

ASPECTE PRIVIND CERNEREA MATERIALELOR PE CIURURILE VIBRATOARE I

Probleme privind trecerea materialului prin sită

ASPECTS OF SCREENING MATERIALS ON THE VIBRATOR SCREENS I

Problems with the material passing through the sieve

Prof. univ. dr. ing. Gheorghe ENE¹, Conf. dr. ing. Teodor SIMA¹

¹Departamentul Echipamente pentru Procese Industriale
Universitatea "POLITEHNICA" București, Romania

Rezumat: În lucrare sunt prezentate elementele de bază privind clasarea materialelor prin cernere pe site: mecanismul clasării prin cernere, dimensiunea de separare, calitatea cernerii (precizia și eficiența acesteia), probabilitatea de trecere a granulelor prin ochiurile sitei și trecerea materialului prin sită, pe lungimea acesteia. În final sunt prezentate condițiile pe care trebuie să le îndeplinească ciururile vibratoare pentru a realiza o cernere de calitate.

Cuvinte cheie: ciur vibrator, stratificare, cernere

Abstract: The paper focuses the basic elements regarding the materials' screening on sieves: the sizing mechanism through sieving, the breaking dimension, the sieving quality (accuracy and efficiency, the passing probability of granules through the sieve's mesh and that one of material passing along the sieve's length. The conditions that have to be complied by vibrating screens in order to achieve a quality screening are conclusively presented.

Keywords: vibrating screen, sifting, stratification

1. GENERALITĂȚI

În esență, procesul de cernere constă în compararea statistică a mărimii particulelor cu mărimea (deschiderea) ochiurilor sitei. Pentru aceasta trebuie ca materialul supus cernerii să se deplaseze în raport cu suprafața sitei. Teoretic, procesul de cernere cuprinde trei faze principale [1]:

- stratificarea (strecurarea granulelor mărunte prin stratul de material până ajung în contact cu suprafața sitei);
- clasarea (cernerea propriu-zisă, care constă în compararea statistică dintre mărimea granulelor și deschiderea ochiurilor sitei);
- trecerea prin sită a granulelor care au mărimea mai mică decât deschiderea ochiurilor acesteia.

Aceste trei faze principale au loc concomitent, fiind condiționate de caracterul mișcării pe care sita o transmite materialului. Actualmente, pentru cernerea continuă a diferitelor materiale se utilizează, aproape în exclusivitate, ciururile vibratoare la care mișcarea materialului se face prin salturi pe suprafața sitei.

2. ELEMENTE DE BAZĂ PRIVIND CERNEREA

2.1. Dimensiunea de separare

În cazul cernerii, dimensiune de separare d_s se consideră ca fiind dimensiunea ochiului sitei pe care se face cernerea. Această mărime este constantă deoarece ea nu depinde de forma granulelor materialului supus cernerii, de compoziția granulometrică a acestuia, de încărcarea sitei cu material etc. Această dimensiune de separare este constantă și în timp, creșterea dimensiunii ochiurilor sitelor din țesătură sau din tablă perforată ca urmare a uzurii acestora fiind foarte redusă. În plus, această dimensiune poate fi măsurată cu ușurință, în mod direct.

Teoretic, cernerea unui material granular pe sita cu dimensiunea ochiurilor d_s , acesta este separat în două fracțiuni (clase): fracțiunea superioară care rămâne deasupra sitei (fracțiunea grosieră sau refuzul R) și fracțiunea inferioară formată din granulele care au trecut prin sită (fracțiunea fină sau trecerea T). În cazul cernerii ideale fracțiunea superioară va conține numai granule cu dimensiunea $d \geq d_s$, iar cea inferioară numai granule cu dimensiunea $d \leq d_s$.

În cazul cernerii reale separarea nu este perfectă o parte din materialul fin rămânând împreună cu cel grosier în fracțiunea superioară (subgranulația), iar o parte din materialul grosier trecând prin sită în fracțiunea fină (supragranulația)(v. fig. 1).

