

# CALITATEA AERULUI INTERIOR

Conferentiar dr. ing. Andrei DAMIAN

UTCB - Facultatea de Instalatii Bucuresti,  
Catedra de instalatii hidraulice, termice si protectia atmosferei

Studii recente arată că în societatea tehnologică de astăzi, oamenii petrec 90% din timpul lor în spații închise (acasă, în birouri, mijloace de transport etc). De aici apare necesitatea controlului calității aerului în spațiile închise. Ca și pentru evitarea poluării exterioare, se pune problema respectării unor concentrații admise. Problema începe cu identificarea surselor, operație deloc ușoară deoarece s-au identificat aproximativ 8000 de substanțe chimice care contaminează spațiile interioare. Stabilirea concentrațiilor admise este o altă etapă cel puțin la fel de dificilă deoarece lipsesc studiile privind efectele acestor contaminanți asupra sănătății oamenilor.

Principalele surse de poluare interioară (în spații de locuit, comerciale, birouri etc) sunt date în tab. 5, iar concentrațiile admise ale principalilor poluanți interiori în tab.6.

Se vor studia șase dintre cei mai importanți poluanți interiori: bioxidul de carbon, fumul de țigară, formaldehida, radonul, azbestul și particulele biogenice. La aceștia se vor adăuga mirosurile și umiditatea, care au un efect semnificativ în spațiile dens ocupate.

Bioxidul de carbon din încăperi provine din respirație, ardere, etc.

Debitul de CO<sub>2</sub> rezultat din expirație, depinde de metabolism așa cum exprimă relația:

$$G = 4 \cdot 10^{-5} M S_c \text{ (l/s)}$$

unde M este metabolismul specific (W/m<sup>2</sup>)

S<sub>c</sub> - suprafața corpului (poate fi considerată în medie de 1.8 m<sup>2</sup>).

Aerul expirat conține CO<sub>2</sub> în proporție de 4,4% din volum. Deoarece bioxidul de carbon nu poate fi filtrat, absorbit sau adsorbit în interiorul încăperilor, măsurarea concentrației de CO<sub>2</sub> permite să se caracterizeze starea aerului interior.

În conformitate cu unele standarde, concentrația admisă de CO<sub>2</sub> la interior este de 0,5%, deși la concentrații mai mici sunt cazuri de dureri de cap și de disconfort. În tabelul 7 sunt date debitele de aer proaspăt pe persoană ce corespund unei concentrații interioare admise de CO<sub>2</sub> de 0,5%, dacă la exterior concentrația este de 0,04%, pentru diferite valori ale metabolismului.

Tabelul 5. Surse de poluare în interiorul încăperilor

Poluant	Sursă	Conc. posibilă	C <sub>i</sub> /C <sub>e</sub> ( <sup>1</sup> )	Domeniu
CO	combustie, motoare	100ppm	>>1	birouri, mașini, locuințe, magazine,

<sup>1</sup> Concentrație la interior/ concentrație la exterior; VN - valoare neprecizată până în prezent

particule respirabile	țigări,spray-uri, gătit,condensare volatile,sobe	100 - 500mg/m3	>>1	locuințe, baruri, restaurante, mașini, birouri
vapori organici	solvenți, pesticide, spray-uri, combustie	VN	>1	locuințe, birouri, spații publice, restaurante, spitale
NO <sub>2</sub>	combustie, aragaz, uscătoare, motoare, țigări	200 - 1000mg/m3	>>1	locuințe
SO <sub>2</sub>	încălzire	20mg/m3	<1	spații încălzite
toți aerosolii (fără tutun)	combustie, instalații de încălzire	100mg/m3	1	locuințe, birouri, transport, restaurante
sulfați	chibrite, aragaze	5mg/m3	<1	bucătării
form-aldehidă	izolații, finisaje, mobilier	0.005 - 1.0ppm	>1	locuințe, birouri
radon	materiale de construcții, pânza freatică, sol	0.1 - 30nCi/m3	>>1	locuințe, birouri
azbest	materiale rezistente la foc	10 <sup>6</sup> fibre/m3	1	locuințe, școli, birouri
Fibre	îmbrăcăminte, covoare, lemn	VN	-	locuințe, școli, birouri
CO <sub>2</sub>	combustie, oameni, animale de casă	3000ppm	>>1	locuințe, școli, birouri
organisme vii	oameni, animale de casă, insecte, plante, fungi, umidificatoare, climatizoare	VN	>1	locuințe, spitale, școli, birouri, spații publice
ozon	arc electric, surse luminoase (raze UV)	0.02ppm 0.2ppm	<1 >1	avioane birouri

