

UNIVERSITATEA  
„EFTIMIE MURGU“ REȘIȚA  
FACULTATEA DE INGINERIE

UNIVERSITATEA  
POLITEHNICĂ TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE MECANICĂ

ING. GERALD WEISZ

Aspecte referitoare la optimizarea funcționării unor  
mecanisme de dozare a materialelor în vrac,  
utilizând sisteme computerizate

TEZĂ DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

622.544  
366 7

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:  
PROF. DR. ING. ȘTEFAN ANGHEL

## **Prefață**

*Confruntat cu problematica mecanismelor și sistemelor de dozare a materialelor în vrac încă din perioada studiilor universitare, autorul a căutat soluții de optimizare a funcționării acestora, în mod special din punct de vedere al constanței și preciziei dozării. Rezultatul studiului este reflectat în prezenta teză de doctorat, concepută ca o lucrare integrativă a principalelor domenii ce interferă în industria modernă: mecanica, tehnologia producției, automatizările și ingineria software.*

*Pomind de la caracteristicile procesului de dozare, autorul a studiat profund gama largă a soluțiilor tehnice utilizate la dozatoarele moderne, analizându-le avantajele precum și dezavantajele, atât la nivel tehnic, cât și la nivel economic. Pe această bază, pe parcursul lucrării au fost dezvoltate soluții originale de îmbunătățire a performanțelor mecanismelor, respectiv ale sistemelor de dozare. Conceptele originale prezentate pe parcursul lucrării au fost concepute modular, astfel încât să poată fi aplicate la majoritatea dozatoarelor prezentate în lucrare, atât în faza inițială de realizare, cât și la extinderi ulterioare.*

*Soluția originală de compensare dinamică, în timp real, a variației densității materialului în vrac prin modificarea corespunzătoare a turației elementului de dozare, determină îmbunătățirea preciziei și constanței dozării la toate tipurile de dozatoare ce funcționează prin extragerea, prin procedee mecanice, a materialului în vrac compresibil dintr-un depozit plasat de-asupra elementului de dozare.*

*Pentru sistemele de dozare controlate prin calculatoare de proces, se propune un filtru dinamic expert, ce poate prelucra în timp real datele achiziționate de la un dozator, eliminând perturbațiile pe baza caracteristicilor procesului, fără a denatura evoluția semnalului urmărit.*

*Urmând tendințele moderne, autorul propune în final și o metodă concepțional simplă și sigură de extindere a comenzii sistemelor de dozare prin Internet, respectiv Intranet. Fiind de o eficiență economică deosebită, pe baza metodei propuse au fost deja realizate produse software cu caracter comercial, produse ce au confirmat practic avantajele metodei "InNet Automation Batch" a autorului.*

*Aplicând soluțiile propuse, individual sau în grup, se poate optimiza funcționarea dozatoarelor de material în vrac, îmbunătățind precizia și constanța dozării, deci implicit calitatea produselor obținute, precum și eficiența utilizării capacităților de producție disponibile - factori determinați în succesul de durată al unei firme.*

*Pe această cale, autorul dorește să-și exprime încă odată mulțumirea față de toți cei care l-au sprijinit în realizarea prezentei lucrări: conducătorului științific, dl. prof. dr. ing. Ștefan Anghel, referenților de specialitate: dl. prof. dr. ing. Șt. Gârtașu, dl. prof. dr. ing. G. Savii, dl. prof. dr. ing. V. Zamfir, d-lui. prof. dr. ing. D. Perju, colegilor și cadrelor de specialitate de la Universitatea Politehnică Timișoara, de la Universitatea "Eftimie Murgu" Reșița și de la Fachhochschule Frankfurt, firmelor de specialitate pentru documentația pusă la dispoziție, și în mod special părinților și soției, pentru sprijinul și răbdarea de care au dat dovadă, tuturor celor care prin bunăvoința lor au făcut posibilă finalizarea acestei lucrări.*