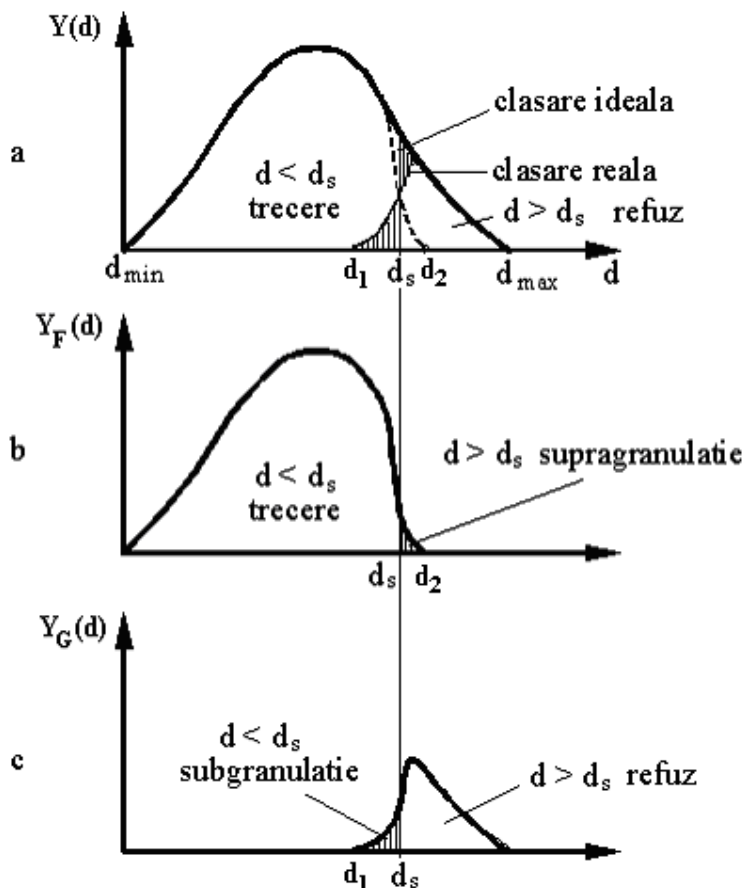


Fig. 1. Reprezentarea cernerii ideale și a celei reale cu ajutorul curbei granulometrice simple.

Aspecte privind cernerea materialelor pe ciururile vibratoare I

a – materialul inițial; b – fracțiunea inferioară (trecere); c – fracțiunea superioară (refuz);
Y(d) – frecvența masică (cantitățile procentuale de granule cu dimensiunea d); d_s – dimensiunea de separare.

Cernerea ideală este reprezentată prin linia verticală care trece prin abscisa d_s (dimensiunea de separare). Cernerea reală este reprezentată prin curba continuă care are forma literei S (v. fig. 1) Suprafețele hașurate cuprinse între curba (dreapta) cernerii ideale și curba cernerii reale reprezintă cantitatea de material fin care rămâne în materialul grosier, respectiv cantitatea de material grosier care trece prin sită în materialul fin (v. fig. 1).

Procesul de cernere este influențat de o serie de factori, printre care un rol important îl au următorii [1]:

- a) forma ochiurilor sitei;
- b) forma granulei, cea mai avantajoasă fiind forma sferică, iar cea mai dezavantajoasă, forma alungită;
- c) valoarea raportului dintre aria suprafeței active (aria totală, liberă, a ochiurilor) și aria suprafeței totale a sitei: valoarea mare a raportului conduce la debit mare, însă și la uzare mai rapidă a sitei;
- d) dimensiunile sitei, cu sporirea drumului parcurs de material pe sită se îmbunătățește calitatea cernerii;
- e) unghiul sub care cad granulele pe sită, în cazul cernerii prin aruncarea materialului, respectiv alegerea vitezei optime de deplasare a materialului, în cazul cernerii prin lunecare;
- f) caracterul mișcării (cinematica) sitei;
- g) umiditatea superficială a granulelor, care poate favoriza aglomerarea acestora;
- h) alimentarea sitei (suficientă și uniformă);
- i) grosimea stratului de material pe sită, grosimea excesivă îngreunează cernerea, datorită faptului că granulele mici aflate deasupra stratului (la alimentarea sitei) nu au posibilitatea, întotdeauna, să străbată stratul pentru a ajunge la suprafața sitei, pe parcursul ei până la evacuare.

