

## 4

POLUAREA FONICĂ. MĂSURI ȘI TEHNOLOGII DE  
REDUCERE A POLUĂRII FONICE**OBIECTIVE:**

- Expunerea problematicii ce intervine în poluarea fonică
- Înțelegerea conexiunii poluare-depoluare fonică
- Măsurare și combatere a poluării fonice

**Termeni cheie:**

- *nivel sonor*
- *energie acustică*
- *nivel de presiune acustică*
- *nivel acustic echivalent continuu (Leq)*
- *vibrații mecanice industriale*
- *prevenirea și reducerea poluării sonore*
- *bel-decibel*
- *sonometru*
- *dozimetru*
- *ecran anti-zgomot*

**4.1. Necesitatea și importanța reducerii poluării fonice**

*Poluarea fonică (sonoră)* reprezintă o componentă importantă a poluării mediului înconjurător și prin caracterul nociv și prin prezența sa în toate compartimentele vieții moderne, poluarea sonoră constituie o problemă majoră pentru toate țările dezvoltate economic sau în curs de dezvoltare [1-5]. *Poluarea fonică* reprezintă agresiunea continuă, determinată de diferite zgomote produse de mașini, utilaje, aparatură industrială sau casnică, în incinta construcțiilor sau în afara acestora, zgomote favorizate de modul de amplasare și izolare constructivă a acestora.

În România există o tendință, care de altfel se manifestă și pe plan mondial, de creștere a nivelului de zgomot și de producere a vibrațiilor, ale căror surse apar odată cu dezvoltarea impetuoasă a tuturor ramurilor economiei și transportului.

Unul din factorii perturbatori ai mediului, care influențează ambianța în care se desfășoară activitatea și viața omului este zgomotul asociat și identificat, în general, cu *poluarea fonică (acustică sau sonoră)*.

\*

\* \*

În Europa, peste 80 de milioane de oameni trăiesc în zone în care zgomotul depășește 65 dB cauzând în majoritatea cazurilor surzenia.

Toate statele membre al CE au clasificări similare în ceea ce privește sursele de poluare fonică, datorate activităților umane: trafic rutier, feroviar, aerian, industrie, activitățile de construcții, activitățile recreative, echipamentul de întreținere (grădinărit) ș. a.

Raportul *WHO (World Health Organization)* 2000 “Criteriul de sănătate ambientală-Zgomotul comunitar” arată că zgomotul poate avea reacții adverse producând tulburări de somn, efecte cardiovasculare, perturbații psihice, interferate cu surzenie.

\*

\* \*

Recent, în Austria, s-a constatat că:

- 78% de locuințe sunt afectate de trafic, marea majoritate de cel auto, alte ceva mai mult de
- 5% de cel feroviar și alte 5% de cel aerian. [www.bmu.gv.at].
- 10% din locuințe suferă pe seama așezării în vecinătatea așezării în vecinătatea unor obiective industriale;
- locuitorii altor 6,5% din locuințe suferă pe seama zgomotelor provocare de vecini.

În condițiile civilizației contemporane, omul este supus unei agresiuni practic contiuue, determinată de diferite zgomote produse de mașini, utilaje, utilaje, aparate casnica sau industriale, de însăși activitatea oamenilor (mult mai “concentrații” ca număr pe unitatea de suprafață decât în trecut) zgomote favorizate de modul de amplasare a surselor și de modul de construcție a clădirilor și locuințelor. Efectul acestei agresiuni se manifestă în principal prin stress, eventual prin diminuarea sau chiar pierderea capacității auditive. Toate acestea reprezintă în fond o degradare a amediului natural și ca atare pot fi denumite “poluare sonoră” (fonică).

\*

\* \*

În cazul străzilor, contribuția cea mai mare la poluarea sonoră o au autovehiculele, echipate cu motoare de ardere internă care constituite surse de zgomot, de la admisia aerului, combustie, funcționarea sistemului de răcire, evacuare gazelor arse (nivelul de zgomot cel mai ridicat). Zgomotul produs are tării diferite în funcție de regimul de rulare (pornire, mers în gol, mers cu viteză în treapta I, II< demaraj rapid de pe loc). S-a stabilit ca cele mai zgomotoase mașini sunt cele cu răcire cu aer și dotate cu motoare foarte puternice; cea mai mică variație a nivelului de zgomot se constată la rularea cu viteza constanta de 50 Km/h și cea mai mare, la demarajul rapid de pe loc. Pentru reducerea nivelului de zgomot, In diferite țări s-au introdus niveluri limită, a căror depășire implică retragerea permisului de înmatriculare al mașinii.

#### 4.2. Zgomotul și vibrațiile industriale. Generalități

*Sunetul* reprezintă o vibrație a particulelor unui mediu capabilă să producă o senzație auditivă. Sunetul se propagă sub formă de unde elastice numai în substanțe (aer, lichide și solide) și nu se propagă în vid. În aer, viteza de propagare este de 340 m/s [2].

Ca orice unde elastice, sunetele *se caracterizează prin frecvență*, definită ca număr de oscilații complete dintr-o unitate de timp. Se măsoară în Hertz, 1 Hz fiind o perioadă/s (perioadă fiind timpul, în secunde, în care are loc o oscilație completă).

Urechea umană percepe sunetele cu frecvențe de la 16 Hz (sunetele joase) la 20 000 Hz (sunetele înalte). Sunetele sub 16 Hz se numesc *infrasunete sau trepidații*, iar cele peste 20000 Hz – *ultrasunete*. Sensibilitatea maximă a urechii umane este pentru domeniul 2000 – 5000 Hz.

Sunetele se pot *caracteriza și prin presiunea acustică*, măsurată în Pa (Pascal, 1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>). *Belul* este o unitate de măsură logaritmică a raportului dintre două intensități sonore sau electromagnetice (belul este un omagiu adus în 1925 lui Graham Bell, pionerul telefonului). Pentru sunete intense se lucrează cu valori foarte mari și de aceea s-a adoptat o altă unitate, decibel (dB). Când dB se referă la auz, se folosește *notația dB(A)*. Este o unitate de măsură relativă, având ca bază logaritmul raportului între intensitatea zgomotului dat și intensitatea de referință, stabilită convențional ca fiind presiunea vibrațiilor sonore de 0,0002 dyne/cm și care a fost considerată ca limita inferioară a sunetelor audibile de către om. Ținând seama de scara logaritmică, înseamnă că sunetele cu intensitatea de 10, 20, 30 dB reprezintă depășirea de 10, 100, 1000 ori a pragului inferior al intensității acustice a sunetului.

Pentru diferite rapoarte  $I/I_0$  se obține:

$I/I_0 = 1$ , rezultă  $L_I = 0$  dB

$I/I_0 = 10$ , rezultă  $L_I = 10$  dB

$I/I_0 = 100$ , rezultă  $L_I = 20$  dB

$I/I_0 = 1000$ , rezultă  $L_I = 30$  dB

$I/I_0 = 10^{12}$ , rezultă  $L_I = 120$  dB; unde  $L = 10 \lg I/I_0$ .

Pentru intensitatea auditivă a sunetelor se mai utilizează ca unitate de măsură *fonul* (egal cu tăria unui sunet a cărui intensitate auditivă este cu 1,26 ori mai mare decât pragul auditiv inferior) Aparatele cu care se măsoară intensitatea sunetului în foni se numesc *fonometre*.

Omul percepe sunete cu o *frecvență* între 16 și 20 000 vibrații pe secundă și cu o intensitate între 0 și 120 dB.

Zgomotul se definește ca fiind o suprapunere dezordonată a sunetelor de frecvențe și intensități diferite care produc o senzație dezagreabilă și agresivă. Apare ca o consecință a activității industriale a omului, a activității de transport în urma căreia unde mecanice, reprezentate de trepidații, sunete, infrasunete și vibrații ultrasonore au o acțiune dăunătoare asupra sănătății omului.

Există un mod diferit de definire a zgomotului: **fizicienii** definesc zgomotul ca o suprapunere dezordonată cu frecvențe și intensități diferite, iar **fiziologii** consideră zgomotul, orice sunet supărător care produce o senzație dezagreabilă.

*Parametrii principali* considerați în analiza acțiunii zgomotului sunt [1-3]:

- intensitatea;

- frecvența;
  - modul de acțiune;
  - durata acțiunii zgomotului;
  - durata activității în mediul zgomotos.
- Propagarea sunetelor este influențată de:
- sursa de zgomot
  - atmosfera
  - distanța
  - obstacolele întâlnite.

*Intensitatea sonoră* = energia purtată de sunet și se măsoară în decibeli. Intensitatea sonoră a unei șoapte este de aproximativ 15 dB, murmurul produs de o clasă de elevi este de 50 dB, zgomotul unei străzi aglomerate este de aproximativ 90 dB. Sunetele de peste 90 dB pot fi deja insuportabile. Un zgomot de o intensitate de 140 dB produs de ex de un avion cu reacție în timpul decolării este aproape dureros și poate afecta timpanul. Cel mai comun efect al zgomotului este afectarea echilibrului neurovegetativ, care se poate produce la intensități de circa 60 dB. Practic, se consideră că *limita de suportabilitate la zgomot* pentru om este de *65 decibeli*.

În tabelul 4.1 se prezintă intensitățile sonore, în ordine crescândă, pentru unele activități uzuale [4,5].

**Tabel 4.1. Intensitatea sunetelor unor activități uzuale**

Prag auditiv	0 dB
Sunetele naturii	10 dB
Biblioteca	20 dB
Conversație	40 dB
Zgomot într-un birou	50–60 dB
Aspirator	70 dB
Zgomotul trenului	80 dB
Autocamion	90 dB
Ciocan pneumatic	100 dB
Motocicletă în demaraj	110 dB
Orchestra de jazz modernă	112 dB
Motorul pornit al avionului cu reacție	120 dB
Avion cu reacție, la decolare	130 dB
Pragul dureros	>140 dB

Legat de *durata zgomotului*, s-a demonstrat că într-un mediu în care intensitatea este de 120 dB, omul poate fi activ doar 2 minute [4].

Marea majoritate a activităților omenești este generatoare de zgomote. Poluarea sonoră poate fi generată de *surse naturale și surse artificiale*.

- *Sursele naturale de zgomot* sunt erupțiile vulcanice, cutremurele, alunecările de teren, vuetul unei cascade etc.

- *Sursele artificiale de zgomot* pot fi surse generatoare de zgomot în mediul ambiant: zgomotul utilajelor industriale și agricole, sunetul sirenelor, soneriile, claxoanele, zgomotul produs de traficul auto sau aerian.

Sursele artificiale de zgomot mai pot fi clasificate în două mari categorii:

- *zgomotele produse de transport* (rutiere, feroviare, aeriene);
- *zgomotele de vecinătate* (stabilimente industriale, șantiere, activități domestice și de petrecere a timpului liber etc.).

*Vibrațiile sunt mișcările alternative ale unui sistem material față de poziția de echilibru.*

Fenomenele cu efectele lor asociate sunt importante deoarece vibrațiile pot fi dăunătoare pentru om sau pentru elementele de rezistență ale structurilor, dar pot avea și un efect benefic, util (baterea unor piloți, forări etc.).

Dintre sursele de vibrații cu efecte defavorabile asupra structurilor de rezistență ale construcțiilor și mașinilor se detașează:

- mișcarea de rotație a unor mașini cu mase neechilibrate;
- utilajele supuse unor sarcini variabile de scurtă durată (șocuri);
- sarcinile mobile (poduri rulante, convoaie de vehicule pe poduri etc.);
- acțiunea acțiunea mișcărilor seismice, vântului;
- exploziile etc.

Zgomotul poate apărea fie la mișcarea de translație, fie la mișcarea de rotație a două corpuri, intensitatea sunetului rezultat fiind dată de coeficientul de frecare și de reacțiunile normale dintre corpurile în contact. Astfel, cu cât suprafețele corpurilor sunt mai rugoase, cu asperități pronunțate cu atât intensitatea zgomotului produs este mai mare. În urma frecării, corpul vibrează pe frecvențele sale proprii care vor determina spectrul zgomotului generat, acesta fiind influențată și de amortizarea internă a vibrațiilor corpurilor în trecere. Ex. : rularea roților pe șine, prelucrarea pieselor la raboteze, rotirea axelor în lagăre generează zgomot prin frecare.

#### **Tipurile de zgomote:**

**Zgomotul aerian**- este produs într-o încăpere, care se propagă prin mediul aerian al încăperii respective până la elementele de construcție despărțitoare (pereți, planșee), prin intermediul cărora este radiat în încăperile adiacente.

**Zgomotul aerodinamic**, denumit și zgomot de sirenă este generat de scurgerea unui fluid între suprafețe rigide, fixe (de exemplu, refularea aerului printr-o gură de ventilator), precum și scurgerea fluidelor datorită mișcării relative a suprafețelor (de exemplu, rotirea unei elice, a rotorului unei mașini) care atrage după sine variații de presiune, forma spectrului zgomotului depinde de o serie de factori printre care dimensiunile și forma conductei de scurgere a fluidului, viteza curentului, de debit, vâscozitate etc. În cazul *zgomotului de jet*, analizele spectrale au pus în evidență și existența unui spectru infrasonor și ultrasonor.

În cazul *zgomotului magnetic*, care este specific mașinilor electrice, acesta se datorează forțelor periodice care se exercită în interspațiul dintre stator și rotor. Componentele tangențiale ale forțelor magnetice dau naștere momentului (cuplului) total care produce lucrul util al motorului, iar componentele radiale nu contribuie la efectuarea unui lucru mecanic util, ci acționând asupra elementelor mașinii electrice, le pun în vibrație, generând

zgomot. Deci, de mărimea componentelor radiale ale forțelor magnetice depinde și intensitatea zgomotului generat.