*Autorul,  
septembrie 1998*

# Cuprins

<b>1. PROCESUL DE DOZARE .....</b>	<b>7</b>
1.1 APLICAȚII ALE PROCESELOR DE DOZARE ALE MATERIALELOR ÎN VRAC.....	8
1.2 DEFINIREA CARACTERISTICILE MATERIALELOR ÎN VRAC - ANALIZE ȘI CLASIFICĂRI .....	10
1.3 NECESITATEA OPTIMIZĂRII PROCESELOR DE DOZARE ȘI A MDMV .....	16
<b>2. TIPURI DE MDMV - CLASIFICĂRI .....</b>	<b>18</b>
2.1 MDMV CU MĂSURAREA MASEI DE SUBSTANȚĂ .....	18
2.1.1 <i>Dispozitive pentru măsurarea volumului de substanță</i> .....	21
2.2 MDMV FĂRĂ MĂSURARE, CU DELIMITARE VOLUMETRICĂ .....	22
2.2.1 <i>Mecanisme de delimitare volumetrică pentru dozarea fluidelor</i> .....	25
2.3 AMESTECĂTOARE DE MATERIAL ÎN VRAC .....	26
<b>3. ANALIZA MDMV ȘI SDMV VOLUMETRICE.....</b>	<b>28</b>
3.1 DOZATOARE CU MELC .....	31
3.2 DOZATOARE PRIN VIBRAȚIE .....	36
3.3 DOZATOARE PNEUMATICE CU CANAL TRANSPORTOR .....	37
3.4 DOZATOARE CU BANDĂ TRANSPORTOARE .....	37
3.5 DOZATOARE CU ROȚI CU CELULE DE DELIMITARE .....	39
3.6 DOZATOARE CU CAMERE DE DELIMITARE VOLUMICĂ.....	40
3.7 DOZATOARE CU PLATAN ROTATIV .....	41
3.8 DOZATOARE CU ROATĂ CU CANAL DE DELIMITARE .....	43
3.9 DOZATOARE CU PISTON.....	43
3.10 DOZATOARE CU ELEMENT DE BLOCARE ÎN TRANSLAȚIE .....	44
<b>4. ANALIZA MDMV ȘI SDMV GRAVIMETRICE ȘI A CELOR CU MĂSURAREA FLUXULUI DE MATERIAL ÎN VRAC .....</b>	<b>45</b>
4.1 CELULE DE CĂNTĂRIRE GRAVIMETRICE .....	45
4.1.1 <i>Mărimile caracteristice ale celulelor de cântărire</i> .....	47
4.2 ANALIZA SENZORILOR UTILIZAȚI LA CELULELE DE CĂNTĂRIRE .....	49
4.2.1 <i>Senzorul inductiv</i> .....	49
4.2.2 <i>Senzorul cu timbre tensometrice</i> .....	50
4.2.3 <i>Senzorul cu coardă vibrantă</i> .....	51
4.2.4 <i>Senzorul de forță giroscopic</i> .....	53
4.2.5 <i>Senzorul cu compensare electro-magnetică a forței</i> .....	53
4.2.6 <i>Senzorul piezo-electric</i> .....	54
4.2.7 <i>Senzorul rezistiv de forță (FSR)</i> .....	55
4.2.8 <i>Senzorul de radiație</i> .....	55
4.2.9 <i>Interferometrul laser</i> .....	55
4.3 SDMV GRAVIMETRICE CU CĂNTĂRIRE CONTINUĂ .....	56
4.3.1 <i>Dozatoare-cântar cu bandă transportoare</i> .....	57
4.3.2 <i>Dozatoare-cântar cu rotor</i> .....	60
4.3.3 <i>Dozatoare cu cântar diferențial</i> .....	63
4.4 SDMV GRAVIMETRICE CU CĂNTĂRIRE DISCONTINUĂ .....	69
4.5 SDMV CU MĂSURAREA FLUXULUI DE MATERIAL ÎN VRAC .....	73
4.5.1 <i>Dozatoare cu canal de ghidare</i> .....	73
4.5.2 <i>Dozatoare cu placă de impact</i> .....	75
4.5.3 <i>Dozatoare pe principiul forței Coriolis</i> .....	77
4.6 SDMV CU MĂSURAREA DE TIP ÎN-LINE A FLUXULUI DE MATERIAL .....	79
4.7 SDMV ÎN CONSTRUCȚIE MODULARĂ.....	82
<b>5. MODELE EXPERIMENTALE ȘI METODE DE DETERMINARE A MĂRIMILOR FUNCȚIONALE CARACTERISTICE PENTRU DOZATOARELOR CU MELC ȘI OPTIMIZAREA ACESTORA .....</b>	<b>85</b>
5.1 SECȚIUNEA EFECTIVĂ DE TRANSPORT .....	85
5.2 VITEZA AXIALĂ DE TRANSPORT.....	88
5.3 DENSITATEA REALĂ A MATERIALULUI ÎN VRAC .....	89
5.4 OPTIMIZAREA DOZĂRII PRIN UTILIZAREA AMESTECĂTOARELOR DE MATERIAL ÎN VRAC .....	92