Tabelul 6. Concentrații recomandate (aer interior)

Poluant	Aer interior				Situatii profesionale	
	termen lung		termen scurt			
	C mg/m3	timp de mediere (ani)	C mg/m3	timp de mediere (h)	C mg/m3	timp de mediere (h)
SO <sub>2</sub>	80	1	365	24	13	8
PRAF	75	1	260	24	5	8

CO	-	-	10 <sup>4</sup>	8	55	8
ozon	-	-	235	1	0.2	8
hidrocarburi	-	-	160	3	-	-
HCHO	-	-	-	-	0.12	cont <sup>2</sup>
NO <sub>2</sub>	100	1	-	-	9	inst <sup>3</sup>
NO	-	-	-	-	30	8
NH <sub>3</sub>	500	1	7000	-	-	-
dicloretan CH <sub>3</sub> CHCl <sub>2</sub>	2000	24h	6000	0.5	-	-
etylacetat CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	14000	24h	42000	0.5	-	-
tricloretilen CH <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub>	2000	1	16000	0.5	-	-
Hg	2	24h	-	-	-	-
Pb	1.5	0.25	-	-	-	-
RADON	0.015WL	1	-	-	1WL	inst <sup>4</sup>
acetona CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	7000	24h	24000	0.5	-	-

Tabelul 7. Debite de aer proaspăt pentru diluarea CO<sub>2</sub>

Activitate	Metabolism	Debit de aer necesar pentru respirație	Debit de CO <sub>2</sub> expirat	Debit de aer proaspăt corespunzător pentru diluarea CO <sub>2</sub> la C <sub>adm</sub>	
				il/sș (a)	m <sup>3</sup> /h
Stând liniștit	100	0.1	15.84	0.8	valorile (a) x 3.6
Muncă ușoară	160 – 320	0.2 - 0.3	31.7- 47.5	1.3 - 2.6	
Muncă moderată	320 - 480	0.3 - 0.5	47.5 - 79.2	2.6 - 3.9	
Muncă grea	480 – 650	0.5 - 0.7	79.2 – 110	3.9 - 5.3	
Muncă foarte grea	650 - 800	0.7 - 0.9	110 - 142	5.3 - 6.4	

<sup>2</sup> continuu

<sup>3</sup> instantaneu

<sup>4</sup>

Pentru comparație cu datele din literatura românească, debitele de aer proaspăt pe persoană, calculate corespunzător concentrațiilor recomandate în lucrările de specialitate rezultă de 13 l/s pentru stare de repaus și 25 l/s pentru muncă fizică (corespunzătoare la degajări de CO<sub>2</sub> de 23 l/h, respectiv de 45 l/h și la concentrații de 0.5 l/m<sup>3</sup> la exterior și 1 l/m<sup>3</sup> la interior). Compararea debitelor degajărilor de CO<sub>2</sub> arată valori apropiate dar concentrația maximă admisă este de 5 ori mai mare în literatura străină. Valoarea maximă a debitului de aer proaspăt din tabelul de mai sus, de 6.4 l/s = 23 m<sup>3</sup>/h corespunde recomandărilor noastre care indică 20 - 30 m<sup>3</sup>/h.pers.

Fumul de țigară produce un miros neplăcut nefumătorilor iar anumiți constituenți, de exemplu acroleina, poate produce iritări ale ochilor și căilor nazale. Alți efluenți printre care nicotina, CO și gudronul au efecte serioase asupra sănătății. S-a studiat recent că fumatul pasiv poate duce la cancer pulmonar. Debitul de aer proaspăt recomandat este variabil de la un studiu la altul, media fiind de 7 l/s (25,2 m<sup>3</sup>/h) pentru un fumător, în plus față de debitul necesar pentru diluarea altor poluanți (debitul este recomandat pentru un fumător mediu, care fumează 17 țigări în 13 ore ale zilei).