Astfel, zgomotul se datorează formării de turbioane în focar, desprinderii turbioanelor de pe marginea arzătorului și vibrațiilor aerului în focar.

În spectrul unui asemenea zgomot predomină componentele de joasă frecvență 60 - 260 Hz, aceasta datorându-se și apariției fenomenului de rezonanță între vibrațiile proprii ale focarului și vibrațiile generate de arzător.

**Zgomotul alb**- sunet complex, al cărui spectru, în funcție de frecvența, este continuu, având valoare medie a energiei acustice raportată la un herț.

**Zgomotul aleatoriu** - al cărui nivel variază întâmplător în timp.

**Zgomotul colorant**- sunet complex al cărui spectru, în funcție de frecvență, este ccontinuu, având valoarea medie a energiei acustice care variază cu frecvența.

**Zgomotul de fond**- care exista într-un punct dat, în absența semnalelor acustice auditive.

**Zgomotul de impact**- cel care ia naștere sub forma de sunet structurat, produs prin lovirea unui element de construcție și care este radiat în incapere sub formă de zgomot aerian. Se definește și un **zgomot de impact standardizat**, produs cu ajutorul ciocanului de impact.

**Zgomotul de instalații** - este recepționat în interiorul unei unități în care se desfășoara o activitate și datorat funcționării unor instalații dintr-o unitate.

**Zgomotul staționar** - este caracterizat printr-un nivel constant în timp.

### 4.3. Efectele poluării fonice

Zgomotul are asupra organismului uman o serie de efecte patologice. Numeroase observații clinice i-au determinat pe specialiști să afirme că există o “boală a zgomotului”. *Zgomotul influențează negativ sănătatea omului*, afectând în primul rând sistemele nervos și auditiv [10].

Oscilațiile acustice care iau naștere în timpul funcționării mașinilor și agregatelor pot constitui factori nocivi pentru organismul uman. Perceperea lor de către organismul uman, prin organul auditiv, oscilațiile acustice se clasifică în:

- infrasunete, cu frecvența sub 16 Hz;
- sunete, cu frecvența cuprinsă între 16 și 16.000 Hz;
- ultrasunete, cu frecvența peste 16.000 Hz. [3].

În mediul industrial, infrasunetele, sunetele și ultrasunetele se suprapun atât în ceea ce privește componența spectrului oscilațiilor generate de mașini și utilaje, cât și în privința acțiunii lor asupra organismului lucrătorului.

#### 4.3.1. Infrasunetele

Infrasunetele aparțin părții inaudibile a spectrului sonor având frecvențele inferioare valorii de 20 Hz. Infrasunetele sunt prezente în numeroase locuri de muncă. Oscilațiile acustice întâlnite în mediul industrial au, de obicei, frecvențe foarte variate.

Infrasunetele pot apărea:

- la automobilele cu viteză mare (frecvența infrasunetelor este de 16 Hz), la elicoptere (11,5 Hz),
- la apropierea furtunii (6 Hz);
- prin interacțiunea oceanului planetar cu masele de aer (0,1 – 10 Hz);
- explozii;
- cutremure;
- în timpul zborului avioanelor supersonice când infrasunetele astfel emise.

**Percepția infrasunetelor:**-Sugarii manifestă înainte de furtună insomnie, convulsii, lipsă de poftă de mâncare, respirație agitată și o creștere a temperaturii;

- Păsările și animalele semnalează prin comportarea lor agitată apariția furtunilor sau a cutremurelor.

**Efecte nedorite** ale infrasunetelor:

- cele de 7 Hz traumatizează puternic sistemele nervos și circulator, iar la alte frecvențe pot distruge și alveolele pulmonare.
- la adulți, infrasunetele produc amețală, vomă, un fals efect de euforie, sau chiar efecte cumulate, așa cum se întâmplă unor persoane în timpul mersului cu viteză mare cu autoturisme sau autobuze.

#### 4.3.2. Ultrasunetele

Reprezintă vibrații ale unui mediu elastic a cărei frecvență o depășește pe cea a sunetului (frecvența ultrasunetelor este cuprinsă între 20 000 Hz și  $2 \times 10^9$  Hz), neputând fi percepută de urechea omului. Ultrasunetele se deosebesc de sunete prin faptul că, având o frecvență ridicată (peste 16.000 Hz), nu provoacă senzații auditive. În industrie, ultrasunetele apar fie în compoziția spectrului unor zgomote puternice, fie sunt generate de instalații special destinate acestui scop.

**Producere și percepție:** Sunt produse în natură, în industrie sau de aparatură electrocasnică. Ele pot fi receptate și produse de unele animale (lilieci, delfini) și produc ecouri când se lovesc de un obstacol. Animalele recepționează ultrasunetele, liliecii orientându-se în timpul nopții după ză ultrasunetele emise de ei.

Efecte ultrasunetelor. Și în acest caz avem efecte nedorite (la om, ultrasunetele distrug globulele roșii din sânge, apar migrene, greață sau chiar pierderea echilibrului), dar și benefice (ultrasunetele distrug bacteriile, virușii ca, de exemplu, bacilul tuberculozei, virusul gripei, al tifosului) etc. *Ultrasunetele* își găsesc aplicații în:

- diagnosticarea medicală;
- sterilizarea unor obiecte medicale (ace, seringi etc.);
- defectoscopii pentru investigarea metalelor și betoanelor, pentru identificarea golurilor, fisurilor interne, sulfurilor ș.a.;
- localizarea submarinelor și/sau vaselor eșuate pe fundul mărilor;
- trasarea hărților oceanice;
- cercetări și studii chimice (uzura polimerilor etc.).

Acțiunea biologică a ultrasunetelor variază în funcție de caracteristicile acestora - frecvență, intensitate, durată de timp - și de natura elementelor celulare sau a țesuturilor expuse. Cele mai periculoase sunt ultrasunetele de intensitate mare și frecvență joasă care se amortizează puțin în aer și se răspândesc în toată încăperea de lucru. Ultrasunetele de intensitate mică și

frecvență ridicată sunt amortizate în mare măsură în aer și, în mod practic nu au o acțiune nocivă asupra organismului uman.

Țesuturile cele mai vulnerabile sunt cele neomogene, precum și elementele constitutive ale celulelor.

*Acțiunea biologică a ultrasunetelor se concretizează în efecte mecanice, termice și chimice. Efectul mecanic* se manifestă prin deplasări violente și dezordonate ale moleculelor la nivelul protoplasmei celulare, care au drept consecință „dilatarea” celulelor, degenerarea nucleelor celulare și alterarea cromozomilor.

*Efectul termic* al ultrasunetelor se manifestă printr-o creștere generală a temperaturii organismului. El este caracteristic pentru ultrasunete și este cu atât mai mare cu cât ultrasunetele au o frecvență mai ridicată și cu cât organele expuse au o structură mai compactă.

*Efectul chimic* al ultrasunetelor se caracterizează prin declanșarea unor reacții de oxidare și degradarea macromoleculilor care conduc la denaturarea proteinelor.

Acțiunea ultrasunetelor poate să fie generală, interesând întregul organism, sau locală, afectând numai anumite organe sau sisteme. În literatură, se descrie acțiunea ultrasunetelor asupra organului auditiv, sistemului nervos, endocrin, muscular, sângelui, epidermei etc. La nivelul plasmei sanguine, expunerea la ultrasunete provoacă scăderea numărului de leucocite.

În fine ultrasunetele de intensitate și frecvență foarte mare au o acțiune generală asupra organismelor vii, putând conduce la moarte. Frecvența critică este socotită a fi cea de 22 - 25,5 kHz la intensități de 160 - 165 dB.

c) Zgomotul acționează asupra întregului organism, deoarece senzația auditivă la sistemul nervos central, prin intermediul căruia influențează alte organe. *Efectele* resimțite de om sunt:

- reducerea atenției, a capacității de muncă, deci, crește riscul producerii accidentelor;
- instalarea oboselii auditive, care poate dispărea odată cu dispariția zgomotului;
- traumatisme ca urmare a expunerii la zgomote intense un scurt timp. Aceste traume pot fi amețeli, dureri, lezarea aparatului auditiv și chiar ruperea timpanului;
- scăderi în greutate, nervozitate, tahicardie, tulburări ale somnului,
- efecte asupra funcției vizuale (deficiență în recunoașterea culorilor, în special a culorii roșii);
- surditate la perceperea sunetelor de înaltă frecvență.

Efectele datorate zgomotelor depind de natura persoanei, de complexitatea, natura și intensitatea zgomotelor (Ex. zgomote de intensitate foarte mare pot provoca deteriorări ale clădirilor, aparatelor, instrumentelor).

Nivelele de zgomot s-au limitat în toate țările, prin standarde, pe tipuri de activități (vezi cap. 3). În România, sunt încă valabile STAS 10009 – 88 pentru zgomote din trafic, STAS 6161.3 – 82 pentru zgomotele exterioare clădirilor etc (Tabelul 4.2.).



**Tabelul 4.2.** Limitele admise pentru nivelul de zgomot din exteriorul clădirilor, conform STAS 6161.3 – 82

Nr. crt.	Zona	Limita de zgomot, dB	Nr. crt.	Zona	Limita de zgomot, dB
1.	Locuințe	50	5.	Centru orășenesc	60
2.	Recreere și odihnă	45	6.	Stradal: - cu trafic intens - cu trafic mediu - cu trafic redus	85 75 65
3.	Dotări protejate	45	7.	Aeroporturi, gări portuare	85
4.	Centru de cartier	55	8.	Incinte industriale	65

În tabelul 4.3. se prezintă situația îmbolnăvirilor profesionale în România pentru perioada 1992-2003.

**Tabelul 4.3. Situația îmbolnăvirilor profesionale în România într-un deceniu**

Anii de observație	Total cazuri	Boli profesionale determinate de zgomot
1993	1506	56
1994	1562	50
1995	1875	56
1996	2031	159
1997	2015	337
1998	2060	395
1999	1828	211
2000	1802	386
2001	1576	696
2002	2200	892
2003	1723	292

#### 4.4. Mărimi caracteristice zgomotului și vibrațiilor

##### 4.4.1. Zgomotul

În continuare se prezintă mărimile ce caracterizează zgomotul.

Pentru exprimarea cantitativă a intensității unui zgomot, se utilizează o *lege logaritmică* și o valoare de referință arbitrară.

Prin definiție, nivelul de intensitate acustică se exprimă în formula următoare:

$$L = 10 \lg \frac{I_1}{I_0} \quad (4.1.), \text{ unde:}$$

$L$  este nivelul de intensitate acustică a zgomotului considerat, exprimat în decibeli

$I_1$  = intensitatea acustică a zgomotului, exprimat în  $W/m^2$

$I_0$  = intensitatea acustică de referință (intensitatea minimă audibilă la 1000 Hz.

$I_0 = 10^{-12} W/m^2$ ).

În realitate, pentru măsurare se utilizează microfoane care sunt sensibile la presiunea acustică. În condițiile unde progresive plane în aer, intensitatea este proporțională cu pătratul presiunii.

Prin urmare, se definește în acest caz nivelul de presiune acustică:

$$L_p = 20 \lg \frac{P_1}{P_0} \quad (4.2.), \text{ unde:}$$

$L_p$  este nivelul de presiune acustică

$P_1$  – presiunea acustică a zgomotului măsurat

$P_0$  – presiunea de referință (presiunea minimă audibilă la 1 Hz;  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} P_a$ ).

$L_p$  se exprimă întotdeauna în decibeli.

Dacă se integrează intensitatea pe întreaga suprafață ce înconjoară o sursă de zgomot, se va obține puterea acustică a acestei surse. Nivelul de putere acustică va fi:

$$L_w = 10 \lg \frac{W_1}{W_0} \quad (4.3.), \text{ unde:}$$

$L_w$  este nivelul de putere acustică, exprimat în dB

$W_1$  – puterea acustică a sursei

$W_0$  – puterea acustică de referință ( $10^{-12} W$ )

Această valoare a nivelului de putere acustică reprezintă energia acustică totală eliberată de mașină în unitatea de timp. Puterea este deci o caracteristică intrinsecă a sursei și se măsoară în dB.

#### **NOTĂ IMPORTANTĂ:**

- Nivelul de presiune acustică a unei mașini oarecare nu are nici o semnificație dacă această valoare nu se asociază cu distanța la care s-a făcut măsurarea,

având în vedere că această măsură descrește cu distanța; este un parametru care nu depinde de sursă.

- Puterea acustică se măsoară de asemenea în dB și este foarte important ca aceasta să nu se confunde cu nivelul de presiune acustică.

Puterea acustică se măsoară plecând de la nivelurile de presiune acustică din jurul sursei. Este posibilă, dacă sursa este izotropă, cunoașterea nivelurilor de presiune  $L_p$  dacă se cunoaște nivelul de putere și distanța.

În cazul unei energii sonore produse de o sursă punctuală și radiantă printr-o sferă înconjurătoare, se poate scrie:

$$L_p = L_w - 10 \lg 4\pi r^2 \quad (4.4)$$

unde:  $L_w$  este puterea acustică a sursei

$r$  – distanța dintre sursă și receptor

$L_p$  – nivelul de presiune acustică.