Numărul mare de factori enumerați (fără a preciza și factorii mai puțin importanți) fac extrem de dificilă o cernere perfectă – când granulele, de dimensiune egală sau mai mică decât dimensiunea ochiurilor sitei, ar trece în cernut (fracțiune fină). Practic nu se întâlnește o cernere perfectă.

2. 2. Calitatea cernerii

Calitatea cernerii arată în ce măsură cernerea în condiții reale se apropie de cernerea teoretică și poate fi apreciată prin: curba de separare; eficiența cernerii; calitatea produselor obținute în urma procesului de cernere (aceasta reprezintă gradul de impurificare al uneia din fracțiuni cu granule din cealaltă fracțiune).

Curba de separare (v. fig. 1) dă informații asupra modului în care se face cernerea. Clasarea este cu atât mai precisă cu cât curba separării reale este mai apropiată de dreapta verticală a separării ideale și cu cât domeniul $d_1...d_2$ al dimensiunilor granulelor sortate eronat este mai restrâns.

De multe ori calitatea cernerii se apreciază utilizând curba de cernere Tromp. Această curbă determină, pentru zona de separare, raportul dintre cantitatea de material de o anumită dimensiune d rămas în partea grosieră și totalul materialului de aceeași dimensiune existent în materialul alimentat pe sită.

Pentru o clasă de granule eficiența cernerii reprezintă raportul dintre cantitatea de granule din această clasă cernută corect și cantitatea totală de granule din aceeași clasă aflată în materialul supus cernerii.

Eficiența cernerii se determină cu relațiile [5]:

- pentru clasa fină:

$$\varepsilon_F = \frac{\varphi \cdot (\alpha - \gamma)}{\alpha \cdot (\varphi - \gamma)}; \quad (1)$$

- pentru clasa grosieră:

$$\varepsilon_G = \frac{(\alpha - \varphi) \cdot (100 - \gamma)}{(\gamma - \varphi) \cdot (100 - \alpha)}; \quad (2)$$

- pentru ansamblul materialului:

$$\varepsilon = \frac{100 \cdot (\alpha - \varphi) \cdot (\alpha - \gamma)}{\alpha \cdot (100 - \alpha) \cdot (\gamma - \varphi)}; \quad (3)$$

unde α este cantitatea de material fin din totalul materialului alimentat pe sită, %; γ - cantitatea de material fin din fracțiunea rămasă pe sită (refuz), %; φ - cantitatea de material fin din fracțiunea trecută prin sită (trecere), %.

3. PROBABILITATEA TRECERII GRANULEI PRIN OCHIUL SITEI

Probabilitatea de trecere a granulelor de material prin ochiurile sitei depind de o multitudine de factori dintre care o influență deosebită o au dimensiunea și forma granulelor în raport cu dimensiunea și forma ochiurilor sitei.

În ipoteza că granulele de material cad pe sită după direcția normală la aceasta, probabilitatea trecerii granulelor sferice prin ochiurile sitelor cu ochiuri pătrate se definește prin mărimea (v. fig. 2) [1]:

$$k = \frac{(d_s - d)^2}{(d_s + \delta)^2} = \frac{\left(1 - \frac{d}{d_s}\right)^2}{\left(1 + \frac{\delta}{d_s}\right)^2}. \quad (4)$$

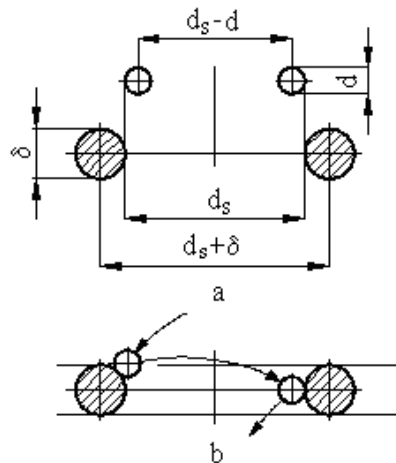


Fig. 2. Determinarea probabilității de trecere.

Mărimia k scade cu creșterea mărimilor $\frac{d}{d_s}$ (adică cu cât dimensiunea granulei se apropie de deschiderea ochiului) și $\frac{\delta}{d_s}$ (adică cu cât sita este mai “groasă”). Dependența $k = f\left(\frac{d}{d_s}, \frac{\delta}{d_s}\right)$ este reprezentată grafic în figura 3 [1].