La proiectarea instalațiilor de ventilare pentru încăperi publice (teatre, restaurante, etc) se pot considera date statistice privind procentul de fumători.

Formaldehida (HCHO) este o substanță foarte prezentă în lumea tehnologică de astăzi, fiind utilizată pentru conservarea produselor cosmetice și de toaletă și pentru ambalarea produselor alimentare, în concentrații până la 1%. Aproape jumătate din formaldehida produsă este utilizată pentru fabricarea de rășini, uree și fenol-formaldehydă folosite apoi ca adezivi sau ca lianți pentru crearea produselor din lemn aglomerat sau placaje, pentru spume izolante și pentru produse de ambalaj. Polimeri ai formalhidei sunt utilizați de asemenea în fabricarea hârtiei de tapet, a mochetelor și a produselor textile. Fumul de țigară conține cca 40 ppm formaldehydă.

Măsurile de conservare a energiei au condus la creșterea importantă a folosirii spumelor poliuretanică, cu calități izolante superioare altor produse (coeficient mic de conductivitate termică și mularea ușoară după diferite forme).

Tabelul 8. Emisii de formaldehydă în încăperi

Material	Emisie [mg/(h*m <sup>2</sup> )]
Scânduri din aschii aglomerate	0.46 - 1.69
Scânduri din celuloză comprimată	0.17 - 0.51
Plăci de ipsos pentru tencuială	0 - 0.13
Hârtie tapet	0 - 0.28

Emisia de formaldehydă din spume (unde minim 0,5% din greutate este formaldehydă liberă), se caracterizează printr-un maxim, după care degajarea continuă la un nivel scăzut. Acest proces este datorat degajării inițiale a

formaldehidei libere și a methylolului după care continuă emisia de formaldehidă ce produce degradarea polimerului. În tab. 8 sunt date emisiile de formaldehidă pentru diferite produse utilizate în încăperi, obținute prin teste în tunele de aer.

Formaldehida pătrunde în corp prin respirație, prin piele sau poate fi ingerată. Odată pătrunsă în corp, formaldehida reacționează cu țesuturile care conțin azot, sub formă de amino-acizi, proteine ADN ș.a., formând compuși stabili sau instabili care afectează țesuturile. Formaldehida este un produs foarte iritant care produce o serie de simptome care depind de durata de expunere și de concentrație. Experimentele pe animale au arătat efecte cancerigene și se constată că prezintă un risc de carcinogeneză și pentru oameni.

Concentrația de formaldehidă în încăperea depinde de suprafața de emisie A, de volumul de aer al încăperii V, numărul de schimburi de aer N, precum și de temperatură, umiditate și de vârsta sursei. Se recomandă relația:

$$c = A E / (\rho N V)$$

unde ; E - debitul de emisie [mg/(m<sup>2</sup> .h)], ρ - densitatea aerului [kg/m<sup>3</sup>]

Relația presupune că nu există vapori de formaldehidă în încăperea (deci presiunea lor parțială este nulă); de aceea formula nu este valabilă când N ⇒ 0, când se realizează un echilibru între vaporii din încăperea și cei care se degajă, iar debitul de emisie devine egal cu zero.

O altă situație extremă este pentru un debit de aer infinit, când emisia este maximă, iar concentrația interioară devine egală cu cea a aerului exterior.

Pentru un debit de aer moderat, se poate produce o micșorare a debitului sursei, astfel încât creșterea numărului de schimburi nu duce la o scădere proporțională a concentrației, ci la o scădere mai mică, datorită creșterii debitului de emisie.

Standardele de ventilare propun o concentrație limită de formaldehidă de 0.1ppm. Această valoare a fost fixată ținând seama de efectele iritative, dar nu poate garanta protecția sănătății mai ales a celor sensibili sau sensibilizabili. Sunt necesare studii asupra riscului prezentat de formaldehidă, în particular în cazul efectului de durată.