Dacă sursa este plasată pe un plan reflectant, energia acustică este radiată într-o emisferă și:

$$L_p = L_w - 10 \lg 2\pi r^2 \quad (4.5)$$

Influența vântului asupra vitezei sunetului și a modului său de propagare se manifestă prin aceea că, viteza de propagare crește pe direcția de acțiune a vântului și invers. La fel se manifestă și tăria sau intensitatea vântului [9]. De asemenea viteza și tăria vântului cresc într-un mediu atmosferic și ionizat.

Dacă sursa sonoră presupusă punctiformă este în repaus undele sonore ce pornesc din acest punct sunt unde sferice, fronturile de undă fiind sferice concentrice. Dacă sursa sonoră este în mișcare rectilinie, de ex., centrele suprafețelor sferice se vor găsi pe linia care reprezintă traiectoria sursei. În funcție de viteza sursei  $v_s$  în raport cu viteza de propagare a sunetului  $v$  avem:

$$v_s < v \quad (\text{m/s})$$

Undele sonore se înconjoară una pe cealaltă fără să se întretaie.

Se produce efectul cunoscut Doppler-Fizeau adică cu cât se apropie sursa sonoră de noi sunetul este mai tare:

Dacă  $v_s = v$

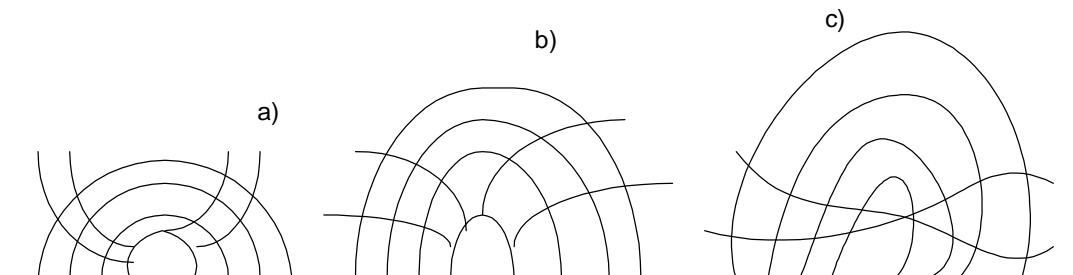
undele specifice se ating într-un punct comun, care este punctul unde se găsește sursa sonoră, iar dacă:

$$v_s > v$$

undele sferice se întretaie, iar înfășurătoarea lor este un con cu vârful în punctul unde se găsește sursa în momentul respectiv. Corpurile care se mișcă cu o viteză mai mare ca viteza sunetului comprimă aerul în direcția de înaintare, o undă care nu are caracter periodic, reprezentând doar un domeniu de comprimare care se propagă cu viteza sunetului.

O astfel de undă se numește *undă de șoc* sau undă balistică (avioane cu reacție, rachete, proiectile etc). Ele provoacă un zgomot puternic evident după un timp de la trecerea obiectului zburător.

Intensitatea sau tăria sunetului,  $I$ , depinde de cantitatea de energie pe care o transportă o undă sonoră. Sunetele în propagarea lor prin atmosferă la separarea de două medii diferite se reflectă parțial sau total, dând naștere ecoului care poate fi funcție de distanță de unde se reflectă mono, bi, tri sau policiclice numit ecou multiplu dacă e polisilabic. Din analiza relației rezulta că deoarece ziua straturile inferioare atmosferice sunt mai calde, undele sonore se propagă mai repede în direcția orizontală decât verticală. Direcțiile de propagare a sunetului fiind normale pe suprafețele de undă deformată, sunetul are un traseu curbat în sus. Deci ziua se aude la distanțe mai mici (fig. a).



**Fig 4.2.** Direcțiile (liniile de curent) de propagare a sunetului a) ziua; b) noaptea; c) sub acțiunea vântului.

Noaptea Terra răcindu-se straturile atmosferice inferioare sunt mai reci deci deformarea se produce spre verticală și sunetul se va auzi la distanțe mai mari (fig. b)

Sunetele cauzatoare de trăsnet sunt tunetele. Alte sunete provocate de fenomene unde sonore sunt șuieratul vântului, ropotul ploilor, al grindinei, freamătul pădurilor, zborul avioanelor, a unor specii zburătoare, zgomotul valurilor marine etc.

#### 4.4.2. Vibrațiile

Deoarece *vibrațiile*, caracterizate prin frecvență, amplitudine și diagramă de oscilație, depind de foarte mulți factori care privesc tipurile de excitație, caracteristicile fizico-mecanice ale materialelor, deformarea structurilor, dependența deplasărilor de sarcini etc. punctele de vedere pentru clasificarea vibrațiilor sunt multiple.

După *forma diagramei de oscilație* distingem:

- a) Vibrații armonice;
- b) Vibrații periodice, mișcarea repetându-se identic după fiecare perioadă  $T$ ;
- c) Vibrații crescătoare sau descrescătoare;
- d) Vibrații oarecare.

După *numărul gradelor de libertate* avem:

- a) sisteme cu un grad de libertate;
- b) sisteme cu mai multe grade de libertate;
- c) sisteme cu o infinitate de grade de libertate;

După *cauzele care produc mișcarea*:

- a) Vibrațiile libere = oscilații pe care le execută un sistem elastic după îndepărtarea cauzelor care au scos sistemul respectiv din poziția de echilibru;

- b) Vibrații forțate = cele care se produc sub acțiunea forțelor perturbatoare care pot fi armonice, periodice sau oarecare.

După *deformațiile care apar* distingem:

- a) Vibrații axiale  
b) Vibrații transversale  
c) Vibrații torsionale.

Vibrațiile întâlnite în tehnică sunt variabile (Vibrații produse de utilaje ca: mori, concasoare, compresoare etc.).

Pentru atenuarea efectelor vibrațiilor asupra executantului trebuie luat un ansamblu de măsuri tehnice, organizatorice și medicale.

Pentru caracterizarea unei **vibrații**, se utilizează de regulă mărimile cinematice uzuale – deplasarea, viteza, acelerația, precum și mărimea temporală – frecvența, respectiv pulsația sau perioada [14].

Dacă mișcarea este armonică este suficient a se cunoaște una din amplitudini, a deplasării  $x_0$ , a vitezei  $v_{x0}$  sau a accelerației  $a_{x0}$  – și frecvența  $f$ .

Mișcarea armonică este rar întâlnită în practică; pentru aceste mișcări oscilatorii, periodice sau neperiodice, nu mai există relația simplă de mai sus între amplitudini.

Viteza eficace este definită prin relația:

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (4.6)$$

unde  $T$  este perioada (dacă mișcarea este periodică) sau o durată de timp aleasă astfel încât să cuprindă fenomenul ce trebuie interpretat.

Nivelul de tărie al vibrațiilor (conform STAS 1957/3-88) s-a definit cu relația:

$$S = 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (\text{vibrări}) \quad (4.7)$$

$$\text{în care: } A = \frac{a^2}{f} \quad [\text{cm}^2/\text{s}^3] \quad (4.8)$$

$a$  este amplitudinea accelerației vibrațiilor la frecvența  $f$ , în  $\text{cm}/\text{s}^2$ ;

$f$  este frecvența în hertz;

$A_0$  este tăria de referință ( $10^{-1} \cdot \text{cm}^2/\text{s}^2$ ).

*Frecvența  $f$*  reprezintă frecvența componentelor discrete ale unei vibrații periodice sau frecvența medie a benzii de frecvență în care se face analiza, în cazul unei vibrații cu spectru continuu.

Între nivelul de tărie a vibrațiilor  $S$  și parametrii matematici ai acestora există următoarele relații de transformare:

$$S = 20 \lg \frac{d}{d_0} + 30 \lg f$$

$$S = 20 \lg \frac{v}{v_0} + 10 \lg f \quad (4.9)$$

$$S = 20 \lg \frac{a}{a_0} - 10 \lg f$$

în care:

$d$ ,  $v$ ,  $a$  sunt: deplasarea, viteza și accelerația la frecvența  $f$ ;  
 $d_0 = 0,008$  cm;  $v_0 = 0,05$  cm/s;  $a_0 = 0,316$  cm/s<sup>2</sup>.

### Surse majore de de poluare sonoră pot fi:

- circulația sau transporturile;
- activitățile industriale;
- activitatea din construcții și construcțiile – montaj;
- terenurile sportive și stadioanele (zgomotele provenite din acestea fiind de multe ori de peste 100dB ) ;
- animalele (câinii, pisicile, păsările) pot tulbura liniștea, mai ales în timpul nopții;
- mediul urban, viața unui oraș poate fi o sursă importantă de zgomot, prin cumulara zgomotului din activitățile descrise anterior.

#### 4.4.3. ANALIZA TEMPORALĂ A ZGOMOTELOR

Semnalul electric, proporțional cu variațiile de presiune acustică poate fi reprezentat într-un sistem de coordonate amplitudine – timp.

Acest mod de reprezentare permite accesul la o analiză statistică a semnalului acustic. Se poate, în particular, obține un mod de reprezentare printr-o hidtogramă a amplitudinilor instantanee ale valorilor eficace ale semnalului.

Se obține în acest caz, în general, o lege gaussiană de unde se pot extrage informații statistice.

Se pot defini astfel anumite valori:

- Nivelul  $L_{10}$  atins sau depășit 10% din timp și care reprezintă zgomotul de vârf.
- Nivelul  $L_{50}$  – medie statistică, reprezentând zgomotul mediu.
- Nivelul  $L_{90}$  reprezentând zgomotul de fond.

Acești indici permit o evaluare rapidă privind variațiile de semnal fluctuant observat.

Pornind de la o reprezentare temporală a unui semnal, se poate accede la o reprezentare frecvențială a aceluși semnal prin transformare Fourier. Se obține astfel *analiza spectrală* a acestui semnal. În acest caz, semnalul este reprezentat în coordonate *amplitudine – frecvență*.

Acest tip de reprezentare este deosebit de util pentru cunoașterea repartiției de energie acustică.

În practică, analiza spectrală se face în două feluri distincte:

- În *bandă fină de lărgime constantă*; se obține astfel un spectru foarte complicat de o excelentă rezoluție care permite în mod frecvent determinarea originii zgomotelor.
- În *bandă de o octavă (sau fracțiune de octavă)* ce prezintă o repartiție mai globală a energiei acustice în funcție de frecvență; este reprezentarea obișnuită în acustică permițând obținerea benzilor de frecvență în care se utilizează zgomotul. Această cunoaștere permite adoptarea unor măsuri oportune de reducerea a zgomotului.

*Semnalul de ieșire a sonometrului* (v. subcap. *Măsurare zgomot*) reconstituie cu exactitate variațiile de presiune captate de microfon. Deoarece urechea nu funcționează în aceeași manieră, ea atenuează puternic frecvențele joase și foarte înalte. Numai frecvențele medii sunt recepționate cu maximum de sensibilitate.

Această atenuare este mai importantă când nivelul global de zgomot este redus. Pentru corectarea acestui efect trebuie deci să se aplice un filtru de ponderare care reproduce sensibilitatea urechii. Există două filtre de ponderare fundamentale, A și C, fiecare corespunde unei curbe de atenuare în frecvență bine definită.

Măsurările în mediu ambiant se execută cu ponderarea (A) și rezultatele se exprimă în dB ponderați (A).

În cazul când zgomotul este stabil, sonometrul va indica o valoare în dB (A) constantă în timp. Dacă nivelul variază, indicația va fi evident fluctuantă. Pentru a caracteriza zgomotul, se poate recurge la parametrii statistici dar aceștia nu au o semnificație fizică foarte reprezentativă și nu dau decât o informație parțială.

Se utilizează astfel nivelul energetic pentru o durată T. El corespunde nivelului energetic pe care îl are un zgomot continuu stabil în aceeași durată și conținând aceeași energie.

Acesta se numește echivalent  $L_{eq}$  și are expresia:

$$L_{eq} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \right) \quad (4.10)$$

unde:

$L_{eq}$  este nivelul echivalent

T – durată de observare zisă și “de integrare” a nivelului sonor

L(t) – nivelul sonor în funcție de timp.

Această informație este furnizată de către sonometrul integrator care calculează  $L_{eq}$  pornind de la ecuația:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (4.11.)$$

unde:

N este numărul total de eșantionări în timpul T

$L_i$  – nivelul în dB(A) al eșantionului nr.1.

Acest indice energetic este, în prezent, cel mai utilizat. Să notăm că  $L_{\text{eq}}$  poate fi sau nu ponderat ( $A$ ). În general, se efectuează ponderarea și nivelul echivalent de presiune acustică a unui zgomot fluctuant care se notează  $L_{\text{Aeq}}(T)$ .

În analiza complexă temporară a zgomotelor se va ține seama de nivelul de expunere acustică, compunerea nivelurilor sonore, scăderea sau adunarea nivelurilor de zgomot (v. Cap 6 *Studii de caz*).

### ABSORBȚIA ENERGIEI SONORE

Când în calea undelor sonore nu este interpus nici un obstacol, de o altă natură decât mediul de propagare, nu intervine nici un fel fenomen special care să perturbe propagarea continuă a acestor unde. În acest caz există numai unde progresive. Dacă undele întâlnesc un obstacol de altă natură, prin care pot trece total, parțial sau deloc, la suprafața de separare a celor doua medii (mediul inițial și mediul obstacol) se produce fie o *reflexie* (întreaga energie acustică transportată de unde, se reflectă, întoarce în mediul în care se află sursa), fie o *refracție* (întreaga energie acustică incidentă trece de al doilea mediu, undele continuându-și propagarea în acesta). Se pot întâmpla simultan și ambele fenomene, cu modificări ale direcției de propagare și a caracteristicilor energetice.