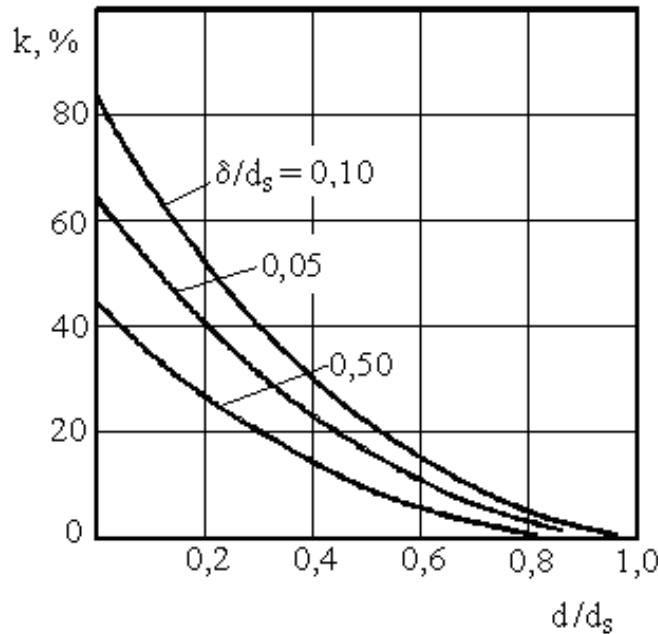


Fig. 3. Dependența $k = f\left(\frac{d}{d_s}, \frac{\delta}{d_s}\right)$.

Din reprezentarea grafică a mărimii k (v. fig. 3) se observă, de exemplu, că pentru $\frac{d}{d_s} = 0,2$ și $\frac{\delta}{d_s} = 0,25$, $k \approx 0,40$. Probabilitatea reală însă poate fi mai mare decât valoarea k , deoarece granulele care se lovesc de sârmele ochiului sunt deviate și pot trece prin acesta (v. fig. 2 b). Granulele cu $d = (0,8...1,0) \cdot d_s$ au o probabilitate de trecere foarte redusă. Pentru ca acestea să treacă prin ochiuri este necesară o repetare frecventă a comparației dintre mărimea lor și deschiderea ochiurilor. Asemenea granule “dificile” din punctul de vedere al cernerii se pot bloca în ochiurile sitei reducând aria suprafeței libere a acesteia și perturbând prin aceasta procesul de cernere.

De regulă, pentru a înlesni înaintarea materialului în lungul sitei ciurului acesta se montează înclinată cu un unghi $\alpha = 8...15^\circ$ față de planul orizontal. Prin înclinarea sitei se produce o reducere aparentă a deschiderii ochiurilor acesteia (v. fig. 4), ceea ce conduce la scăderea probabilității de trecere a granulelor îndeosebi în cazul sitelor groase.

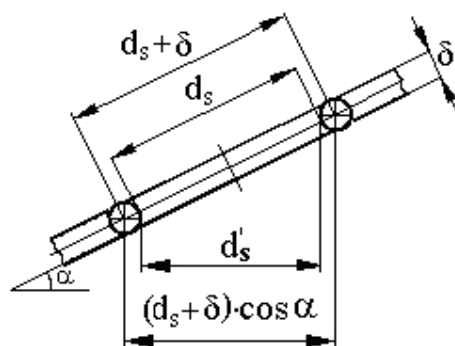


Fig. 4. Reducerea aparentă a deschiderii ochiurilor sitei ca urmare a înclinării acesteia.

Dimensiunea aparentă a ochiurilor sitei înclinate are valoarea (v. fig. 4):

$$d'_s = (d_s + \delta) \cdot \cos \alpha - \delta = d_s \cdot \cos \alpha - \delta \cdot (1 - \cos \alpha). \quad (5)$$

Pentru site subțiri $\delta \ll d_s$, și pentru unghiuri $\alpha \leq 8^\circ$, $d'_s = d_s$ deoarece $\cos \alpha \approx 1$ (cu o eroare de 1%). Pentru site groase însă, probabilitatea de trecere se reduce.