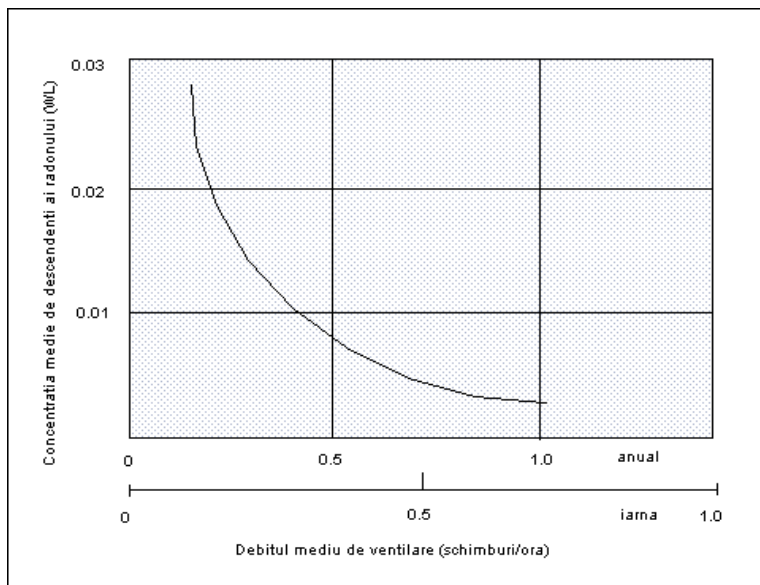
Radonul este un gaz radioactiv care se găsește în stare naturală și care rezultă din dezintegrarea radiului, prezent în cantități mici în pământ și în materialele de construcții. Radonul produce și el prin dezintegrare două produse cu perioadă mică de înjumătățire, <sup>222</sup>Rn și <sup>220</sup>Rn care emit particule alfa. Radonul emis în încăperea care produce particule alfa, nu este dăunător sănătății, deoarece pătrunde puțin în țesuturi. Inhalat însă, radonul are efecte foarte dăunătoare datorită distrugerii pleurii și în final, riscului crescut de producere a cancerului pulmonar. Cele două produse de dezintegrare ale Rn se pot ioniza și pătrunde împreună cu particulele de praf în plămâni. Cercetări privind riscul relativ de îmbolnăvire, făcute prin supravegherea personalului care lucrează în minele de uraniu au arătat că la o expunere de o viață (70 ani) la 36 WLM, riscul de cancer pulmonar este 14 - 36%.

Concentrația de Rn se măsoară în picocurie/l (pCi/l) sau bequereli/m<sup>3</sup> (1 pCi/l = 37 Bq/m<sup>3</sup>). Concentrația produselor de dezintegrare a Rn se măsoară în unități WL (working level). WL este definit ca fiind expunerea într-o atmosferă cu

produse de dezintegrare a Rn, într-o proporție oarecare, astfel încât emisia totală de particule alfa, până la dezintegrare totală este de  $1.3 \cdot 10^5$  MeV pe litru de aer. 1WL = 100 pCi/l. Efectul expunerii asupra sănătății este evaluat în WLM (working level month) care este definit ca expunerea la 1WL timp de 170h. Expunerea continuă la 1WL, timp de un an (8760h) corespunde la o expunere de 51 WLM.

Concentrația de Rn în clădiri depinde de poziția clădirii, a apartamentului, de materialele de construcție utilizate. Studii făcute pe 403 case din SUA au condus la o valoare medie de 0.0066WL pentru parter și 0.0127WL pentru subsol. Alte studii în Marea Britanie, conduc la o concentrație de radon în aerul din living room cuprinsă între 0.0016 - 0.0471WL. Valoarea depinde de numărul de schimburi/h.<sup>4</sup>

Fig.2 Variația concentrației de radon cu debitul de aer proaspăt



Concentrația admisă pentru produsele de dezintegrare ale Rn, luată în calcule este de 0,01WL. In Suedia, limita admisă de expunere la Rn este de 70 Bq/m<sup>3</sup> sau 0,019WL.

Variația concentrației de produse de desintegrare ale Rn în funcție de numărul de schimburi orare de aer este dată în fig.2. Pentru o concentrație limită de 0,01WL corespund 0,5 sch/h..

Mirosul este asociat cu aglomerația, deșeurile, gătitul, baia etc. iar efectele lui au mai curând legătură cu confortul decât cu sănătatea.

Simțul mirosului permite detectarea unor concentrații foarte mici, dar sensibilitatea oamenilor este foarte diferită. S-a constatat că persoanele care sunt expuse mult timp pierd din sensibilitate.