Gradul de reflexie și transmisie a undelor sonore care trec dintr-un mediu în altul se cuantifică prin anumiți coeficienți:

- coeficientul de reflexie sonoră,  $\alpha_r$ ;
- coeficientul de transmisie sonoră,  $\alpha_{tr}$ .

La propagarea undelor sonore printr-un mediu, pe lângă fenomenul de atenuare mai apare și fenomenul de *absorbție*. Undele sonore pierd treptat din energia lor, aceasta transformându-se în căldură. Absorbția sunetului depinde foarte mult de frecvența lui, sunetele mai înalte (v mai mare) fiind mai puternic absorbite decât cele joase. Așa se explică, de exemplu că un om care stă alături de un tun din care iese un proiectil, aude un sunet ascuțit, iar un alt om care stă la o distanță mare de tun aude un sunet înfundat. Absorbția sunetului depinde și de vâscozitatea mediului în care se propagă; datorită frecării interne pe care o suferă particulele mediului la trecerea unei sonore, energia undei se transformă în căldură. De asemenea, absorbția sunetului depinde de conductibilitatea termică a mediului, datorită căreia se produce o absorbție suplimentară din energia sunetului pe seama schimbului de căldură.

Indiferent de cauzele care o produc, absorbția intensității sonore în timpul propagării undei pe o porțiune de mediu  $dx$  este proporțională atât cu intensitatea însăși  $I$  cât și cu distanța  $dx$  adică:

$$dI = -\alpha I dx \quad (4.12)$$

unde  $\alpha$  este așa numitul *coeficient de absorbție sonoră* a mediului.

Integrând ecuația (4.58) între limitele  $I_0$  și  $I$ , respectiv zero și  $x$ , se obține:

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (4.13)$$

unde  $I_0$  este intensitatea sunetului pentru  $x = 0$ . Așa cum se observă, intensitatea



sunetului scade exponențial cu spațiul străbătut  $x$ .

Pentru diferite materiale, coeficientul de absorbție are valorile:

0,45 pentru beton

0,02 pentru sticlă

0,05-0,1 pentru lemn

1 pentru fereastra deschisă.

#### 4.5. MĂSURAREA ȘI MODELAREA POLUĂRII FONICE

Măsurarea corectă și apoi modelarea ulterioară a poluării fonice depinde de alegerea metodei și a mijloacelor de măsurare. Corectitudinea măsurătorilor este asigurată de *elaborarea unor specificații obligatorii de măsurare*, în care se precizează metoda de măsurare a mărimii, condițiile și mijloacele de măsurat. Măsurarea zgomotului, în scopul ameliorării cauzelor producerii acestuia și în scopul verificării măsurilor propuse în vederea atenuării lui, este utilizată ca metodă de identificare a surselor de zgomot, precum și a nivelului acestora (calitativ și cantitativ).

Măsurarea zgomotului se face prin evaluarea caracteristicilor lui fizice și fiziologice și anume:

- caracteristica spectrală a zgomotului, prin măsurarea nivelului de presiune acustică  $L$ , în dB, funcție de frecvența  $f$ , în Hz;

- nivelul global de presiune acustică  $L_g$ , în dB;

- nivelul acustic ponderat  $L_A$  folosind curba de ponderare A, măsurat în dB (A).

Măsurarea zgomotului, a mărimilor sale caracteristice este influențată de o serie de particularități specifice ca valoarea redusă a acestor mărimi, presiunea acustică reprezentând de obicei milionimi din presiunea atmosferică, lățimea mare a gamei de frecvențe, complexitatea câmpurilor acustice din încăperi și a spectrului zgomotelor.

De aceea pentru măsurătorile acustice de precizie sunt necesare aparate de măsurare și analizoare corespunzătoare exigențelor impuse, precum și încăperi special echipate.

În continuare sunt prezentate principalele aparate pentru măsurarea zgomotului în rafinării și combinate petrochimice.

##### 4.5.1. MĂSURAREA ȘI ECHIPAMENTE PENTRU MĂSURAREA ZGOMOTULUI

Măsurarea caracteristicilor fizice ale zgomotului generat de diferite mașini și agregate are mai multe obiective:

- Verificarea faptului că zgomotul generat de sursă este conform normelor;
- Compararea zgomotului emis de mașini cu aceleași caracteristici;
- Compararea zgomotului emis de mașini diferite;
- Determinarea zgomotului perceput de la o oarecare distanță.

Măsurarea zgomotului se efectuează conform unor prescripții care stabilesc metodele și aparatele de măsură utilizate, datele acustice, condițiile de montare și funcționare a utilajului supus încercării.

Caracterizarea unei surse de zgomot se face prin precizarea *puterii acustice emise, spectrul de frecvență și indicele de directivitate*.

Practic, măsurătorile acustice se realizează în încăperi care nu sunt ancoide (*camera ancoidă* = camera ai cărei pereți absoarbe total sunetul, fără reflexie- mai scumpă!) nici *total reverberante* ci se comportă între aceste două limite.

*Camera reverberantă* se caracterizează prin faptul că toate suprafețele sunt acoperite cu un material cât se poate de dur și de refractant, cât și prin faptul că nici o suprafață nu este paralelă altei suprafețe, creând un câmp sonor difuz, energia acustică fiind în mod egal distribuită în întreaga încăpere.

Efectuarea corectă a măsurătorilor *impune condiții inițiale* privind:

- câmpul acustic în care se fac măsurătorile;
- plasarea microfonului față de sursa acustică;
- alegerea criteriilor de apreciere a zgomotului.

Importanță deosebită mai prezintă:

1. *Locul măsurării* care se stabilește în funcție de scopul măsurătorii (încadrarea în norme, stabilirea soluțiilor tehnice pentru combaterea poluării sonore) și de natura câmpului acustic.

**Mărimi și relații de calcul.** Aprecierea nivelului zgomotului emis de o mașină se face cu:

- a. Nivelul ponderat  $A$  al presiunii acustice  $L_A$
- b. Nivelul mediu al presiunii acustice  $L$  (valoarea medie a nivelelor presiunii acustice măsurate în  $n$  puncte)
- c. Indicele de directivitate a zgomotului într-un punct:

$$I_D = L_i - L + 3,$$

unde:  $L_i$  este nivelul presiunii acustice în punctul  $i$

$L$  = nivelul mediu al presiunii acustice.

2. *Stabilirea suprafețelor și punctelor de măsurare.* De regulă se stabilesc suprafețe ipotetice (contururi) de măsură (emisferice sau paralelipipedice), măsurarea efectuându-se în câmp acustic liber (deasupra unui plan reflectant), difuz (încăpere puternic reverberantă) sau semidifuz (încăpere semireverberantă).

3. *Amplasarea punctelor de măsurare* și modul concret de măsurare sunt diferite pentru utilaje diferite: compresoare, ventilatoare, motoare etc.

*Ex.* Pentru motoarele Diesel se măsoară:

- Nivelul zgomotului global generat de motor și toate instalațiile sale auxiliare;
- Nivelul zgomotului generat de motor în condițiile fonoizolării complete a acestuia față de alte surse de zgomot ca eșaparea gazelor și aspirarea aerului;
- Nivelul zgomotului emis de eșaparea gazelor și aspirație a aerului.

În procesul de măsurare o *influență particulară* o pot avea:

- tipul aparatului
- experiența operatorului (la nivelul frecvenței de 400 Hz reflexiile datorate corpului pot introduce erori de 6 db, când corpul operatorului se află la o distanță de sub 1 m de obiectul de măsurat)

- condițiile meteorologice (vântul, umiditatea, temperatura, presiunea ambiantă, vibrații, câmpuri magnetice etc. ),

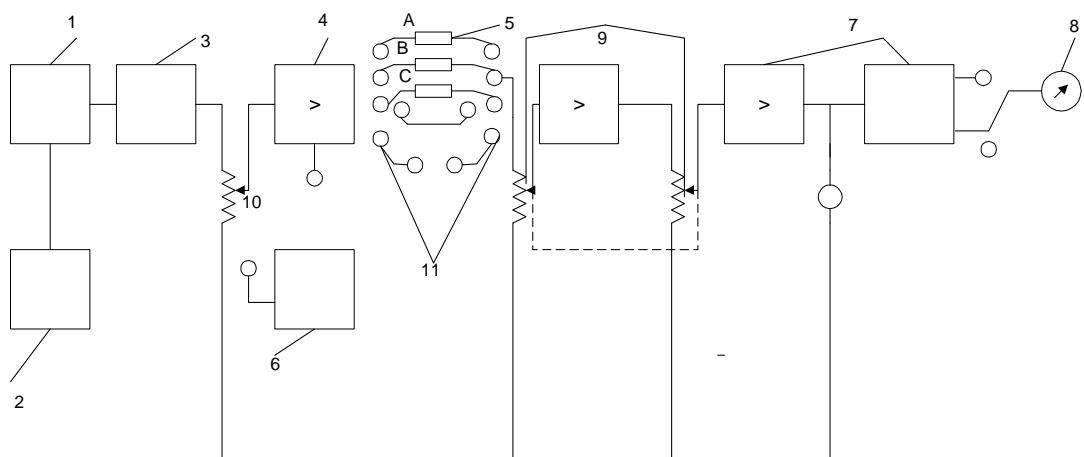
După măsurare se *fac corecții*, în funcție de condițiile de măsurare:

- datorate zgomotului de fond,  $L_f$ ;
- datorate efectelor acustice ale încăperii (*reflexii, reverberanțe, rezonanțe*)
- datorate adunării nivelelor de zgomot (a 2 sau mai multe utilaje);

Măsurătorile de zgomot se efectuează conform STAS 7150 și STAS 7301. Aparatura implicată este prezentată în continuare.

#### 4.5.1.1. SONOMETRUL

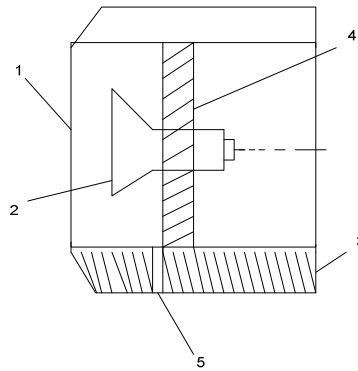
*Sonometrul* este cel mai simplu aparat portabil pentru măsurarea zgomotului. Aparatul măsoară efectiv nivelul de presiune acustică exprimat în dB. Sonometrul este un aparat care răspunde semnalului sonor aproximativ în același mod ca urechea umană și care permite determinări de nivel de zgomot obiective și reproductibile.



**Fig. 4.3.** Schema de principiu a unui sonometru tip 2203 (Brüel și Kjaer):

- 1 – microfoane; 2 – sursă stabilă de alimentare; 3 – atenuator; 4 – preamplificator; 5 – circuitele de ponderare A, B și C; 6 – tensiune de referință; 7 – amplificatoare; 8 – aparat de citire; 9 – butoane transparente; 10 – buton negru; 11 – conectarea filtrului exterior

Semnalul sonor este convertit într-un semnal electric identic prin intermediul unui *microfon de înaltă calitate*. Cele mai bune microfoane din punct de vedere al preciziei sunt cele de tip condensator. Schema de principiu a unui microfon de tip condensator, este reprezentată în figura 4.4.



**Fig. 4.4.** Schema de principiu a unui microfon de tip condensator: 1 – diafragmă; 2 placă de spate; 3 – corpul microfonului; 4 – izolator; 5 – orificiu pentru egalizarea presiunii statice.

Semnalul sonor fiind de nivel scăzut, trebuie amplificat înainte de a putea să-l citim pe ecranul instrumentului. După primul amplificator, semnalul trebuie să fie trecut prin rețeaua circuitelor de ponderare (A, B, C sau D) sau printr-un filtru de octavă sau de o treime de octavă, care poate fi conectat din exteriorul aparatului.

Octava este diferența care separă două frecvențe ale sunetului, dintre care una este dublul celeilalte.

Un filtru de o octavă este astfel dimensionat încât frecvențele sale limită  $f_1$  și  $f_2$  sunt într-un raport de 1 la 2, iar frecvența centrală se determină cu relația  $f_c = f_1 \times f_2$ ;  $\Delta f = 0,7 f_c$ , iar  $\Delta f / f_c = 70\%$ .

La filtrele de o treime de octavă  $f_c = f_1 \times f_2$ ;  $f_2 = 2^{1/3} \times f_1$ ;  $\Delta f / f_c = 23\%$ .

Putem avea impresia că este relativ simplu de a construi un circuit electronic a cărui sensibilitate să varieze cu frecvența în același fel ca și urechea internă. Acest circuit a fost realizat conducând la trei curbe recunoscute pe plan internațional cu anumite curbe de ponderare sau cu egală tărie sonoră A, B și C.

Circuitele de ponderare A, B și C corespund la trei curbe de ponderare care își găsesc justificarea în faptul că liniile izosonice (de egală senzație auditivă) nu sunt paralele și pragul de audibilitate pentru frecvențele joase și cele înalte corespund unui nivel de presiune acustică ridicat.

Curba de ponderare “A” ne oferă o aproximație a curbei de egală tărie sonoră la nivelele de presiuni acustice reduse; curba de ponderare “B” corespunde nivelelor medii și curba de ponderare “C” celor ridicate. Ulterior s-a introdus o a patra curbă de ponderare “D” care este utilizată în domeniul aviației. În mod curent este utilizată ponderea “A” deoarece curbele “B” și “C” nu oferă corelații suficient de bune în cazul testelor subiective.

