
	0,184; 0,184; 0,184;	0,000; 0,000; 0,000;	0,997; 0,997; 0,997;	
	0,184; 0,184; 0,184;	0,000; 0,000; 0,000;	0,997; 0,997; 0,997;	
	0,183; 0,183; 0,183;	-0,001; -0,001; -0,001;	1,003; 1,003; 1,003;	
	0,183; 0,183; 0,183;	-0,001; -0,001; -0,001;	1,003; 1,003; 1,003;	
	0,183; 0,182; 0,182;	-0,001; -0,002; -0,002;	1,003; 1,008; 1,008;	
	0,182; 0,182; ;0,181	-0,002; -0,002; -0,003	1,008; 1,008; 1,014	

unde:

C_o valoarea convențional adevărată a concentrației de alcool etilic preparată, mg/L

C_m valoarea medie a concentrației de alcool etilic măsurată

δ eroarea intrinsecă a concentrației de $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ din amestecul etalon, mg/L

δ_{rel} eroarea tolerată a concentrației de $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ din amestecul etalon, mg/L

R recuperarea soluției preparate

E_n scor pentru exactitate

$s(w)$ abaterea standard experimentală

$s(w)_{\text{rel}}$ abaterea standard relativă.

$$R = \frac{C_m}{C_0}; \quad C_{cor} = \frac{C_m}{R}; \quad E_n = \frac{C_m - C_o}{\sqrt{s_{(w)}^2 + u_{MR}^2}}$$

Tabelul 3: Abaterea standard experimentală

C_m	$s(C)$	$s(C)rel$	R	$s_R(C)$
0,184	0,001	0,549	1,000	0,006

Matricea de calcul a incertitudinii de măsurare:

			C_m	0,184	0,185	0,184
			C_o	0,184	0,184	0,190
			<i>formula</i>	0,997	1,003	0,966
			<i>dif</i>		-0,005	0,037
			<i>dif^2</i>		0,000	0,001
R	$s_R(C)$	RSU, %	<i>sum(dif^2)</i>			0,001
1,000	0,006	3,74	index		0,02	0,980

Tabelul 4: Concentrația corectată și incertitudinea asociată

C_0	0,184	0,006	u_{RM}	
C_m	0,184	0,001	$s(C)$	
R	1,000	0,006	$s_R(C)$	u_c^2
C_{cor}	0,184	0,001	U_{Ccor}	0,006

$E_n = 0,08$

Bibliografie

1. *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*, first edition, 1995, ISO, BIPM, IEC, IFCC, IUPAC, IUPAP, OIML (published by ISO)
2. *Eurachem/CITAC Guide, "Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement"*, 2nd edition 2000, Published by LGC, UK
3. *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM)*, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, OIML. Published by ISO, Geneva, Switzerland, 2nd ed., 1993
4. OIML R 126: "Evidential breath analyzers", OIML, 1998
5. DIN VDE 0405, "Determination of Breath Alcohol Concentration", 1995
6. A.Slemeyer, "A Depletion Compensated Wet Bath Simulator For Calibrating Evidential Breath Alcohol Analyzers", University of Applied Science of Giessen
7. A.Slemeyer, "Calibrating Gas Generator", University of Applied Science of Giessen, 1998
8. Johannes Lagois, Jürgen Sohège, "Breath Alcohol testing Dräger Alcotest 7410 Plus RS", Dräger Review, 2003

• Prezentată în data de 25 aprilie 2006; acceptată în data de 30 mai 2006

• Revizia științifică : dr. ing. Mirella Buzoianu



Mirela ANGHEL

- Absolventă a Universității din București, Facultatea de Fizică, secția Fizica Corpului Solid, 1996
- Absolventă a Universității din București, Facultatea de Fizică, Studii Aprofundate, Secția Metrologie, 1998
- Angajată a Institutului Național de Metrologie, Colectiv Concentrație Gaze, 1996
- Cercetător principal III, Colectiv Concentrație Gaze, 2006