5.4.1	Asigurarea unui flux continuu de material în zona de alimentare a melcului	92
5.4.2	Asigurarea umplerii complete a melcului de dozare	93
5.4.3	Evitarea pulsațiilor la utilizarea amestecătoarelor cu ax orizontal	94
5.5	OBSERVAȚII EXPERIMENTALE	95
5.6	METODA ORIGINALĂ DE COMPENSARE DINAMICĂ A VARIAȚIEI DE DENSITATE A MATERIALULUI ÎN VRAC	96
5.6.1	Principii de implementare ale metodei originale	98
5.7	OPTIMIZAREA FUNCȚIONĂRII DOZATOARELOR CU CÂNTAR DIFERENȚIAL	101
5.7.1	Filtre liniare adaptative pentru reducerea perturbațiilor permanente	103
5.7.2	Filtre neliniare pentru eliminarea perturbațiilor aleatorii	103
5.7.3	Controlul realimentării depozitului de material la dozatoarele cu cântar diferențial	103
5.8	OPTIMIZAREA FUNCȚIONĂRII DOZATOARELOR-CÂNTAR CU BANDĂ TRANSPORTOARE	104
<b>6.</b>	<b>CONDUCEREA PE CALCULATOR A PROCESELOR DE DOZARE A MATERIALELOR ÎN VRAC</b>	<b>108</b>
6.1	ASPECTE SPECIFICE ALE UTILIZĂRII CALCULATORILOR DE TIP PC LA ACHIZIȚIA ȘI PRELUCRAREA DATELOR DE PROCES	110
6.1.1	Convertoare analog-digitale și digital-analogice	111
6.2	SISTEME DE COMUNICAȚIE UTILIZATE LA CONDUCEREA PROCESELOR INDUSTRIALE	115
6.2.1	Sisteme de comunicații analogice	117
6.2.2	Sisteme de comunicații digitale	118
6.2.3	Sisteme de comunicații de proces (Field-Bus)	119
6.2.4	IEC-Bus (GPIB)	121
6.2.5	Sisteme de supraveghere la mare distanță a proceselor de dozare	122
6.2.6	Interfețe de comunicație standard utilizate în aplicațiile industriale	123
6.3	INFLUENȚA PERTURBAȚIILOR ELECTRO-MAGNETICE ASUPRA SISTEMELOR DE CONDUCERE A PROCESELOR INDUSTRIALE	124
6.3.1	Măsuri de protecție aplicate surselor de perturbații	124
6.3.2	Măsuri de protecție aplicate canalului de transmitere a perturbației	125
6.3.3	Măsuri de protecție aplicate receptorului de semnal	126
<b>7.</b>	<b>ASIGURAREA CALITĂȚII LA PROCESELE DE DOZARE</b>	<b>127</b>
7.1	IMPORTANȚA ETAPEI DE PROIECTARE ÎN ASIGURAREA CALITĂȚII PROCESULUI DE DOZARE	128
7.2	PRECIZIA DE DOZARE	129
7.2.1	Valoarea instantanee și valoarea medie	130
7.2.2	Surse de eroare la dozare	131
7.2.3	Baza de timp și determinarea erorilor de dozare	133
7.2.4	Analiza și evaluarea erorilor de dozare	135
7.2.5	Precizia de dozare și durata proceselor tehnologice	136
7.3	METODE PRACTICE DE CREȘTEREA SIGURANȚEI ÎN EXPLOATARE ȘI A CALITĂȚII PRODUSELOR LA SDMV CONDUSE DE CALCULATOR	137
7.3.1	Conducerea statistică a proceselor de dozare	137
<b>8.</b>	<b>IMPLEMENTAREA CONDUCERII OPTIMIZATE A SDMV CU AJUTORUL LIMBAJELOR DE PROGRAMARE DE NIVEL ÎNALT</b>	<b>139</b>
8.1	INTEGRAREA DE SUBPROGRAME ÎN LIMBAJ DE ASAMBLARE ÎN APLICAȚII REALIZATE CU LIMBAJE DE NIVEL ÎNALT	140
8.2	PROGRAMAREA COMUNICAȚIEI CU DISPOZITIVELE PERIFERICE	140
8.3	PROGRAMAREA PORTURILOR ÎN LIMBAJ DE ASAMBLARE LA PROCESOARELE COMPATIBILE INTEL 80X86	141
8.4	SOLUȚII DE COMUNICARE DIRECTĂ CU PORTURILE ÎN PASCAL	143
8.5	EXEMPLU DE PROGRAMARE A ACHIZIȚIEI DE DATE DE LA GAME-PORT	143
8.6	PROGRAMAREA APLICAȚIILOR DE CONTROL ȘI REGLARE A PROCESELOR PRIN TEHNICA INSTRUMENTELOR VIRTUALE	145
8.7	TEHNICI DE PROGRAMARE FOLOSITE LA ACHIZIȚIA DE DATE CU CALCULATORILOR DE TIP PC	146
8.7.1	Programare prin metoda polling	146
8.7.2	Programare prin metoda întreruperilor	147
8.8	ASPECTE SPECIFICE ALE PRELUCRĂRII ȘI ANALIZEI DATELOR DE PROCES CU SISTEME COMPUTERIZATE	149
8.9	PARTICULARITĂȚI ALE ACHIZIȚIEI ȘI PRELUCRĂRII DATELOR LA SDMV	149
8.10	VALOAREA MEDIE A UNUI EȘANTION DE VALORI - APLICAȚII ȘI EXEMPLE	150
8.10.1	Programarea calculului static al valorii medii liniare	150



8.10.2 Programarea calculului dinamic al valorii medii liniare.....	151
8.10.3 Metoda nerecursivă.....	151
8.10.4 Metoda recursivă.....	151
8.10.5 Programarea calculului abaterii medii standard.....	153
8.11 FILTRE DIGITALE SOFTWARE.....	155
8.11.1 Filtre software de ordinul I.....	155
8.11.2 Filtre software de ordine superioare.....	156
8.12 FILTRAREA SEMNALELOR ÎN TIMP REAL (ONLINE).....	159
8.12.1 Filtrarea semnalelor în timp real pe baza transformatelor Fourier rapide.....	159
8.12.2 Programarea filtrelor digitale bazate pe FFT.....	160
8.12.3 Analiza spectrală cu FFT.....	164
8.13 LINIARIZAREA PE CALE SOFTWARE A CURBELOR CARACTERISTICE A SISTEMELOR DE MĂSURARE.....	166
8.14 PROGRAMAREA REGULATOARELOR DE PROCES PE CALCULATOARE DE TIP PC.....	167
8.14.1 Programarea unui regulator proporțional - tip P.....	167
8.14.2 Programarea unui regulator complex - tip PID.....	168
8.14.3 Reglarea adaptativă.....	170
8.15 ÎNLOCUIREA COMPONENTELOR HARDWARE ALE SISTEMELOR DE MĂSURARE ȘI CONTROL CU MODULE SOFTWARE.....	171
<b>9. STUDII EXPERIMENTALE ȘI APLICAȚII ORIGINALE PRIVIND OPTIMIZAREA FUNCȚIONĂRII MDMV.....</b>	<b>172</b>
9.1 COMPENSAREA DINAMICĂ A DENSITĂȚII MATERIALULUI ÎN VRAC.....	172
9.2 IMPLEMENTAREA SISTEMULUI DE MĂSURARE ȘI CONTROL AL MDMV.....	173
9.3 OPTIMIZAREA FILTRĂRII DATELOR ACHIZIȚIONATE DE LA MDMV.....	174
9.4 SOLUȚIA ORIGINALĂ A FILTRULUI DINAMIC EXPERT.....	175
9.5 DETERMINAREA VITEZEI REALE MAXIME DE ACHIZIȚIE A SISTEMULUI DE MĂSURARE.....	180
9.6 METODE DE CREȘTERE A VITEZEI REALE MAXIME DE ACHIZIȚIE A DATELOR.....	180
9.7 COMANDA MDMV PE BAZA FILTRULUI DINAMIC EXPERT.....	181
9.7.1 Exemplu de reglare optimizată al unui dozator cu melc.....	181
9.7.2 Date experimentale.....	184
9.8 OPTIMIZAREA TELECONTROLULUI INSTALAȚIILOR DE PROCES, UTILIZÂND INTERNETUL.....	188
9.9 METODA ORIGINALĂ "INNET AUTOMATION BATCH".....	188
<b>10. SOLUȚII DE IMPLEMENTARE SOFTWARE ALE METODELOR ORIGINALE DE OPTIMIZARE A FUNCȚIONĂRII MDMV.....</b>	<b>191</b>
10.1 SOLUȚIE DE IMPLEMENTARE PENTRU SISTEMUL DE OPERARE MS-DOS.....	191
10.2 ACHIZIȚIA DE DATE PRIN APELUL ÎNTRERUPERILOR DOS APELATE DIN LIMBAJE DE NIVEL ÎNALT.....	195
10.3 PROGRAMAREA UNEI BIBLIOTECI DINAMICE (DLL) DE ACHIZIȚIE DE DATE PENTRU SISTEMELE DE OPERARE WINDOWS 3.x și WINDOWS 95.....	196
10.3.1 Exemplu de utilizare al bibliotecii dinamice (DLL) pentru achiziția de date.....	198
10.4 EXEMPLU DE PROGRAMARE ÎN VISUAL BASIC A COMENZII OPTIMIZATE A UNUI DOZATOR DE MATERIAL ÎN VRAC.....	199
10.4.1 Fișierul de configurare automată.....	205
<b>11. CONCLUZII PRIVIND APLICAREA SOLUȚIILOR ORIGINALE DE OPTIMIZARE A FUNCȚIONĂRII SDM.....</b>	<b>206</b>
<b>12. ANEXĂ.....</b>	<b>209</b>
12.1 ADRESE UTILE.....	209
<b>13. BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>210</b>