Curbele de ponderare “B” și “C” n-au oferit rezultatele așteptate, deoarece contururile de egală tărie sonoră au fost determinate pe baza experimentărilor cu sunete pure, în timp ce zgomotele obișnuite sunt caracterizate printr-o formă extrem de complexă a semnalului.

#### 4.5.1.2. ANALIZORUL DE FRECVENȚĂ

*Analizorul* este un aparat care permite măsurarea spectrului zgomotului, adică a distribuției presiunii acustice în funcție de frecvență.

În principiu, analizorul de frecvență este constituit dintr-un amplificator de intrare, o serie de rețele corectoare, o secțiune de amplificare selectivă și un amplificator de ieșire.

Analizorul de frecvență tip 2107 (BRÜEL și KJAER) este un amplificator selectiv continuu în domeniul de frecvență 20 Hz – 20 KHz împărțit în 6 domenii. Filtrul este constant proporțional cu lărgimea benzii care este reglabilă de la 6 la 20%. Are încorporate circuite de ponderare A, B și C care pot fi înserate în serie cu filtrul permițând analiza de frecvență a semnalelor de tărie sonoră egală.

Spectrogramele se pot înregistra automat pe hârtie etalonată în frecvențe, când analizorul este conectat cu înregistratorul rapid de nivel tip < 305.

Scala instrumentului este etalonată în dB, V și % pentru operarea coeficientului de adsorbție la materialele fonoabsorbante.

Foarte utile în efectuarea analizelor spectrale ale zgomotului s-au dovedit a fi analizoarele instantanee de 1/3 octavă. Analizorul instantaneu de frecvență tip 3347 este un sistem complex pentru analiza de frecvență rapidă și exactă a zgomotului și vibrațiilor, precum și a altor fenomene din spectrul audibil. Poate analiza în același moment pe un ecran și sub formă de citire digitală. Reprezentarea spectrului este reînnoită după fiecare 20 ms. Nivelul fiecărui canal poate fi citit pe ecran direct în dB. Conține 30 filtre de 1/3 octavă având frecvențele centrale de la 25 Hz la 20 KHz. Modelul standard este executat pentru 38 canale. Unul dintre canale este utilizat pentru nivelul de tărie A, B, C sau D iar altul pentru nivelul global. Linia superioară a ecranului poate fi operată de a indica de la 150 la 50 dB. Pot fi alese game de reprezentare 10, 25 și 50 dB, precum și o gamă liniară. Gradarea scalei se obține electronic și permite o citire fără distorsiuni de paralaxă și se schimbă automat în funcție de scara aleasă.

#### 4.5.1.3. ÎNREGISTRATORUL DE NIVEL

Acest aparat este conceput în vederea înregistrării exacte a nivelurilor semnalelor în diferite game de frecvențe, cât și a semnalelor de curent continuu. Tipul cel mai des utilizat la noi în țară este 2305 (BRÜEL și KJAER); care înregistrează semnalele în gama de frecvențe 2 Hz – 200 KHz.

Nivelurile de zgomot pot fi înregistrate în funcție de timp, folosind hârtie liniată, sau în funcție de frecvență (analiză spectrală), împreună cu analizorul de frecvență 2107, folosind hârtie etalonată în frecvențe.

Ca tip perfecționat este înregistratorul rapid de nivel pe hârtie etalonată tipul 2306.

Semnalele se pot înregistra în intervalul de frecvență de la 1,6 la 20 KHz.

Aparatele moderne actuale au 8 viteze ale hârtiei și 4 viteze de scriere și permite înregistrarea automată sau semiautomată a spectrogramelor de zgomot.

#### 4.5.1.4. GENERATORUL DE ZGOMOT

*Generatorul* este o sursă de semnale electrice care pot fi convertite în zgomot acustic cu ajutorul unui difuzor. Asemenea generatoare, sunt utile la măsurarea transmisiei zgomotelor prin structuri în verificarea caracteristicilor microfoanelor și în operațiile de etalonare.

Generatorul de zgomot tip 1024 BRÜEL și KJAER utilizat mai des în România produce trei feluri de semnale: sinusoidale, zgomot alb și bandă îngustă de frecvență și zgomot alb de bandă largă de frecvență. Banda de frecvență este cuprinsă între 20 Hz și 20 KHz.

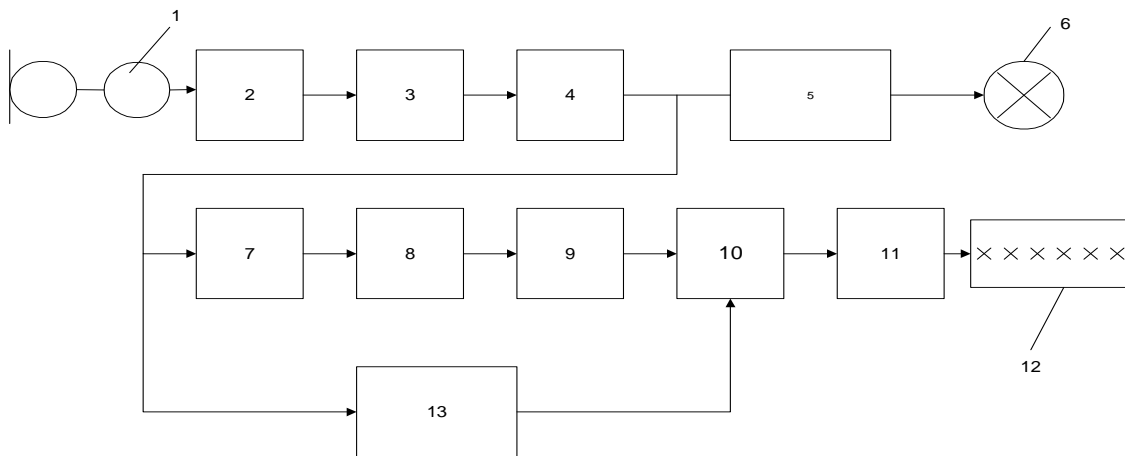
#### 4.5.1.5. DOZIMETRUL

Normele naționale și internaționale definesc limita de nocivitate a zgomotului făcând referire la conceptul de doză de energie acustică, sau doză de zgomot, care este nivelul echivalent continuu, raportat la un interval de timp (de obicei 8 ore sau o săptămână).

La locurile de muncă din cadrul rafinăriilor de petrol și combinatelor petrochimice, la care nivelul de zgomot rămâne aproximativ constant de-a lungul unei zile de muncă, nivelul echivalent continuu este dat de indicațiile sonometrului.

În multe cazuri însă, nivelul de zgomot variază în timpul unei zile de muncă în limitele destul de largi făcând dificilă și uneori imposibilă măsurarea nivelului de zgomot echivalent continuu.

În asemenea situații, deosebit de utile, s-au dovedit dozimetrele portabile (de buzunar) tip 4424 (firma BRÜEL și KJAER), care înregistrează automat doza de energia acustică recepționată de purtător, într-un anumit interval de timp. Nivelului echivalent continuu admis de 90 dB (A) îi corespunde doza de zgomot de 100%.



**Fig.4.5.** Schema bloc a dozimetrului portabil tip 4424 (Brüel și Kjaer)

- 1 – microfon; 2 – circuit de ponderare A; 3 – amplificator; 4 – detector; 5 – detector de nivel înalt; 6 – lampă; 7 – convertor DC/log; 8 – evaluarea amplitudinii; 9 – convertizor Lg/Lin;  
10 – convertizor DC/Frec V; 11 – dispozitiv de măsurare (contor); 12 – afișaj; 13 – detector de nivel scăzut.

Dozimetrele tip 4424 permit și măsurarea dozei de energie acustică recepționată de personalul care, prin natura serviciului, este obligat să se deplaseze la mai multe locuri de muncă cu nivel de zgomot variabil.

Simpla purtare de către un muncitor a acestor dozimetre, în timpul echivalent unui ciclu complet de lucru, permite determinarea dozei de energie acustică recepționată și compararea sa cu limita admisă de 90 dB(A). Dozimetrul tip 4424 este dotat cu un microfon special care poate fi montat fie direct pe aparat fie pe casca de protecție a muncitorului. Valorile citite pe afișajul aparatului sunt în procente. Transformarea în dB(A) se face cu nomograme, care sunt în funcție de poziția comutatorului și de durata de măsurare.

#### 4.5.1.6. MAGNETOFONUL

*Magnetofonele* sunt utilizate pentru înregistrarea și analiza spectrală a diferitelor zgomote. Magnetofonul 7001 (BRÜEL și KJAER) este un aparat de laborator bicanal. Cele două canale de măsură utilizează modulația în frecvență FM, în timp ce la al treilea canal suplimentar, folosit pentru marcaj și identificare se utilizează metoda obișnuită de înregistrare. Un adaptor cu buclă închisă permite analiza detaliată a părților speciale dintr-o înregistrare și datorită celor 4 viteze diferite se obține o multiplicare a frecvențelor.

Datorită celor două canale de măsură identice, este posibilă înregistrarea, stocarea și analiza a două fenomene concomitente. Pentru înregistrări de zgomot pe teren, se poate utiliza magnetofonul portabil (ex. 7003 BRÜEL și KJAER), alimentat de la baterie.

Aparatele prezentate mai sus se pot conecta în funcție de mărimile ce trebuie măsurate.

#### 4.5.2. MODELAREA POLUĂRII FONICE

În modelarea poluării fonice se vor ține seamă de următoarele variabile:

##### a. *Capabilități tehnice de măsurare și procesare statistică:*

- ◆ *Măsurarea continuă și înregistrarea nivelurilor de presiune acustică în proximitatea arterelor de trafic rutier.*
- ◆ *Procesarea statistică a datelor măsurate în vederea obținerii unor parametri ce caracterizează nivelul energetic mediu al poluării acustice, precum:*
  - Nivelul de zgomot echivalent orar →  $L_{ech}$  [dB(A)];
  - Nivelurile de zgomot indexate orare și deviația standard orară →  $L_{10}$  [dB(A)],  $L_{50}$  [dB(A)],  $L_{90}$  [dB(A)], respectiv  $\sigma(h)$  [dB(A)];
  - Nivelul de zgomot echivalent zilnic →  $L_{ech}(24)$  [dB(A)];
  - Nivelurile de zgomot indexate zilnice și deviația standard zilnică →  $L_{10}(24)$  [dB(A)],  $L_{50}(24)$  [dB(A)],  $L_{90}(24)$  [dB(A)], respectiv  $\sigma(24)$  [dB(A)];
  - Climatul de zgomot →  $L_{10}(24) - L_{90}(24)$  [dB(A)];
  - Nivelurile echivalente de zgomot diurn (orele 7-22) și respectiv nocturn (orele 23-6) →  $L_d$  [dB(A)] și  $L_n$  [dB(A)];
  - Nivelul de zgomot echivalent ponderat diurn-nocturn →  $L_{dn}$  [dB(A)];
  - Nivelul de poluare sonoră →  $LNP$  [dB(A)];
  - Indicele zgomotului de trafic (“Traffic Noise Index”) →  $TNI$  [dB(A)].

- ◆ *Estimarea implicațiilor sociale ale poluării acustice asupra rezidenților, prin determinarea:*
  - Indicelui mediu de deranj (gradul de jenă) → D;
  - Procentajelor de persoane rezidente deranjate în diverse activități: citit, urmărirea emisiunilor radiofonice și de televiziune, perturbarea relaxării și a somnului, afectarea conversațiilor, inducerea unor stări de stress-anxietate.