Mirosul corpului este datorat glandelor sebacee, transpirației și sistemului digestiv. Diluarea mirosului la un nivel acceptabil se face prin introducerea de aer proaspăt; Yaglou a arătat pe baza testării la bioefluenți că intensitatea percepției mirosului de către oameni care intră de afară în încăperi ocupate descrește cu logaritmul debitului de aer proaspăt (fig.3). In această figură se vede că pentru o intensitate moderată a mirosului (indice 2), pentru un grad de ocupare de 5,7 m<sup>3</sup>/pers, debitul de aer proaspăt trebuie să fie de 7,6 l/s pentru adulți și 9,9 l/s pentru copii (7-14 ani).

<sup>4</sup> raportul dintre debitul de aer de ventilare exprimat în m<sup>3</sup>/h și volumul încăperii

Fig.4 arată dependența stabilită de Yaglou între gradul de ocupare a încăperii ( $m^3/pers$ ) și debitul de aer proaspăt, pentru o intensitate medie de percepție a bioefluenților. (Testele au fost făcute pentru încăperi de 3m înălțime).

Fig.3 Intensitatea percepției mirosului funcție de debitul de aer proaspăt. 1-mică, 2-moderată, 3-puternică, 4-foarte puternică

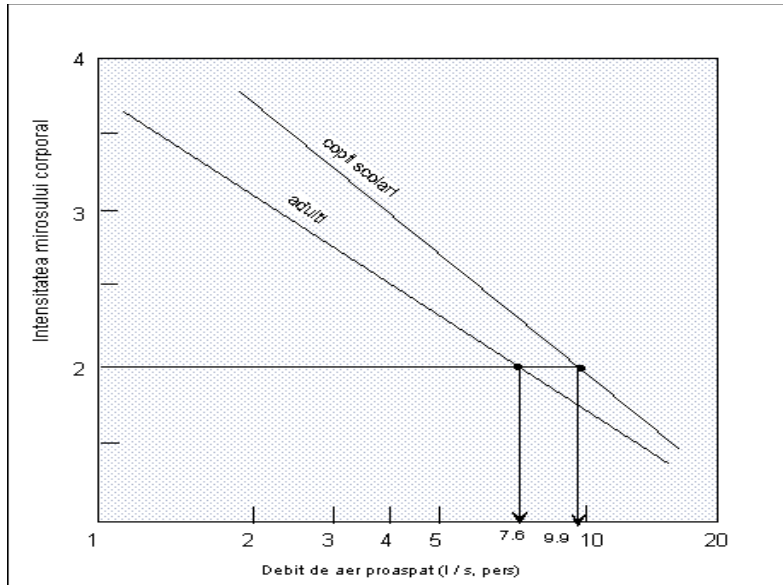
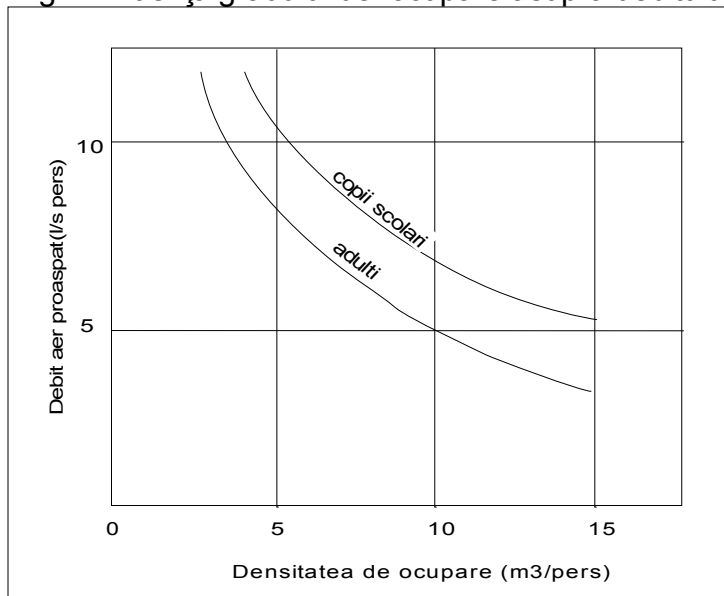


Fig.4 Influența gradului de ocupare asupra debitului de aer proaspăt



Cercetări recente ale profesorului Fanger permit o apreciere a calității aerului interior poluat cu substanțe odorante. Principiul este asemănător cu cel stabilit de același cercetător pentru aprecierea stării de confort termic: răspunsul ocupanților, prelucrat și interpretat statistic.