## 1 Procesul de dozare

Dozarea componentelor materiale este o etapă importantă a proceselor tehnologice industriale și de laborator, în cadrul proceselor de transformare energetico-materiale. Procesele de dozare sunt utilizate atunci, când în cadrul unui proces tehnologic este necesară deplasarea unei cantități determinate de substanță, într-o perioadă de timp prestabilă, în mod continuu sau discontinuu.

Un proces de dozare a materialelor presupune realizarea următoarelor acțiuni asupra substanțelor de dozat [70]:

- I. Măsurarea sau delimitarea cantitativă a substanței.
- II. Transportul substanței, realizat de regulă prin aport de energie din exterior și
- III. Reglarea mărimii impuse la dozare.

Numai efectuarea celor trei etape duce la realizarea unui proces de dozare.

<i>Dozare:</i> <i>Transport + Delimitare / Măsurare + Reglare</i>			
Continuă		Discontinuuă	
Volumetrică	Gravimetrică	Volumetrică	Gravimetrică
Controlată / Reglată		Controlată / Reglată	

Tab. 1.1 - Structura proceselor de dozare

La descrierea proceselor de dozare sunt utilizate următoarele noțiuni:

1. Fluxul de dozare (*dosing flowrate*), respectiv cantitatea de dozare (*dosing quantity*), numită și capacitatea de dozare (*dosing capacity*), care reprezintă cantitatea de substanță obținută la ieșirea dozatorului, în mod continuu sau discontinuu, într-un interval de timp prestabil.
2. Mărimea de reglare caracteristică a dozatorului (*manipulated variable*), al cărei domeniu de reglare (discret sau continuu) poate fi parcurs într-un timp de reglare (*regulating time*).
3. Alte mărimi caracteristice elementului de reglare sunt: pragul de sensibilitate (cea mai mică valoare ce poate fi impusă) și histerezisul acestuia (diferența valorilor stabilite la variația în sensuri opuse ale reglajului).
4. Pentru precizia de realizare a rețetelor de dozare este important și pasul minim de reglare la dozare.

Procesul de dozare este întotdeauna legat de masa substanțelor deplasate. De aceea, delimitarea cantitativă este conexă determinării masei, chiar și în cazurile când metoda de delimitare este bazată pe elemente de volum.

Astfel, procesele de dozare se împart în două tipuri principale:

- a) Procese de dozare prin măsurare - gravimetrice - la care fluxul sau masa de substanță de dozat sunt determinate prin măsurare, utilizându-se metode de comparație (continue sau secvențiale) ale valorilor impuse cu cele existente pentru fluxul, respectiv masa de substanță dozată.
- b) Procese de dozare fără măsurare - volumetrice - la care fluxul sau masa de substanță impusă se obțin pe baza relațiilor de calibrare dintre fluxul sau masa de substanță și mărirea de reglare caracteristică dozatorului. În acest caz, perturbațiile sunt eliminate în mare măsură prin controlul mărimilor de influență celor mai importante.

Funcție de complexitatea tehnică și de desfășurarea spațială a dozatoarelor, se vorbește de [4], [70]:

- Mecanisme (dispozitive) de dozare a materialelor în vrac (MDMV): cu un număr redus de componente și compacte ca și desfășurare.
- Instalații de dozare a materialelor în vrac (IDMV): realizate prin legarea unor MDMV cu dispozitive de reglare automată.
- Sisteme de dozare a materialelor în vrac (SDMV): cuprind mai multe IDMV interconectate printr-un modul comun de comandă (computerizată). SDMV sunt componente de bază la realizarea liniilor de producție automatizate.

## 1.1 Aplicații ale proceselor de dozare ale materialelor în vrac

Procesele de dozare își găsesc utilizarea într-o gamă largă de procese tehnologice industriale și de laborator, ca de exemplu: alimentarea cu combustibili solizi a termocentralelor, prepararea materialelor de construcții (ciment), fabricarea produselor alimentare (paste făinoase), sinteza medicamentelor și diverse alte domenii de aplicare, ce vor fi prezentate pe parcursul lucrării.