**b. Capabilități tehnice de modelare:**

- ◆ *Modelarea poluării acustice generate de traficul rutier, ținând cont de:*
  - Caracteristici de emisie:
    - Nivelurile acustice individuale ale principalelor categorii de autovehicule: autoturisme, autovehicule medii, autocamioane grele, autobuze și motociclete. Evaluarea caracteristicilor de emisie acustică ale autovehiculelor parcului rutier național se bazează pe procesarea statistică a unei baze de date consistente, înglobând rezultatele a numeroase măsurători reprezentative de zgomot realizate atât în cadrul unor contracte de cercetare științifică din perioada 1986-1994, cât și al probelor standardizate pentru omologarea de tip.
  - Tipul traficului rutier:
    - Trafic rutier liber → viteza de rulare cvasi-constantă;
    - Trafic rutier condiționat (flux întrerupt sau congestionat) → viteza de rulare variabilă (accelerări, decelerări, staționări în regim de relanti);
    - Intersecții semaforizate → regim variabil ciclic al vitezei de rulare.
  - Parametrii de trafic:
    - Debit de trafic – [vehicule/oră] sau [vehicule/zi];
    - Compoziție trafic – ponderea [%] participativă la trafic a diverselor categorii de autovehicule;
    - Viteze medii de rulare – [km/oră];
    - Ciclurile și fazele de sincronizare în cazul intersecțiilor cu trafic controlat opto-electronic, precum și date suplimentare definind traseele specifice urmate de autovehicule în situația unor configurații complexe reale (treceri de pe o bandă de circulație pe alta, întoarceri, viraje la stânga sau la dreapta);
  - Configurația geometrică a infrastructurii rutiere și topografia zonei supuse modelării
    - Drumuri în palier, rampe, pante, rambleu, debleu, poduri, parcări;
    - Multiple benzi/tronsoane de circulație (maximum 20);
    - Tronsoane rutiere în aliniament, curbe, serpentine rurale și montane;
    - Intersecții multiple perpendiculare, oblice, în T, în Y, sensuri giratorii;
    - Intersecții denivelate, insule de dirijare și separare a circulației, configurații geometrice complexe;



- Zone adiacente infrastructurii rutiere – deschise și netede din punct de vedere topografic, canioane naturale, chei, bot de deal, canioane stradale etc.
- Influența declivității pozitive a rampelor (în plaja: 0...7%) asupra nivelurilor emisiilor acustice ale autovehiculelor grele
- Influența tipului îmbrăcămînții căii de rulare asupra nivelurilor emisiilor acustice ale autovehiculelor
  - Suprafețe acoperite cu materiale speciale fonoabsorbante (asfalt poros);
  - Asfalt neted;
  - Mixturi beton asfaltic;
  - Pavaje (piatră cubică, macadam etc.).
- Influența reflexiilor acustice cauzate de existența clădirilor pe latura opusă arterei de trafic (efect de canion stradal) în funcție de:
  - Înălțimea canioanelor stradale;
  - Lățimea canioanelor stradale;
  - “Porozitatea” și/sau fracțiunea discontinuităților longitudinale ale fațadelor clădirilor situate pe latura canionului stradal opusă punctului de recepție; “porozitatea” pereților canionului stradal este definită ca fracțiunea lipsă din suprafața fațadelor clădirilor adiacente, un exemplu fiind cel al garajelor-parcări semi-deschise, în care 60% din suprafața pereților este constituită din beton iar restul de 40% din aer, astfel încât “porozitatea” are în acest caz valoarea de 0,4.
- Fenomenele de atenuare la propagarea energiei acustice (modelări conform procedurilor recomandate de normativul internațional ISO 9613:1996), în funcție de:
  - Distanțele și geometria tridimensională surse-receptori (maximum 40 de receptori per simulare);
  - Tipul și caracteristicile suprafețelor dintre surse și receptori (sol dur sau moale), cu implicații asupra atenuării zgomotelor prin absorbție acustică și dispersie geometrică;
  - Absorbția atmosferică dependentă de temperatura aerului [°C], umiditatea relativă [%RH] și frecvența sunetelor [Hz];
  - Ecranarea acustică datorată oricăror obiecte care obturează propagarea directă a zgomotului între surse-receptori (clădiri, vegetație, vehicule parcate, obstacole topografice naturale etc.);
  - Bariere acustice artificiale multiple (maximum 20), definite atât prin coordonate tridimensionale la bază și respectiv înălțimi, precum și prin tipul materialelor fonoabsorbante (oțel, beton, lemn, zidărie, valuri de pământ – movile).
- Nivelul zgomotului de fond
- Tipul parametrilor (ieșirilor) ce caracterizează nivelul energetic al poluării acustice și implicațiile sociale asupra comunităților umane
  - Niveluri de zgomot instantanee la anumite intervale temporale de analiză setate prealabil;
  - Niveluri maxime de zgomot pentru fiecare receptor;

- Nivelul de zgomot echivalent (*Lech*) pentru întreaga perioadă de simulare (analiza cumulativă);
  - Procentaje de timp în care sunt depășite anumite praguri de zgomot setate prealabil;
  - Izocontururi de nivel de zgomot echivalent;
  - Calcularea parametrilor:
    - Nivel de zgomot echivalent  $\rightarrow Lech$  [dB(A)];
    - Nivel de zgomot indexat  $\rightarrow L_{i0}$  [dB(A)];
    - Nivel echivalent de zgomot diurn (orele 7-22)  $\rightarrow L_d$  [dB(A)];
    - Nivel echivalent de zgomot nocturn (orele 23-6)  $\rightarrow L_n$  [dB(A)];
    - Nivel de zgomot echivalent ponderat diurn-nocturn  $\rightarrow L_{dn}$  [dB(A)];
  - Efecte cumulative pentru surse acustice multiple (doze de zgomot), precum și estimarea impacturilor psihofiziologice asupra rezidenților.
  - Analize tehnico-economice preliminare cost/eficiență pentru bariere acustice, pe baza:
    - Reducerii estimate a nivelurilor de zgomot;
    - Numărului de persoane beneficiare în fiecare dintre punctele de recepție considerate;
    - Costurilor estimate ale materialelor și manoperei de construcție.
- ◆ *Modelarea poluării acustice generate de traficul feroviar*, luând în considerare:
- Caracteristici de emisie, dependente de:
    - Tipul constructiv al sistemelor de rulare și de frânare ale garniturilor feroviare, precum și nivelul de mentenanță a acestora.
  - Parametri de trafic:
    - Debitul mediu orar de unități de material rulant feroviar (vagoane și locomotive), separat pentru perioada diurnă (orele 7-19), serală (orele 19-23) și nocturnă (orele 23-7) – [unități/oră];
    - Compoziția traficului feroviar – ponderea [%] participativă la trafic a trenurilor directe (accelerate, rapide) și a trenurilor personale (curse de persoane cu opriri dese) sau marfare;
    - Vitezele medii de rulare separat pentru trenurile directe, personale și marfare – [km/oră];
    - Vitezele de rulare de la care încep procesele de frânare a garniturilor feroviare, separat pentru trenurile directe, personale și marfare – [km/oră];
    - Profilul mediu zilnic al parametrilor de trafic (variația medie pentru cele trei perioade ale zilei considerate a parametrilor de trafic precizați mai sus).
  - Caracteristici constructive ale infrastructurii feroviare, având:
    - Traverse de beton;
    - Traverse de lemn;
    - Tronsoane scurte de șine (circa 30 m);
    - Șine fixate direct pe suprafețe betonate.

- Tipul și caracteristicile suprafețelor dintre surse și receptori, cu implicații asupra atenuării zgomotelor prin absorbție acustică și dispersie geometrică:
    - Suprafețe “dure” din punct de vedere acustic (reflexie totală): beton, nisip, apă;
    - Suprafețe absorbante “moi” din punct de vedere acustic: ierburi, sol forestier, teren arabil, pietriș liber.
  - Distanța dintre calea ferată și receptori (în plaja 7 – 1500 m)
  - Înălțimea față de sol a infrastructurii feroviare (în plaja 0 – 50 m)
  - Înălțimea față de sol a receptorilor (în plaja 0 – 250 m)
  - Procentajul de reflexie acustică de pe latura opusă infrastructurii feroviare (în plaja 0 – 100%)
  - Estimarea preliminară a efectului de reducere a nivelului de zgomot prin bariere acustice
  - Tipul parametrilor (ieșirilor) ce caracterizează nivelul energetic mediu al poluării acustice și implicațiile sociale asupra comunităților umane
    - Nivelul echivalent de zgomot diurn (orele 7-22) →  $L_d$  [dB(A)];
    - Nivelul echivalent de zgomot nocturn (orele 23-6) →  $L_n$  [dB(A)];
    - Nivelul de zgomot echivalent ponderat diurn-nocturn →  $L_{dn}$  [dB(A)];
    - Efectele cumulative pentru surse acustice multiple (doze de zgomot), precum și estimarea impacturilor psihofiziologice asupra rezidenților.
  - Nivelul zgomotului de fond.
- ◆ *Estimarea nivelurilor echivalente de zgomot generate de alte tipuri de surse de emisie, în funcție de:*
- Nivelurile individuale ale puterii acustice, utilizând o bază consistentă la date experimentale pentru o largă varietate de mașini și echipamente precum:
    - Excavatoare;
    - Încărcătoare frontale;
    - Motostivuitoare;
    - Automacarale;
    - Motogeneratoare;
    - Motocompresoare;
    - Ciocane-perforatoare pneumatice;
    - Motopompe;
    - Mașini și echipamente forestiere etc.
  - Distanța orizontală dintre sursa acustică și receptori
  - Înălțimea față de sol a sursei acustice
  - Înălțimea față de sol a receptorilor
  - Tipul și caracteristicile suprafețelor dintre sursă și receptori, cu implicații asupra atenuării zgomotelor prin absorbție acustică și dispersie geometrică
    - Suprafețe “dure” din punct de vedere acustic (reflexie totală): beton, nisip, apă.

- Suprafețe absorbante “moi” din punct de vedere acustic: ierburi, sol forestier, teren arabil, pietriș liber.
- Durata medie de operare a mașinii sau echipamentului în totalul timpului de lucru zilnic
- Nivelul zgomotului de fond.

**c. Modele uzuale (denumiri comerciale):**

◆ **CNM (Community Noise Model)**

**The American Automobile Manufacturers Association’s Community Traffic Noise Model**, versiunea 5.0, Community Noise Lab. University of Central Florida, S.U.A., 1999.

◆ **LEQV2**

**San Francisco Highway Traffic Noise Prediction Program**, versiunea 2.5. Division of New Technology, Materials and Research, California Department of Transportation (Caltrans), S.U.A., 1985.

◆ **SOUND32**

The Caltrans Version of Federal Highway Administration (FHWA) STAMINA 2.0/OPTIMA Traffic Noise Prediction Programs, versiunea 1.41, Division of New Technology, Materials and Research, California Department of Transportation (Caltrans), S.U.A., 1991.

◆ **STAMINA 2.0/OPTIMA**

**Federal Highway Administration (FHWA) Traffic Noise Prediction Programs**, versiunea 3, Noise Software Library, The Technology Group, University of Louisville, Kentucky, S.U.A., 1995.

◆ **VLG**

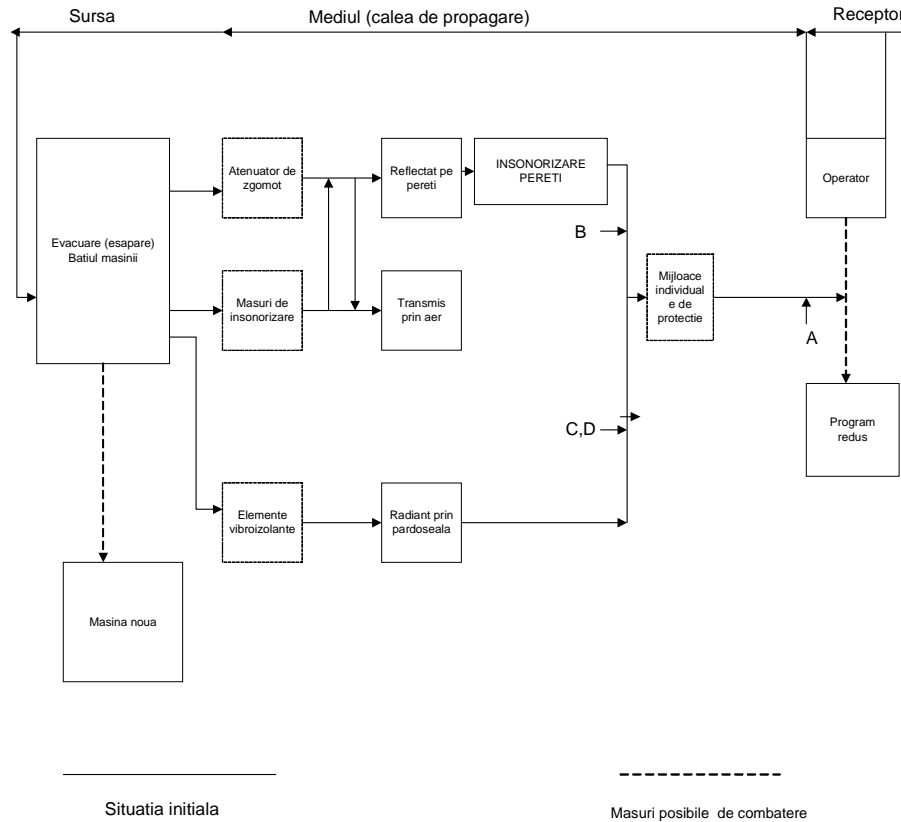
Program for Calculating Noise Levels of Road Traffic, Railway Traffic and Cumulative Effects, versiunea 6.0E, Noise Directorate, Olanda, 1997.

#### **4.6. MĂSURI ȘI METODE DE PREVENIRE ȘI REDUCERE A POLUĂRII SONORE ȘI VIBRAȚIILOR**

Combaterea zgomotului este o *problemă de sistem de muncă*. În acest caz, prin sistem înțelegem ansamblul format de *sursa de zgomot, mediu (calea de propagare)* a energiei acustice și *receptorul*. *Sursa* este acea parte a sistemului în care ia naștere energia acustică. În general, sursa trebuie considerată ca un grup de generatoare de zgomot care pot să aibă diverse caracteristici fizice, distribuite în spațiu și timp [1-5].

O schemă simplificată a sistemului este reprezentată în figura 4.6. Situația inițială este prezentată cu linii continue, iar măsurile posibile, cu linii întrerupte.

Zgomotul în punctul A este suma contribuțiilor B, C și D. Metodele de combatere a zgomotului trebuie încorporate elementelor acestui sistem, combaterea intervenind pe oricare din componentele ansamblului.



**Fig. 4.6.** Schema simplificată a unui sistem de combatere a zgomotului

Combaterea zgomotului nu este un termen sinonim cu *reducerea zgomotului*, după cum reglarea temperaturii nu înseamnă întotdeauna scăderea temperaturii. Este adevărat că multe probleme de combatere a zgomotului se soluționează favorabil prin realizarea unei reduceri a unei părți a puterii acustice sau a presiunii acustice. Există însă situații în care soluția corectă constă în modificarea spectrului de frecvență, fără a se reduce neapărat nivelul acustic total.