Pentru a mări probabilitatea de trecere a granulelor prin sitele înclinate acestea trebuie să aibă deschideri ale ochiurilor mult mai mari decât dimensiunea granulelor: $d_s = (1,2 \dots 1,3) \cdot d$.

Pe această bază sunt construite și funcționează ciururile Mogensen (fig. 5) [1]. Aceste ciururi au un număr de 4...5 site, cu lungimea relativ redusă și cu dimensiunea ochiurilor de 2...2,5 ori mai mare decât dimensiunea de separare, amplasate una sub alta astfel încât înclinarea lor față de orizontală crește treptat de la sita superioară (care are unghiul de înclinare de circa 40°) la sita inferioară (care are unghiul de înclinare de circa 60°).

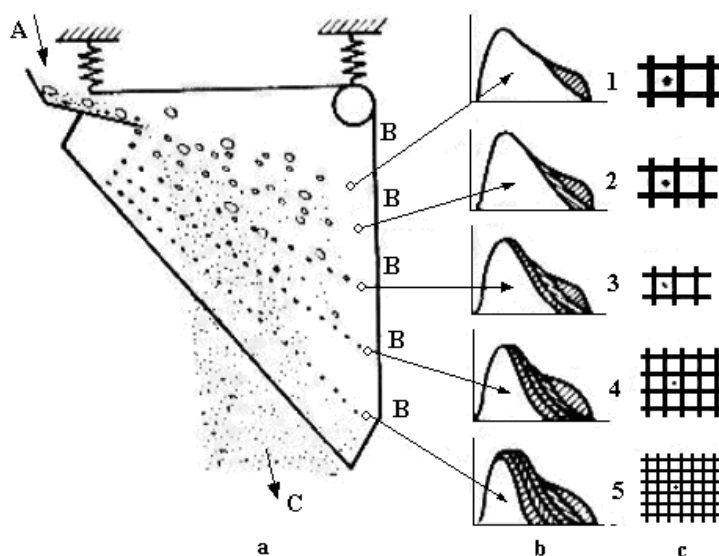


Fig. 5. Ciur Mogensen (principiu de funcționare) [1].

A . schema ciurului; b – curbele de cernere Tromp corespunzătoare fiecărei site; c – mărimea ochiurilor sitelor; A – alimentarea ciurului; B – evacuarea refuzurilor; C – evacuarea trecerii; 1 - 5 site.

Deoarece dimensiunea aparentă a ochiurilor sitei scade pe măsură ce crește înclinarea acesteia față de orizontală, sitele pot să aibă toate ochiuri de aceeași dimensiune sau ochiuri ale căror dimensiuni scad începând de la sita superioară spre sita inferioară. În acest ultim caz, procesul de cernere este influențat atât de așezarea suprapusă a sitelor în ordinea descrescătoare a ochiurilor cât și de sporirea treptată a înclinării lor față de orizontală.

Pe măsură ce materialul supus cernerii trece succesiv prin site scade dimensiunea de separare și crește precizia (calitatea) clasării. În timpul procesului de cernere dimensiunea de separare rămâne, pentru oricare dintre site, mult mai mică decât dimensiunea ochiurilor sitei respective, evitându-se astfel obturarea ochiurilor cu granule dificile, fenomen întâlnit în cazul proceselor de cernere la care dimensiunea de separare este egală cu dimensiunea ochiurilor sitei.

Datorită înclinării mari a sitelor materialul supus cernerii se poate deplasa pe sită sub acțiunea greutății proprii. Totuși, pentru a înlesni deplasarea materialului pe site carcasa acestora realizează oscilații sub acțiunea unui generator de vibrații de construcție adecvată.

Pentru a obține o eficiență ridicată a cernerii este necesar să se adopte în mod corespunzător numărul sitelor și înclinarea acestora.

La cernerea unui material pe ciurul Mogensen se obțin două fracțiuni: una formată din particulele de material care au trecut prin toate sitele, cealaltă formată din refuzurile cumulate ale tuturor sitelor, dimensiunea de separare fiind o mărime variabilă care se modifică cu variația debitului și/sau granulația materialului alimentat pe ciur.