Dozarea materialelor în vrac are următoarele aplicații de bază:

1. Dozarea după rețetă
2. Dozarea funcțională
3. Reglarea prin dozare

1. Dozarea după rețetă este utilizată atât pentru obținerea amestecurilor de substanțe, cât și la procese de transformare a substanțelor. Aceste procese se pot desfășura în mod continuu sau discontinuu (în șarje). Dozarea după rețetă poate fi de următoarele tipuri:

- Dozare proporțională, caz în care debitul masic al unei substanțe din amestecul dozat se stabilește ca procentaj din debitul masic total, stabilit pentru amestecul de realizat.
- Dozare de dependență (*Master-Slave*), când una din componente este considerată principală, iar debitul masic corespunzător celorlalte substanțe se stabilește ca procentaj din debitului substanței principale (care poate avea un debit constant sau variabil).

- Dozare complementară, când suma debitelor masice a două componente dozate este menținută constantă.

2. Dozarea funcțională generează un flux de substanță dozată, funcție de natura procesului tehnologic deservit.

3. Reglarea prin dozare nu este considerată un proces de dozare în adevăratul sens, deoarece mărimea impusă nu este un debit sau o cantitate de substanță, ci o mărime de proces convenabil aleasă. La reglarea prin dozare se realizează un circuit de reglare pentru o mărime de proces, instalația de dozare fiind doar o componentă a circuitului de reglare, pe când în cazul dozării normale, instalația de dozare este folosită pentru reglarea fluxului de substanță dozată.

La dozarea după rețetă și la dozarea funcțională este esențială precizia cantitativă de dozare, în timp ce la dozarea de reglare este suficientă menținerea constanței dozării.

În sistemele de dozare apar deseori combinații ale tipurilor de dozare prezentate mai sus.

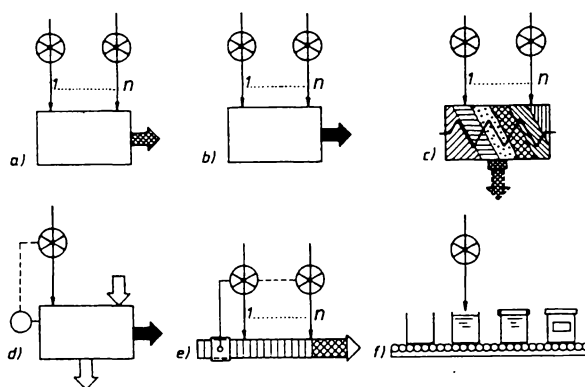


Fig. 1.1 - Aplicații ale dozării:

- Formarea continuă de amestecuri de substanță
- Transformarea continuă de substanță
- Formarea discontinuă de amestecuri de substanță
- Dozarea de reglare a unui proces
- Dozarea funcțională (proporțională)
- Procese de umplere

Notații:

<n> - Numărul de dozatoare utilizate în proces

Trebuie evidențiată și diferența între procesele de dozare și cele de umplere a ambalajelor. În ambele cazuri are loc o delimitare cantitativă a substanțelor, iar sistemele tehnice utilizate sunt principal asemănătoare. Umplerea este însă un caz special al dozării după rețetă, în șarje, și cu o singură substanță. Procesele de umplere au loc discontinuu, într-un ritm foarte ridicat, utilizând dispozitive tehnologic diferite de cele utilizate la procesele uzuale de dozare. În tehnica de umplere, procesul de dozare devine secundar în raport cu alte procese tehnologice, cum sunt: transportul, etichetarea, sigilarea și paletizarea ambalajelor. De aceea, procesul de umplere ține de tehnica de ambalare. O altă particularitate a ambalării o reprezintă faptul că, delimitarea cantitativă a substanțelor la umplere trebuie să se supună strict normelor metrologiei legale.

## 1.2 Definirea caracteristicile materialelor în vrac - analize și clasificări

Desfășurarea proceselor de dozare a substanțelor este determinată, în mod esențial, de proprietățile fizice ale acestora. De importanță deosebită sunt acele proprietăți, care influențează densitatea și curgerea substanțelor [48], [70], [82], [83].

După forma particulelor, materiale în vrac se clasifică în:

1. Materiale izotrope, având particule de formă aproximativ sferică și
2. Materiale anizotrope, având particule sub formă de fibre, solzi sau plăcuțe.

1. Materialele izotrope sunt de regulă compresibile, dar nu sunt coezive, formând eventual poduri mecanice de material. Pentru caracterizarea materialelor izotrope, care prezintă o curgere liberă, este necesară cunoașterea:

- ⇒ densității materialului,
- ⇒ a unghiului de frecare internă,
- ⇒ a unghiului de frecare cu peretele și
- ⇒ a unghiului de stabilizare al materialului.

2. Materialele anizotrope pot fi coezive, necoezive sau auto-fluidizante. Caracterizarea materialelor coezive se face prin:

- ⇒ densitatea materialului (obținută în urma încercărilor la compresiune ale materialului),
- ⇒ rezistența la compresiune uniaxială (pentru determinarea mărimii podurilor de material),
- ⇒ unghiul efectiv de alunecare și
- ⇒ unghiul de frecare cu peretele al materialului (pentru dimensionarea silozului).

Acești parametri sunt însă influențați de istoria materialului, cu referință la presiunea, timpul de stocare, temperatura și umiditatea la care a fost în prealabil supus materialul în vrac.

Materialele anizotrope auto-fluidizante au proprietatea de a pierde temporar frecarea internă și cea cu peretele, ca urmare a amestecării lor cu gaze sau aer, comportându-se asemănător fluidelor. De aceea, pentru caracterizarea lor mai este necesară și cunoașterea comportamentului la degazare, respectiv a timpului de degazare, care poate fi de ordinul zecilor de secunde până la câteva zile.