Măsurile de prevenire și reducere a poluării sonore implică tratarea a trei aspecte:

- *un aspect de natură socială*, care constă în adoptarea celor mai eficiente măsuri în vederea înlăturării efectului de noxă socială;
- *un aspect tehnic* care constă în realizarea unor mașini, agregate, instalații și construcții al căror nivel de zgomot să nu depășească limitele admise;
- *un aspect medico-sanitar* care constă în aplicarea unor măsuri menite să protejeze individul împotriva efectelor nocive ale zgomotului, în vederea unui confort fizic și psihic corespunzător.

Tehnica de combatere a zgomotului se corelează cu definirea exactă a obiectivelor urmărite, corelat cu aspectele menționate anterior.

Măsurile pentru reducerea poluării fonice necesită investiții, noi materiale, noi tehnici în construcțiile civile, industriale, în construcția de mașini, regândirea unor procedee, instalații, mijloace și sisteme de trafic și nu, în ultimul rând, un comportament civilizată al oamenilor între ei.

Poluarea sonoră (fonică) poate fi redusă prin măsuri specifice genului de activitate generatoare de zgomot [6-7].

1. Zgomotul *produs de autovehicule* se poate reduce prin:
  - limitarea vitezei de circulație (se poate reduce cu cca 4 – 5 dB);
  - interzicerea circulației pe anumite trasee ori la anumite ore, mai ales a mașinilor grele.
2. Prevenirea ori reducerea zgomotului *produs de avioane*, care nu au caracter general, se realizează prin:
  - restricții orare, în special interdicția de zbor în timpul nopții;
  - stabilirea de itinerarii, altitudini de nivel și de proceduri de zbor;
  - respectarea regulilor de urbanism, care permit evitarea construirii în apropiere a aeroporturilor.
3. Prevenirea zgomotelor  *produse de transporturile feroviare* o constituie acțiunea asupra sursei de producere prin:
  - stabilirea unor norme de construcție stricte;
  - măsuri de izolare a construcțiilor riverane traficului feroviar.
4. Prevenirea ori reducerea zgomotului *datorat industriei, șantierelor, discotecilor ori restaurantelor, activităților casnice* etc se poate face prin:
  - măsuri tehnice moderne, care vizează direct sursa generatoare de zgomot, în sensul reducerii zgomotului la niveluri normale, acceptabile pentru organism, prin insonorizarea surselor de zgomot cu ecrane și carcase fonoabsorbante sau fonoizolante;
  - utilizarea amortizoarelor, antifoanelor, materialelor izolante antifonice moderne (polistiren expandat, polistiren elasticat, material spongios din poliuretan) [7-9];
  - măsuri de construcție a locuințelor din materiale fonoizolante (BCA, poliflex etc.) cu spatele la stradă, asociat cu proiectarea și achiziționarea unor aparate electronice casnice silențioase (frigidere, aspiratoare, mașini de spălat, mixere etc.);
  - măsuri de atenuare prin utilizarea factorilor de mediu, dintre aceștia arborii având un rol important. S-a demonstrat că în interiorul zonelor plantate cu arbori zgomotul scade cu circa 20%, iar perdelele de protecție constituite din arbuști au capacitatea de a reduce zgomotul pe șosele cu 10-15 dB.

Pentru reducerea zgomotelor se utilizează procedee sau tehnici specifice sursei de zgomot.

a) În industrie apar zgomote de diferite intensități și frecvențe, cu acțiune continuă sau intermitentă. Ciocanele pneumatice, de exemplu, produc zgomote de 110 dB, războaiele de țesut 96 – 100 dB, crăițuirea 118 dB etc. Dacă se depășesc 90 dB în 8 ore de activitate, este absolut necesară reducerea acestui tip de poluare [11].

Dintre procedeele utilizate pentru reducerea zgomotelor se pot menționa:

- utilizarea unor ecrane fonoizolante, interpusse între sursa de zgomot și personalul uman;
- protecția individuală a aparatului auditiv cu antifoane;
- îmbunătățirea caracteristicilor tehnice ale utilajelor ce poluează fonic foarte intens;
- utilizarea carcaselor la mașini și utilaje în timpul funcționării;
- alegerea corectă a fundației utilajelor, neomițând criteriul reducerii zgomotelor;
- folosirea, acolo unde este posibil, a suspensiilor elastice (resorturi metalice, cauciuc, fibre de sticlă, pâslă, mase plastice, plută, azbest);
- schimbări în structura și arhitectura halelor;
- utilizarea de materiale fonoizolante pentru pereții camerelor;
- rotația personalului etc.

Materialele de construcție reduc de câteva zeci de ori zgomotele. Astfel, plăcile de lemn atenuază de 30 – 34 de ori, vata de sticlă de 42 – 88 ori, covoarele de 7 – 41 ori, ușile de 20 – 25 ori, ferestrele duble de 30 ori, zidăria de beton de 48 ori, zidăria de cărămidă de 40 ori etc.

a) **Traficul rutier** este principala componentă a zgomotului din orașe. Pe parcursul unei zile se înregistrează trei maxime ale nivelului de zgomot, la orele 6-7, 12 și 18-19. Mașinile răcite cu aer, de puteri mari, motocicletele, motoretele și scuterele produc cele mai mari zgomote (tabelul 4.3). O mașină Dacia 1300 produce 72 dB în regim, iar la frânare și demarare rapidă 92 – 97 dB. Frânarea și demararea sunt cele mai zgomotoase la toate tipurile de autoturisme. Motoarele Diesel sunt cele mai poluante sonic.

**Tabelul 4.3.** Nivelele de zgomot la câteva vehicule

Vehicul	Nivele de zgomot, Db(A)
Motociclete	75 – 92
Vehicule grele	75 – 88
Autoturisme	46 – 86
Biciclete	60

Pietonii percep componentele înalte de zgomot, iar pasagerii autoturismelor percep componentele de frecvență joasă și ultrasunete de aproximativ 10 Hz, componente ce pot avea efecte nefavorabile, inclusiv asupra șoferului. Motorul, prin oscilații și vibrații produce infrasunete de 0,5 – 10 Hz și respectiv 11 – 17 Hz; șasiul produce zgomote de 25 – 40 Hz; deformațiile unor piese produc zgomote cu 50 – 150 Hz.

Pentru reducerea zgomotelor, la *autoturisme* se utilizează atenuatoare și filtre, la evacuarea gazelor de eșapament. Acestea transformă energia acustică în energie calorică. Atenuatoarele conțin elemente:

- active, din material fonoabsorbant;

- reactive, în care caz gazele trec prin camere de destindere și îngustare, conținând ecrane (filtre);
- combinate.

Constructiv, atenuatoarele de zgomot pot fi: cu o cameră; cu două camere; lamelare și celulare.

La *motociclete* s-au făcut modificări constructive la motor, cutia de viteze, folosindu-se atenuatoare de zgomot, materiale fonoizolante etc.

La *tramvaie* se folosesc amortizoare de cauciuc, bandaje de cauciuc pe calea de rulare, amortizoare de vibrații, inele antizgomot la roți, motorul dispus longitudinal etc.

La *metrou*, calea de rulare se realizează prin grinzi de beton armat, metal sau lemn de esență tare, curbele trebuie să fie cu rază mare, la postament și la șină se pot folosi amortizoare, tunelul se acoperă cu material fonoizolant, în vagoane se reduc zgomotele prin măsuri constructive, prin natura materialelor de construcție etc.

b) **Traficul feroviar** produce zgomote de 110 – 115 dB, la viteze de 110 – 120 km/h. Pentru reducerea zgomotelor trebuie atât modificări constructive, cât și de organizare a traficului. Dintre măsurile constructive se pot enumera: izolarea acustică a vagoanelor de călători și locomotivelor, folosirea atenuatoarelor de zgomot, a frânelor cu disc etc. În organizarea traficului, se pot utiliza centralizarea comenzilor macazelor, eliminarea joantelor, folosirea de garnituri de cauciuc între talpa șinei și traversă, stabilirea unei zone de protecție de 400 – 500 m de la șină, la localități ș.a. Se apreciază că măsurile posibile de diminuarea zgomotelor, în special la locomotivele Diesel sunt insuficiente, poluarea fonică fiind de mare intensitate.

c) **Traficul aerian** produce zgomote de la motoare, elice, mișcarea aerului. La avioanele subsonice (cu viteza sub 340 m/s) se aude zgomotul avionului crescând în intensitate la apropiere și apoi scăzând în intensitate, la depărtare. La avioanele supersonice (cu viteză peste 340 m/s) se produce o undă de șoc, cu suprafață conică, deoarece sunetul se propagă cu o viteză inferioară (340 m/s). La sol, omul percepe un zgomot foarte puternic, ca un tunet, numit *bang sonor*. Bangul afectează clădirile, producând uneori chiar fisurarea pereților, spargerea geamurilor, iar pentru oameni acționează ca efect surpriză.

Terenul plat și denivelările reflectă zgomotele, astfel încât omul percepe atât unda directă, cât și undele reflectate multiple, deci, zgomotul se amplifică. Pentru protejarea populației s-au creat *zone de protecție acustică*. Astfel: zona I este zona cu zgomot peste 90 db, care este declarată nepopulată; zona II cu 80-90 db nerecomandată pentru locuințe; zona III cu 80 db, nerecomandată pentru spitale, școli, aziluri de bătrâni, case de odihnă etc.

d) **Zgomotul urban** apare nu numai prin trafic, dar și din aparatele electrocasnice, activitățile și comportamentul oamenilor.

În *birouri* se reduc zgomotele prin: - izolare fonică de la uși, ferestre, tavan, pereții laterali, folosind polistiren expandat, vată de sticlă, pâslă, geamuri duble, tavan aparent din mase plastice, beton autoclavizat la pereți, membrane flexibile etc.; - mocheta pe podea; - ecrane fonoabsorbante la unele mașini ș.a.

*Clădirile de locuit* se amenajează astfel:



- cu pardoseli fonoizolante, din linoleum, cu covoare, mochetă;
- spații de aer între planșee sau umplute cu pâslă impregnată;
- etanșarea ferestrelor și ușilor cu garnituri; - pereți dubli la 5-7 cm distanță;
- uși duble;
- geamuri duble de 3 mm, la 15 cm distanță unul față de altul;
- fixarea conductelor de pereți cu cauciuc, sau mase plastice;
- executarea de fundații la pompe;
- educația locatarilor pentru respectarea liniștii.

*Amplasarea locuințelor va avea în vedere și atenuarea zgomotelor. Astfel: clădirile nu se construiesc paralel cu șoseaua; interpunerea între șosea și blocul de locuințe a unor blocuri administrative; amplasarea șoselelor în denivelări naturale sau artificiale (văi); utilizarea unor ecrane de zgomot naturale, cum sunt arborii, arbuștii, rambleurile acoperite cu vegetație. În tabelul 4.5. se prezintă limitele admise pentru nivelul de zgomot din exteriorul clădirilor, conform STAS 6161.3-82.*

**Tabelul 4. 5.** Limitele admise pentru nivelul de zgomot din exteriorul clădirilor (STAS 6161.3-82).

<b>Zona</b>	<b>Limita de zgomot, dB</b>
locuințe	50
Recreere și odihnă	45
Dotări protejate	45
Centru de cartier	55
Centru orășenesc	60
Stradal :	
- cu trafic intens	85
- cu trafic mediu	75
- cu trafic redus	65
Aeroporturi, gări portuare	85
Incinte industriale	65

Respectarea acestor limite în condițiile existenței unor utilaje și construcții date (și implicit cu un zgomot specific) se poate realiza prin izolarea utilajului (de la așezarea pe elemente vibroizolante din cauciuc până la închiderea sa în carcase fonoizolante rigide căptușite cu materiale fonoabsorbante), protejarea personalului muncitor cu antifoane, acoperirea pereților cu materiale care să absoarbă și să nu reflecte zgomotele. Efectele acestor măsuri se pot vedea în tabelele 4.6. -4.7.

**Tabelul 4. 6.** Coeficienți de absorbție a sunetelor (% Intensitate)

Frecvența , Hz	128	512	1024	4096
Tencuială	1	4	5	16
Placă de lemn	47	30	30	37
Vată de sticlă	42	88	85	44
Parchet	3	6	12	17
Covor	7	19	30	41

**Tabelul 4. 7.** Coeficienți de atenuare (dB) ai unor materiale de construcție

Zid exterior cărămidă	50
Zid interior despărțitor	40
Zid exterior beton	48
Fereastra dublă	30
Uși	20-25

#### 4.7. Poluarea fonică în rafinării. Măsurii și tehnologii de combatere a poluării fonice în rafinării și combinate petrochimice

În rafinării există o gamă largă de surse specifice, producătoare de zgomot. În continuare se prezintă utilajele importante cu sursele de poluare fonică aferente [12,15].

##### *Compresoare și turbocompresoare*

Zgomotul produs de compresoare provine de la supapele de refulare și aspirație, circulația gazului supus comprimării, motorul de antrenare, sistemul de ungere și lagăre.

Supapele de refulare și aspirație produc zgomot din cauza forțelor de impact ce apar la închiderea bruscă a acestora, precum și destinderii bruște a gazului.

Circulația gazului supus comprimării reprezintă, de asemenea, o sursă importantă de zgomot, ca urmare a apariției turbioanelor în curentul de gaz, mai ales în zona supapelor de aspirație și refulare și datorită pulsației curentului de gaz în cazul compresoarelor cu piston.

Sistemul de ungere produce un zgomot care adesea este supărător. În cazul ungerii prin barbotare, zgomotul se datorește apariției turbulenței în uleiul de ungere, pe când în cazul ungerii cu ajutorul pompelor, zgomotul este influențat de modul de comportare a sistemului de conducere.