4. TRECEREA MATERIALULUI PRIN SITĂ, PE LUNGIMEA ACESTEIA

Experiența practică arată că, în cazul cernerii, este valabilă ipoteza proporționalității cantitative, adică: pentru o clasă îngustă de dimensiuni ale granulelor, cantitatea de granule care trec prin sită în unitatea de timp este proporțională cu cantitatea acestor granule pe suprafața sitei.

La alimentarea materialului pe sită cea mai mare parte a granulelor mărunte (mai mici decât ochiurile sitei) trec prin aceasta (v. fig. 6 a). Pe măsură ce materialul se deplasează în lungul sitei și granulele fine trec prin aceasta, compoziția lui granulometrică se modifică devenind tot mai bogat în granule mai mari care trec din ce în ce mai greu prin sită (v. fig. 6 a). Din această cauză o parte din material, ale cărui granule sunt mai apropiate ca mărime de cea a ochiurilor sitei (granule dificile), nu trece prin sită, rămânând necernut.

Pentru a evita această situație, care conduce la o calitate nesatisfăcătoare a cernerii, este necesar ca sita să aibă o lungime mare ceea ce ar fi dezavantajos atât din punct de vedere tehnic (ciur cu gabarit mare pe lungime) cât și economic. Prin urmare, trebuie realizat un compromis între calitatea cernerii și lungimea sitei.

Analizând curbele din figura 6 b, stabilite experimental, se constată că granulele mărunte, cu dimensiuni $d = (0,25...0,50) \cdot d_s$ (d_s – dimensiunea ochiului sitei), trec prin sită în prima jumătate a acesteia, pe când granulele dificile ($d = (0,25...0,50) \cdot d_s$) au șansa să nu treacă prin sită chiar dacă parcurg întreaga lungime a acesteia.

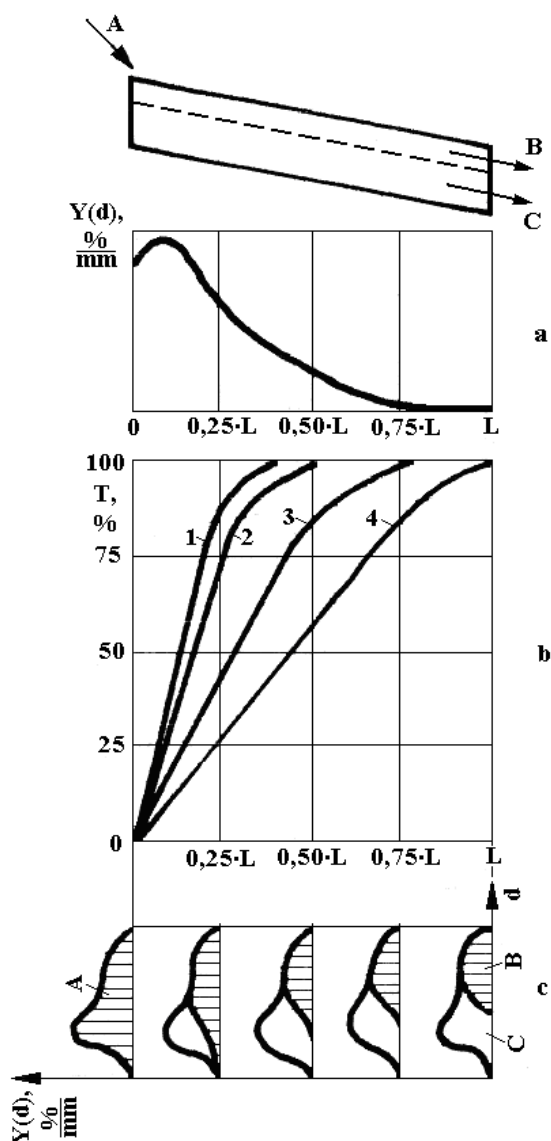


Fig. 6. Reprezentarea grafică a desfășurării procesului de cernere pe lungimea sitei [4].

a – curba de variație a trecerii fracțiunii fine în funcție de lungimea sitei;

b – curbele de variație ale trecerii fracțiunii fine în diferite zone ale lungimii sitei, în funcție de

raportul d/d_s ; c – curbele de cernere Tromp corespunzătoare diferitelor valori ale raportului d/d_s ;

A – materialul alimentat pe sită; B – fracțiunea grosieră (refuz); C – fracțiunea fină (trecerea T);
 L – lungimea sitei; d – diametrul granulei; d_s – dimensiunea ochiului sitei (dimensiunea de separare);

$Y(d)$ – frecvența masică a granulelor cu dimensiunea d ; 1 - $0 < d/d_s < 0,25$;

2 - $0,25 < d/d_s < 0,5$; 3 - $0,5 < d/d_s < 0,8$; 4 - $0,8 < d/d_s < 1,0$.