Clasificarea și simbolizarea materialelor în vrac se face după normele DIN ISO 3435 și reflectă cele mai importante proprietăți fizico-chimice ale materialului. De exemplu:

Zahăr pudră A I 3 n t w 0,85 semnificațiile fiind:

A - Dimensiunea particulelor între 0 - 0,4 mm

I - Muchii ascuțiți cu dimensiuni relativ egale

3 - Curgere normală, cu unghiul de stabilizare între 30 - 45°

n - Compresibil, sub acțiune externă sau de la sine

t - Praf

w - Higroscopic

0,85 - Densitatea materialului în vrac: 0,85 kg/l

Există și clasificări empirice ale materialelor în vrac, ce se utilizează în domenii specifice.

Pentru dozatoarele cu delimitare volumetrică a materialele în vrac de exemplu, s-au stabilit următoarele categorii de material în vrac:

- Pulbere curgătoare,
- Pulbere fluidizabilă, cu capacitate mare de reținere a aerului,
- Pulbere adezivă, nefluidizantă,
- Granulat tare,
- Granulat casant,
- Granulat deformabil plastic,
- Solzi.

Pentru dispozitivele de extragere și transport a materialului și, în general, pentru dozatoarele de materiale în vrac este întâlnită și următoarea clasificare, bazată pe un ansamblu de proprietăți:

1. Granulat:

Curgere bună, unghiul de curgere  $< 40^\circ$ , particule tari, dimensiunea particulelor  $> 2,5$  mm, umiditatea la suprafață  $< 6 - 7\%$ , compresibilitate  $< 15\%$ .

Exemple: cărbune, sare, granule de material plastic, cereale.

2. Granulat cu amestec de pulbere:

Curgere bună, unghiul de curgere  $< 50^\circ$ , dimensiunea particulelor de 0,25 - 2,5 mm, umiditatea la suprafață  $< 10\%$ , compresibilitate  $< 20\%$ , densitate  $> 0,3 \text{ kg/dm}^3$ .

Exemple: făină, amidon, rășini sintetice, oxizi.

3. Pulberi fine, fluidizante:

Auto-fluidizante, coezive, dimensiunea particulelor  $< 0,12$  mm, forma particulelor este neregulată, folioformă sau colțuroasă, umiditatea la suprafață  $< 10 - 15\%$ .

Exemple: pigmenți, ciment, var ars, talc, oxid de zinc și titan.

4. Fibre:

Unghiul de curgere  $< 60^\circ$ , compresibilitate  $> 35\%$ , densitatea  $< 0,3 \text{ kg/dm}^3$ .

Exemple: resturi din prelucrarea lemnului, fibră de sticlă, azbest.

5. Fulgi:

Unghiul de curgere  $< 50^\circ$ , compresibilitate  $< 35\%$ .

Exemple: rumeguș, fulgi de cereale.

Forma și distribuția particulelor de material este determinantă pentru formarea podurilor mecanice de material, prin rigidizarea reciprocă a particulelor. În general, mărimea unui asemenea pod este de până la 5 - 7 ori dimensiunea maximă a particulelor.

Pentru asemenea clasificări, densitatea materialului în vrac se stabilește ca raport între masa și volumul materialului în vrac, material ce umple încet, prin curgere liberă, de la o înălțime prestabilită, un recipient cilindric de volum determinat.

Compresibilitatea unui material în vrac se determină în mod experimental, cu un dispozitiv cu piston, care comprimă materialul aflat într-un cilindru de probă, prin presare statică, cu

sarcini mărite succesiv în timp. (Valorile măsurate pot prezenta împrăștieri de până la 15% în cazul sarcinilor reduse și de maxim 6% în cazul sarcinilor mari.) Pe această cale se poate determina variația relativă de volum a materialului în vrac în funcție de presiunea aplicată, variație exprimată cu abateri minime, pentru o gamă largă de materiale în vrac, de ecuația empirică stabilită de Kawakita [83]:

$$\frac{V_0 - V}{V_0} = \frac{a \cdot b \cdot p}{1 + b \cdot p}, \quad \text{unde:}$$

$\langle V_0 \rangle$  reprezintă volumul masei de material în stare normală,

$\langle V \rangle$  reprezintă volumul masei de material supus presiunii  $\langle p \rangle$ , iar

$\langle a \rangle$  și  $\langle b \rangle$  sunt constantele Kawakita, ce se extrag din tabele pentru materiale.

Pe baza relației lui Kawakita, se poate calcula și variația densității materialului în vrac solicitat la presiune internă (determinată de acțiunea propriei greutate), respectiv presiune externă:

$$\frac{\rho - \rho_0}{\rho} = \frac{a \cdot b \cdot p}{1 + b \cdot p}, \quad \text{unde:}$$

$\langle \rho_0 \rangle$  reprezintă densitatea materialului în vrac în stare normală și

$\langle \rho \rangle$  reprezintă densitatea materialului în vrac, supus presiunii  $\langle p \rangle$ . Densitatea determinată în urma acestor experimente este practic egală cu densitatea reală  $\langle \rho_r \rangle$  a materialului.

Unghiul de stabilizare al materialului în vrac  $\langle \alpha \rangle$ , furnizează informații calitative asupra curgerii materialului. El se calculează cu formula:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{4 \cdot h}{D_1 + D_2}\right), \quad \text{unde:}$$

$\langle h \rangle$  este înălțimea unei grămezi de material în vrac și

$\langle D_1 \rangle$  și  $\langle D_2 \rangle$  sunt diametrul maxim, respectiv minim, măsurat la baza grămezii de material în vrac formate prin curgere naturală.