Motorul electric de antrenare generează un zgomot ale cărui componente sunt:

- zgomotul mecanic al rotorului și a altor piese;
- zgomotul turbionar generat de sistemul de răcire al motorului;
- zgomotul electromagnetic.

##### *Ventilatoare și turbosuflante*

Zgomotul produs de ventilatoare și turbosuflante se compune dintr-un zgomot de natură aerodinamică și dintr-un zgomot de natură mecanică.

Zgomotul aerodinamic produs de toate tipurile de ventilatoare poate fi împărțit într-o componentă de rotație și o componentă turbionară. Componenta de rotație este asociată impulsului dat curentului de aer de fiecare dată când o paletă trece printr-un punct dat și este constituită dintr-o serie de conuri discrete la frecvența fundamentală de trecere a paletei și a armonicilor acesteia. Componenta turbionară a zgomotului se datorește în mare măsură neomogenităților locale și a celor de la intrarea și ieșirea rotorului, fiind produs de apariția pulsațiilor curentului de aer în jurul unor obstacole fixe sau în jurul paletelor în mișcare.

Zgomotul de natură mecanică se datorește apariției forțelor de impact de frecare și a vibrațiilor elementelor componente ale ventilatorului și a dezechilibrării rotorului.

Curbura paletelor ventilatoarelor centrifuge influențează nivelul de zgomot care înregistrează cel mai mic nivel la ventilatoarele cu palete curbate înapoi.

La turbosuflante zgomotul are aceleași cauze ca și cel produs de ventilatoare, cu deosebirea că zgomotul de natură mecanică are un nivel de presiune acustică globală cu mult mai mic decât cel al zgomotului turbionar și de rotație. Datorită turajului mari a rotorului și a marelui număr de palete, zgomotul produs de frecvența înaltă, având caracterul unui sunet de sirenă, este puternic, nivelul zgomotului putând să atingă valoarea de 130 dB.

#### *Instalații de ventilare*

Propagarea zgomotului, provenit din funcționarea normală a instalațiilor de ventilare, se face pe două căi principale:

- sub formă de zgomot aerian și structural, din centrala de ventilație către celelalte încăperi;
- sub formă de zgomot aerodinamic, de-a lungul canalelor de ventilație.

#### *Conducte prin care se vehiculează gaze cu viteze mari*

Dintre aceste conducte se menționează conductele de aspirație și conductele de refulare.

Conductele de aspirație de acest tip sunt amplasate de obicei la turbosuflante și turbocompresoare, iar conductele de refulare (ejectoare) se folosesc în cazul ventilării locurilor de muncă cu pericol de explozie.

#### *Pompe și electropompe*

Zgomotul produs de electropompe se datorește neechilibrării statice și dinamice a rotorului pompei care, în consecință, generează un zgomot mecanic, precum și fenomenului de cavitație.

Curgerea lichidului prin conductele aferente pompelor și apariția regimului turbionar în circulația lichidului produc un zgomot suplimentar.

O altă sursă importantă de zgomot o constituie motorarele electrice de acționare a pompelor.

Zgomotul produs de motoarele electrice se formează din suprapunerea mai multor componente de natură diferită cum sunt: zgomotul mecanic, cel turbionar și cel electromagnetic.

*Centrale termoelectrice*

Sursele de zgomot existente în centralele termoelectrice care produc zgomotul cel mai puternic sunt conductele de abur, precum și armăturile de închidere, de reglare și de reducere și supapele de siguranță. Zgomotul este bogat în frecvențe medii și, în special, înalte, ajungând uneori chiar și în domeniul ultrasunetelor.

Instalațiile auxiliare (ventilatoare), generatoarele de energie electrică, compresoarele cu piston pentru furnizarea aerului comprimat constituie, de asemenea, surse importante de zgomot.

În sălile de compresoare, datorită funcționării simultane a acestora, se produc interferențe care provoacă o fluctuație a nivelului de presiune acustică globală a zgomotului de 104-112 dB.

În ceea ce privește cazanele de abur, principala sursă de zgomot este constituită de arzătoare care, datorită numărului lor mare, produc un zgomot puternic.

*Ateliere mecanice*

În atelierele mecanice ale rafinăriilor sau combinatele petrochimice sunt utilizate numeroase mașini și utilaje care constituie surse puternice de zgomot și vibrații. Dintre acestea se menționează: strunguri, mașini de frezat, mașini de rabotat, ciocane de forjă etc. De asemenea, există o serie de procese tehnologice cu șocuri, generatoare de zgomot și vibrații (îndreptarea tablelor, nituirea, tăierea, lucrările de tinichigerie).

*Cuptoare*

Nivelele de zgomot din jurul cuptoarelor depășesc deseori limitele acceptabile pentru expunerea personalului, utilizarea sistemelor de comunicație și activitățile din zonele învecinate. Sursa cea mai importantă de zgomot o constituie arzătoarele. Alte surse includ ventilatoarele de tiraj forțat, supapele de reglare și suflantele.

Zgomotul arzătorului este produs prin arderea combustibilului și prin aspirarea aerului de preamestec.

Zgomotul de ardere este o funcție a stabilității flăcării care este legată de raportul aer/combustibil, amestecul aer combustibil, cantitatea de combustibil care alimentează un arzător, tipul arzătorului etc.

*Sistemul de faclă.* În rafinării o particularitate fonică aparte o prezintă facla [13].

În cele ce urmează se prezintă soluțiile de prevenire și combatere a poluării fonice pornind de la tipurile de surse de zgomot din rafinării (tabelul 4.8. ).

**Tabelul 4. 8.** Soluții preventive în proiectare și construcția utilajelor din rafinării [12,15]

Utilajul tehnologic cu sursele de zgomot	Soluții prevăzute în faza de proiectare pentru prevenirea și reducerea poluării fonice
<p><i>Compresoare și turbocompresoare</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- supapele de refulare și aspirație;</li> <li>- circulația gazului supus</li> </ul>	<p>- Montarea unui atenuator de zgomot activ la gura conductelor de admisie (usual, un rezervor cu un volum determinat, care comunică cu conducta de admisie, legătura cu atmosfera făcându-se printr-un tub Venturi);</p>

<p>comprimării;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- motorul de antrenare prin: <ul style="list-style-type: none"> <li>- zgomotul mecanic al rotorului și a altor piese;</li> <li>- zgomotul turbionar generat de sistemul de răcire al motorului;</li> </ul> </li> <li>..... -zgomotul electromagnetic;</li> <li>- sistemul de ungere și lagăre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intercalarea pe conducta de refulare, în vecinătatea cilindrului, a unui atenuator reactiv, în vederea combaterii pulsațiilor curentului de aer;</li> <li>- Acoperirea conductelor de refulare și de admisie cu material fonoizolant pentru a împiedica propagarea în mediul înconjurător a zgomotului provocat de vibrația pereților acestora;</li> <li>- Suspendarea elastică a conductelor, efectuată cu elemente vibroizolante, reducându-se vibrațiile acestora;</li> <li>- Carcasarea fonoizolantă a compresorului.</li> </ul>
<p><i>Ventilatoare și turbosuflante</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- produc zgomote de natură aerodinamică și de natură mecanică;</li> </ul> <p>Zgomotul aerodinamic are o componentă de rotație și o componentă turbionară.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Montarea pe conducta de aspirație și refulare a câte unui atenuator active;</li> <li>- Tratarea conductelor de aspirație și refulare cu chit antifonic sau învelirea lor cu materiale fonoizolante;</li> <li>- aplicarea unor carcase fonoizolante sau fonoabsorbante care să permită totuși răcirea instalației;</li> <li>- intercalarea între două agregate alăturate a unor ecrane tratate acustic pe ambele fețe;</li> <li>- carcasarea vanelor;</li> <li>- carcasarea fonoizolantă a motorului de antrenare (unde se poate)</li> </ul>
<p><i>Instalații de ventilare</i> (ventilatoare, motoare electrice de antrenare, compresoare, electropompe)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Propagarea zgomotului, provenit din funcționarea normală a instalațiilor de ventilare, se face pe două căi principale: <ol style="list-style-type: none"> <li>a. sub formă de zgomot aerian și structural, din centrala de ventilație către celelalte încăperi;</li> <li>b. sub formă de zgomot aerodinamic, de-a lungul canalelor de ventilație.</li> </ol> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- optimizarea din punctul de vedere fonic a echipamentelor;</li> <li>- carcasarea și/sau ecranarea fonică a surselor de zgomot;</li> <li>- amplasarea în corpuri anexe, la distanță față de clădirile; principale;</li> <li>- alegerea unor agregate cu nivel de zgomot aerian cel mult egal cu cel admis pentru spațiul dat;</li> <li>- aplicarea unor tratamente fonoabsorbante;</li> <li>- amplasarea echipamentelor, utilajelor pe sisteme amortizoare corect dimensionate</li> <li>- fixarea și conectarea canalelor de ventilație de elementele</li> <li>- de construcții prin dispozitive elastice</li> </ul>

<p><i>Pompe și electropompe</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- neechilibrarea statică și dinamică a rotorului pompei care, în consecință, generează un zgomot mecanic, precum și fenomenului de cavitație.</li> <li>- curgerea lichidului prin conductele aferente pompelor și apariția regimului turbionar în circulația lichidului;</li> <li>- motoarele electrice de acționare a pompelor (suprapunerea mai multor componente de natură diferită cum sunt: zgomotul mecanic, cel turbionar și cel electromagnetic).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- proiectarea și exploatarea pompelor la un randament optim, căruia să-I corespundă și cele mai reduse șocuri de natură hidraulică;</li> <li>- conducta de refulare va avea o secțiune cât mai mare, iar între conductă și pompă va introduce un difuzor;</li> <li>- echiparea halelor stațiilor de pompare cu aceleași dotări suplimentare ca la instalațiile de ventilare.</li> </ul>
<p><i>Centrale termoelectrice</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- conductele de abur și armăturile de închidere, de reglare și de reducere;</li> <li>- supapele de siguranță. Zgomotul este bogat în frecvențe medii și, în special, înalte, ajungând uneori chiar și în domeniul ultrasunetelor;</li> <li>- instalațiile auxiliare (ventilatoare), generatoarele de energie electrică, compresoarele cu piston pentru furnizarea aerului comprimat;</li> <li>- în sălile de compresoare, datorită funcționării simultane a acestora, se pot produce interferențe care provoacă o fluctuație a nivelului de presiune acustică globală a zgomotului de 104-112 dB.</li> <li>- cazanele de abur, unde principala sursă de zgomot este constituită de arzătoare care, datorită numărului lor mare, produc un zgomot puternic.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- proiectarea utilajelor principale și auxiliare astfel încât zgomotul produs să aibă valori cât mai scăzute (admise);</li> <li>- izolarea (protejarea) fonică specială a camerelor de comandă;</li> <li>- gruparea utilajelor “zgomotoase” în vederea izolării lor;</li> <li>- ecranarea și carcasarea;</li> <li>- protejarea acustică cu materiale fonoabsorbante a elementelor vecine;</li> <li>- reducerea transmiterii vibrațiilor la elementele de rezistență ale clădirilor;</li> <li>- asigurarea unor zone speciale, protejate fonic pentru amplasarea mijloacelor de comunicație fonică și telefonică.</li> </ul>
<p><i>Ateliere mecanice</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mașinile și utilajele dinamice: strunguri, mașini de frezat, mașini de rabotat, ciocane de forjă etc.</li> <li>- procese tehnologice cu șocuri, generatoare de zgomot și vibrații (îndreptarea tablelor, nituirea, tăierea, lucrările de tinichigerie).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fonoizolarea sursei de zgomot</li> <li>- reducerea zgomotului la sursă;</li> <li>- introducerea unor procese tehnologice care să elimine acțiunile prin șocuri (furnizoare de zgomot);</li> <li>- utilizarea la prelucrarea materialelor metalice a unor ganituri din amateriale amortizante;</li> <li>- vibroizolarea activă a mașinilor</li> </ul>

<p><i>Cuptoare</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- arzătoarele (zgomot produs prin arderea combustibilului și prin aspirarea aerului de preamestec);</li> <li>- ventilatoarele de tiraj forțat, supapele de reglare și suflantele.</li> </ul>	<p>unelte.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- utilizarea unor arzătoare mici cu amortizoare de zgomot pentru a reduce la minim zgomotul produs la registrul pentru aer secundar;</li> <li>- plasarea pe traseul de transmisie a amortizoarelor de zgomot;</li> <li>- supradimensionarea arzătoarelor pentru a reduce presiunile de gaz;</li> <li>- utilizarea unor combustibili cu putere calorică mare și cu presiune acustică la ardere scăzută;</li> <li>- asigurarea unor curgeri netulburente prin treceri treptate;</li> <li>- asigurarea unei stabilități maxime a flăcării în intregul interval de funcționare;</li> <li>- proiectarea și utilizarea unor ventilatoare cu tiraj forțat și/sau Indus, în camere căptușite fonic, care include și arzătoarele;</li> <li>- utilizarea unor ventilatoare silențioase.</li> </ul>
<p><i>Conducte prin care se vehiculează gaze cu viteze mari (conducele de aspirație și conductele de refulare)</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Conductele de aspirație de acest tip sunt amplasate de obicei la turbosuflante și turbocompresoare;</li> <li>b. Conductele de refulare (ejectoare) se folosesc în cazul ventilării locurilor de muncă cu pericol de explozie.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- modificarea formei ajutorajului;</li> <li>- atenuatoare de zgomot prin diverse procedee.</li> </ul>