Debitul de trecere al materialului prin sită este direct proporțional cu aria suprafeței active a acesteia (aria liberă) care se caracterizează prin coeficientul suprafeței active. Acesta depinde de tipul constructiv al sitei, de modul de dispunere a ochiurilor și, îndeosebi, de grosimea sitei.

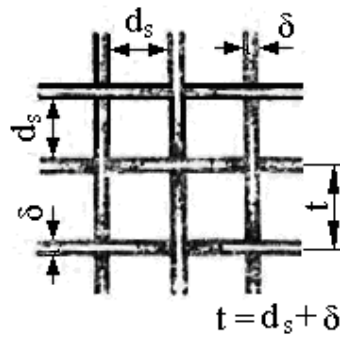


Fig. 7. Sită din țesătură.

Pentru sitele din țesătură coeficientul suprafeței active este determinat de relația (fig. 7) [1, 2]:

$$C_a = \frac{A_{lib}}{A_t} \cdot 100 = \frac{d_s^2}{(d_s + \delta)^2} \cdot 100\% \quad (5)$$

Sitele din țesătură se caracterizează prin valori $C_a = 60...75 \%$, iar cele din tablă perforată prin valori $C_a = 25...50 \%$, adică cu mult mai mici decât ale sitele din țesătură.

Fenomenul cernerii pe site vibratoare este foarte complex depinzând de un număr mare de parametri care intervin simultan în procesul de lucru și care influențează eficiența cernerii și debitul ciurului vibrator. Dintre acești parametri se evidențiază frecvența și amplitudinea vibrațiilor, unghiul de înclinare a sitei ciurului, traiectoria vibrațiilor (circulare, eliptice, unidirecționale), lungimea sitei vibratoare, respectiv raportul optim între lățimea și lungimea acesteia, regimul de mișcare al materialului pe suprafața sitei, energia necesară pentru menținerea regimului vibrator etc.

5. CONDIȚIILE NECESARE REALIZĂRII UNEI CERNERI DE CALITATE

Pentru a realiza o cernere de calitate, trebuie ca parametrii vibrațiilor sitei (amplitudine și frecvență) să fie corelați cu ceilalți parametri, astfel încât să se realizeze simultan valorile necesare pentru înălțimea și lungimea saltului granulelor de material pe sită. Realizarea valorilor corecte ale înălțimii și lungimii saltului conduce la creșterea numărului de salturi ale granulelor pe suprafața sitei și, prin urmare, la mărirea probabilității de trecere a acestora prin ochiurile sitei.

Înclinarea sitei se adoptă astfel încât căderea granulei să aibă loc după o direcție cât mai apropiată de normala la sită, aceasta determinând creșterea probabilității de trecere a granulelor prin ochiurile sitei.

Prin urmare, pentru realizarea unei cernerii de calitate trebuie îndeplinite următoarele condiții necesare:

- Asigurarea unui regim de deplasare prin salturi a materialului pe sită la care durata contactului dintre acestea să fie cât mai redusă; se evită în acest mod uzura excesivă a sitei datorită alunecării materialului pe ea;
- Asigurarea unei valori a vitezei de înaintare a materialului în lungul sitei astfel încât să se realizeze atât trecerea granulelor prin ochiurile sitei cât și debitul impus ciurului;
- Asigurarea unei valori a lungimii saltului astfel încât granulele să se deplaseze, pe cât posibil, din ochi în ochi; aceasta determină creșterea probabilității trecerii prin sită a

granulelor dificile, ca urmare a sporirii numărului de comparații statistice dintre acestea și ochiurile sitei;

- Asigurarea unei înălțimi suficiente a saltului pentru ca granulele dificile pătrunse parțial în ochiurile sitei să poată sări peste sârma din fața lor;

- Traectoria relativă a materialului în raport cu sita trebuie să asigure desprinderea granulei de pe sită după o direcție cât mai apropiată de cea normală, ceea ce înlesnește desprinderea granulelor dificile înțepenite parțial în ochiurile sitei;

- Traectoria relativă a materialului în raport cu sita trebuie să asigure direcția de cădere granulei pe sită după o direcție cât mai apropiată de cea normală, ceea ce determină creșterea probabilității de trecere și reducerea frecării dintre material și sită la impactul acestora.