Pe baza valorii unghiului de stabilizare, s-a realizat o clasificare a materialelor în vrac:

- ⇒ Dacă  $\alpha < 30^\circ$  materiale în vrac curg foarte bine,
- ⇒ Dacă  $30 < \alpha < 45^\circ$  materiale în vrac curg liber, iar
- ⇒ Dacă  $\alpha > 45^\circ$  materiale în vrac curg greu.

Informații calitative privind compresibilitatea materialului în vrac se pot obține și prin încercări de comprimare prin vibrații [70], [82].

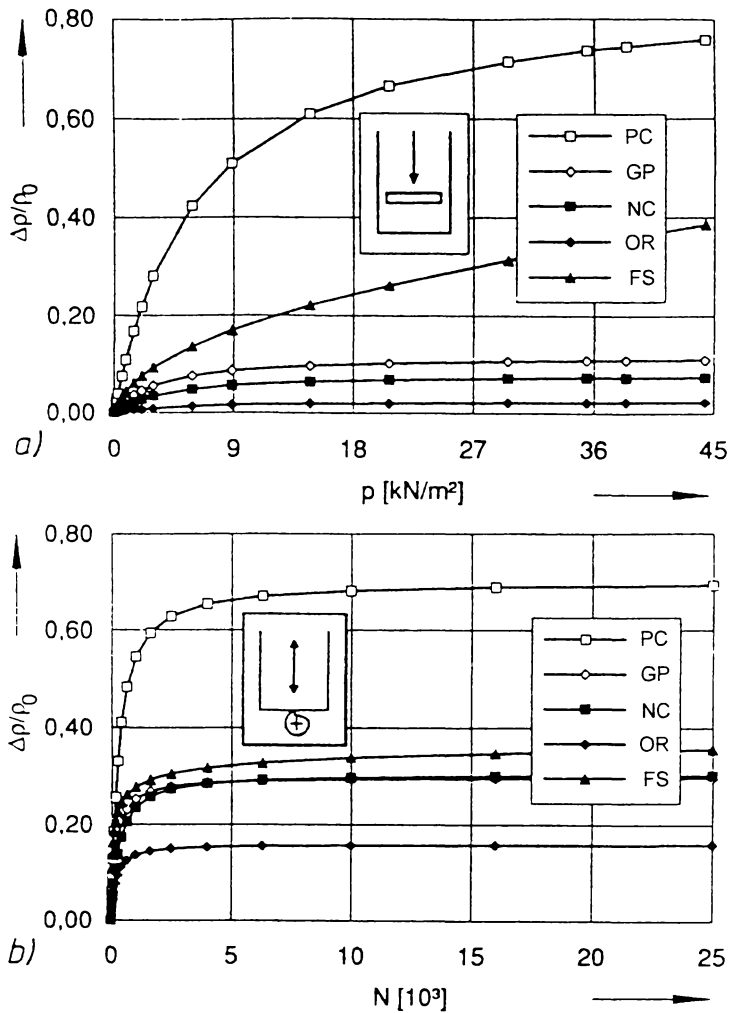


Fig. 1.2 - Variația densității relative pentru diferite materiale în vrac, în funcție de forța de presare aplicată, utilizând:

- a.) Dispozitivul de comprimare cu piston
- b.) Dispozitivul de comprimare cu coloană de impact

Notatii:

- PC - Pulbere de calcar
- GP - Gips
- NC - Nisip cuarțos
- OR - Orez
- FS - Fibră de sticlă

Capacitatea de curgere a materialelor în vrac se stabilește experimental, cu ajutorul celulelor de forfecare Jenike. Valorile caracteristice astfel obținute servesc la dimensionarea silozurilor, a dozatoarelor, a amestecătoarelor și a dispozitivelor de extragere a materialelor în vrac.



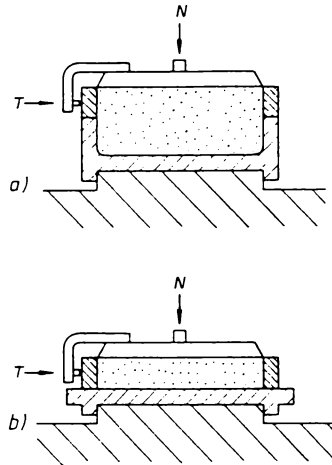


Fig. 1.3 - Celulă de forfecare Jenike:

- a.) Experiment pentru determinarea frecării interne a materialului în vrac
- b.) Experiment pentru determinarea frecării cu pereții a materialului în vrac

Notatii:

<N> - Forța normală aplicată

<T> - Forța tangențială aplicată

Proba de material aflată în celula de forfecare este supusă unei forțe normale și unei forțe tangențiale, de forfecare. Pe această cale se poate determina rezistența materialului în vrac, unghiul de frecare efectiv, unghiul de frecare intern și unghiul de frecare cu perețele.

Funcția de curgere ce poate fi determinată pe această bază, reflectă variația rezistenței materialului în vrac, în raport cu tensiunea normală maximă. Această funcție de curgere este influențată de mărimea și forma particulelor, umiditatea și comprimarea inițială la care a fost supus materialul.

Raportând rezistența materialului în vrac ( $\langle f_c \rangle$ ), la tensiunea normală maximă se obține factorul de curgere  $\langle ff_c \rangle$ , care permite clasificarea materialelor în vrac după capacitatea lor de curgere:

- ⇒ Dacă  $ff_c < 1$  materialul este întărit,
- ⇒ Dacă  $ff_c < 2$  materialul este foarte coeziv și nu curge liber,
- ⇒ Dacă  $2 < ff_c < 4$  materialul este coeziv și curge greu,
- ⇒ Dacă  $4 < ff_c < 10$  materialul curge ușor,
- ⇒ Dacă  $ff_c > 10$  materialul curge liber.