Intre intensitatea mirosului percept "s" și concentrația substanței odorante C (ppm), s-a scris o relație de tip putere:  $s = k C^n$

Unitatea de măsură pentru intensitatea mirosului percept este arbitrară. Se adoptă o scară a intensității prin comparație cu un miros particular, de exemplu cel al butanolului sau prin raportare la diferite concentrații.

Exponentul n variază în funcție de substanță, cu valori între 0.2 și 0.7.

Valorile n și k sunt stabilite cu ajutorul olfactometrelor.

Se apreciază că în clădirile civile, principala sursă de poluare o constituie bioefluenții umani. Fanger a introdus ca unitate de măsură a emisiei, olful.

1 *olf* este definit ca emisia de bioeflenți a unei persoane standard, cu un metabolism de 1 met (stare de repaus). Această unitate de măsură este subiectivă, depinzând de simțul olfactiv al celui care apreciază. Ea poate fi utilizată și pentru alte surse de poluare, care sunt apreciate cu o valoare în olfi, egală cu numărul de persoane standard care produc aceeași senzație de miros neplăcut. Emisia unei persoane care desfășoară diferite activități este dată în tabelul 9.

Intensitatea percepută a poluării aerului de către o persoană standard (deci a unei surse de 1 olf), aflată într-un spațiu ventilat cu 1 l/s este de 1 *pol*. Ca unitate derivată se folosește 1 decipol (0.1 *pol*), care reprezintă poluarea resimțită a unei persoane standard, ventilată cu un debit de aer proaspăt de 10 l/s.

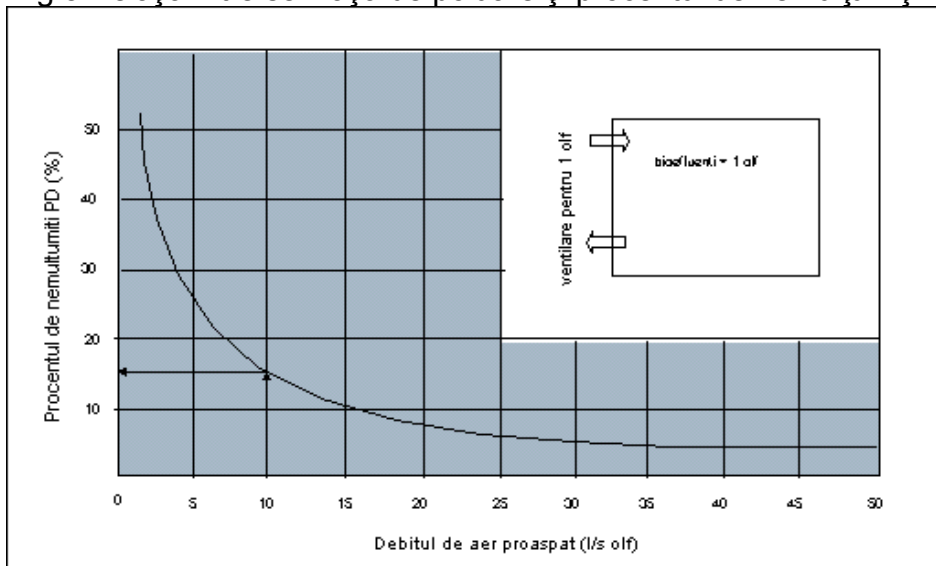
Tabelul 9. Emisia de bioefluenți pentru diferite activități.