Pentru o cernere eficientă este necesar ca, în cazul în care granula nu a trecut printr-un ochi al sitei, înălțimea și lungimea saltului acesteia să fie suficient de mari pentru a-i permite granulei trecerea în ochiul următor. În urma studiilor experimentale rezultă că valorile optime pentru înălțimea și lungimea saltului granulei se pot determina cu relațiile [3, 5] (v. fig. 8):

$$h_s \cong 0,5 (d_s + \delta); \quad (5)$$

$$l_s = 0,8 (d_s + \delta). \quad (6)$$

unde δ este diametrul sârmei din care este țesută sita (mărimea punțiței dintre găuri (ochiuri), la sitele din tablă perforată).

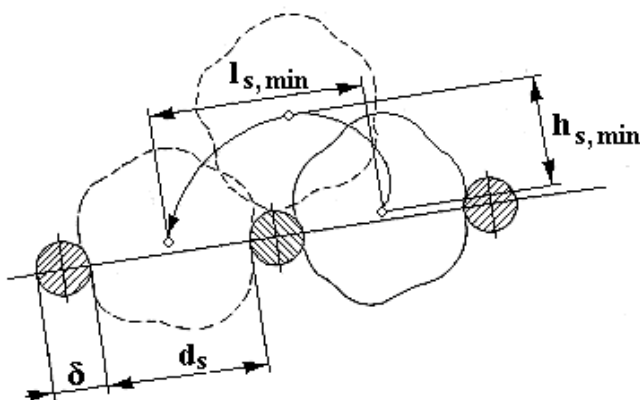


Fig. 8. Schiță pentru stabilirea mărimilor minime ale înălțimii și lungimii saltului granulei.

6. CONCLUZII

Cantitatea de material care trece prin sită depinde de conținutul în fracțiuni mărunte a acestuia (ipoteza proporționalității cantitative), aria liberă a sitei (coeficientul suprafeței active), conținutul granulelor dificile (care au dimensiuni apropiate de cele ale ochiurilor sitei), regimul vibrator al sitei etc.

Deoarece granulele dificile trec cu greu prin ochiurile sitei, cernerea eficientă a materialelor care au un conținut ridicat de astfel de granule necesită o sită de lungime mare, soluție ineficientă atât din punct de vedere tehnic cât și economic. În acest caz, pentru a spori probabilitatea trecerii materialului prin sită, în scopul reducerii lungimii acesteia, trebuie să se mărească numărul de comparații statistice dintre granule și deschiderea ochiurilor sitei. Acest lucru se poate realiza prin adoptarea unui astfel de regim vibrator al ciurului care să permită deplasarea granulelor din ochi în ochi la fiecare oscilație a sitei.

Bibliografie

- [1] **Ene, Gh.**, *Echipamente pentru clasarea și sortarea materialelor solide polidisperse*, Editura Matrix Rom, București, 2005.
- [2] **Ene, Gh., Marin, C.**, *Calculul și construcția mașinilor vibratoare*, Editura Printech, București, 2009.
- [3] **Ene, Gh.**, *Revista de Chimie*, 52, nr. 7 - 8, 2001, p. 420 - 425.
- [4] **Stamatiade, C.**, *Analiza performanței parametrice a procesului de sortare prin vibrație a agregatelor minerale, pentru asigurarea calității betonului*, Universitatea „DUNĂREA DE JOS” Galați, 2009.
- [5] **Peicu, R. A.** *Studiul vibrațiilor la ciururi în vederea stabilirii unor metode de calcul și proiectare, în scopul îmbunătățirii coeficientului de calitate al cernerii*. Teză de doctorat, Institutul de Construcții București, 1975.