Activitate	Emisie (olf)
Stare de repaus (1 met)	1
Activitate normală (4 met)	5
Activitate intensă (6 met)	11
Fumător (în timp ce fumează)	25
Fumător (medie)	6

Pentru a stabili relația dintre calitatea aerului interior și ventilarea încăperilor, Fanger a făcut studii folosind un lot de 1000 de persoane, bărbați și femei, aflați într-o încăpere test, în stare de repaus. Calitatea aerului a fost apreciată ca acceptabilă sau inacceptabilă de către 168 de persoane, imediat după intrarea lor în încăpere. Relația stabilită între procentul de insatisfacție PN și debitul de aer specific  $q(l/s \cdot olf)$  a rezultat:

$$PN = 395 \exp(-1.83 q^{0.25})$$

Fig. 5 Relația între senzația de poluare și procentul de nemulțumiri





Relația este aplicabilă pentru  $q > 0.32 \text{ l/s*olf}$  și este reprezentată în fig.4. Se observă de exemplu că pentru un debit de aer proaspăt de  $10 \text{ l/s*olf}$ , 15% din persoane s-au declarat nemulăumite de calitatea aerului interior.

Dacă în locul debitului de aer specific se introduce intensitatea percepției poluării P (decipol), se obține:

$$PN = 395 \exp(-3.25 P^{-0.25})$$

Această relație este reprezentată grafic în fig.5.

Folosind mărimile care exprimă emisia de poluanți (olf) și senzația de intensitate a poluării (decipol), ecuația de bilanț a încăperii poate fi scrisă:

$$P_i = P_e + 10 C/q$$

unde:  $P_{i(e)}$  - intensitatea percepută a poluării interioare, respectiv exterioare (decipol),

C - emisia de poluant (olf),

q - debitul de aer proaspăt (l/s).

Rezultă debitul q:

$$q = 10 C / (P_i - P_e)$$

Această relație permite determinarea debitului de aer proaspăt corespunzător unui procent PN de nemulțumiți (normele ASHRAE recomandă PN=20% deci  $P_i = 1,4$  decipol), calculând intensitatea percepută a mirosului la interior, corespunzătoare lui PN:

$$P_i = 112 / (5,98 - \ln PN)^4$$

Trebuie menționat că debitul de aer proaspăt calculat astfel, corespunde unui amestec perfect dintre aerul introdus și cel interior. Pentru o eficiență E a sistemului de ventilare diferită de 1, debitul de aer proaspăt se va determina cu luarea în considerație a eficienței E a sistemului:

$$q = 10 C / E * (P_i - P_e)$$

Orientativ, E=1 pentru a circulație a aerului în încăpere, de tip piston.

Pentru aprecierea concentrației de poluant, pe lângă efluenții ce provin de la persoane trebuie adăugați alți efluenți ce provin de la materialele de construcție, de la mobilier, etc.

Pe baza unor cercetări realizate în 15 clădiri administrative, Fanger a stabilit valorile emisiei de poluanți din tabelul 10 care corespund unei densități de ocupare a spațiului de  $0.1 \text{ pers/m}^2$ .

Tabelul 10.

Sursa de poluare	Emisia (olf/m <sup>2</sup> )
Persoane ( $0.1 \text{ pers/m}^2$ )	
- nefumători sau fumători < 20%	0.1
- 40% fumători	0.2
- 60% fumători	0.3

Materiale de construcție și instalații	
- clădiri vechi	0.4
- clădiri puțin poluate	0.1
Emisii totale	
- media clădiri existente (40% fumători)	0.7
- clădiri puțin poluate, fără fumători	0.2

Aplicarea teoriei profesorului Fanger conduce la debite de aer proaspăt foarte mari. În tabelul 11 sunt date comparativ valorile indicate de cele mai cunoscute standarde internaționale și cele calculate cu relațiile de mai sus, aplicate pentru PN=20% și pentru o emisie medie de 0.7 olf/m<sup>2</sup>.

Datorită implicațiilor energetice deosebite ce rezultă din aplicarea teoriei prezentate, dar în același timp, neputând nega valabilitatea acestei teorii, validată printr-o serie de experimente, se impun măsuri de reducere a emisiilor interioare. Este posibil ca interdicția de a fuma în spații publice în SUA să fie, măcar parțial, un rezultat al acestor cercetări.

Tabelul 11. Debitul de aer proaspăt recomandat de diferite standarde internaționale.

Standarde sau recomandări	Debitul aer proaspăt (l/s*m <sup>2</sup> )
Teoria Fanger	5.0
Standard ASHRAE 62-1989	0.7
Standard englez BS 5925	1.3
Standard german DIN 1946 pentru birouri mari	1.9