Și constantă de curgere  $\langle F_k \rangle$ , obținută prin raportarea densității materialului supus presiunii la densitatea sa în starea liberă, se poate utiliza la caracterizarea capacității de curgere a materialului în vrac, dacă se stabilește față de o presiune de referință ( $10 \text{ N/cm}^2$ ). Astfel:

- ⇒ Dacă  $1 < F_k < 1,1$  materialul este curgător,
- ⇒ Dacă  $1,1 < F_k < 1,4$  materialul este coeziv,
- ⇒ Dacă  $1,4 < F_k$  materialul este foarte coeziv.

Există și alte metode pentru determinarea caracteristicilor materialelor în vrac, metode ce sunt mai simple și mai rapide, însă și mai puțin precise.

La determinarea proprietăților de fluidizare, respectiv de degazare, se măsoară timpul de eliminare al aerului și respectiv diferența de înălțimea a unei coloane de material în vrac, în urma eliminării aerului, respectiv a gazelor din masa de material. Materialele ușor fluidizabile au timpi de degazare mai mari de 5 minute, fapt ce trebuie luat în considerare la proiectarea instalațiilor de dozare, prin realizarea unor incinte de stabilizare (degazare). Timpii de degazare la instalațiile de dozare industriale se determină pe baza timpilor de degazare măsurăți la încercările de laborator, prin proporționalitate, funcție de înălțimea recipientilor utilizați.

Pe baza tuturor acestor date realizează o fișă a proprietăților materialului în vrac [70], fișă ce va cuprinde următoarele puncte:

⇒ Denumirea materialului
⇒ Densitatea în stare liberă, în $\text{kg/m}^3$
⇒ Densitatea la presiunea normală maximă, în $\text{kg/m}^3$
⇒ Constantele Kawakita, $a^*$ și $b^*$ , în $\text{m}^2/\text{kN}$
⇒ Viteza de degazare, în $\text{cm/s}$
⇒ Timpul de degazare, în s
⇒ Unghiul de stabilizare, în grade
⇒ Unghiul de frecare efectiv, în grade
⇒ Unghiul de frecare intern, în grade
⇒ Tensiunea normală maximă, în $\text{kN/m}^2$
⇒ Rezistența materialului în vrac, în $\text{kN/m}^2$
⇒ Factorul de curgere, adimensional
⇒ Unghiul de frecare cu perețele, în grade, pentru pereți din materiale standardizate
⇒ Diametrul mediu al particulelor, în $\mu\text{m}$

Tab. 1.2 - Proprietățile principale ale unui material în vrac

### 1.3 Necesitatea optimizării proceselor de dozare și a MDMV

Procesele de dozare volumetrică și gravimetrică sunt dependente de proprietățile materialelor în vrac, în special în secțiunile sau volumele în care se realizează delimitarea materialelor în vrac. Curgerea continuă și constantă a materialului în vrac este condiția esențială pentru realizarea unei dozări corecte și precise. Formarea podurilor de material în depozitul de material situat de-asupra elementului de dozare (melc, piston de dozare, etc.), poate determina o umplere incompletă a spațiului de delimitare sau chiar o întrerupere a fluxului de material. Pe de altă parte, materialele cu tendință mărită de fluidizare pot genera un flux de material necontrolat în zona elementului de extragere a materialului. Principalul indicator ce reflectă tendința spre variații de densitate, și implicit spre variații ale fluxului de material dozat, este compresibilitatea materialului în vrac.

La caracterizarea materialelor în vrac [48], [52], [70], [82], [83], sunt esențiale următoarele aspecte:

1. Densitatea și compresibilitatea materialului: caracterizează curgerea materialului supus presiunii proprii sau externe, respectiv variația densității materialului în vrac. De regulă, materialele în vrac ușor compresibile sunt și puternic coezive.
2. Dimensiunea particulelor și distribuția lor: dimensiunea medie a particulelor dă informații asupra coeziunii și compresibilității materialului în vrac. Cu cât dimensiunea medie a particulelor este mai mică, sub 100  $\mu\text{m}$ , cu atât crește compresibilitatea și coeziunea materialului, deci tendința spre perturbații de curgere prin formarea de poduri coezive sau prin fluidizare. Materialele având dimensiunea particulelor cuprinsă între 20 - 200  $\mu\text{m}$  prezintă asemenea perturbații de curgere.
3. Proprietățile de curgere: caracteristicile de frecare internă și cu pereții ale materialului în vrac sunt determinante la proiectarea depozitului, din care se va extrage materialul de dozat. În acest scop se utilizează funcția de curgere, care exprimă rezistența la compresiune uniaxială a materialului în vrac, în raport cu tensiunea de comprimare.
4. Fluidizarea și degazarea: aceste proprietăți exprimă cât de ușor absoarbe aer sau gaz materialul în vrac în procesul de realimentare al silozului, respectiv cât timp este menținut aerul în masa de material. Timpul caracteristic de degazare determină volumul silozului și timpul de stabilizare, pentru a împiedica curgerea semi-fluidă, necontrolabilă, a materialului prin dozator. Pentru materialele ușor fluidizabile se prevăd zone de stabilizare ale materialului.

Materialele în vrac au o curgere mult mai complexă decât lichidele. Astfel, materialele în vrac cu particule mici și fine sunt compresibile prin presare, formând poduri coezive de material. Materialele cu particule mai mari pot forma poduri mecanice de material, prin rigidizarea mecanică reciprocă a particulelor. În asemenea situații, curgerea materialului în vrac este împiedicată. Pe de altă parte, unele materiale în vrac pot absorbi aer și se fluidizează, rezultând o curgere asemănătoare cu cea a fluidelor. Pe aceste considerente, în cazul dozării volumetrică, se pune problema determinării densității reale a materialelor dozate, care datorită compresibilității și fluidizării, este puternic dependentă de presiunea la care sunt supuse materialele în vrac.

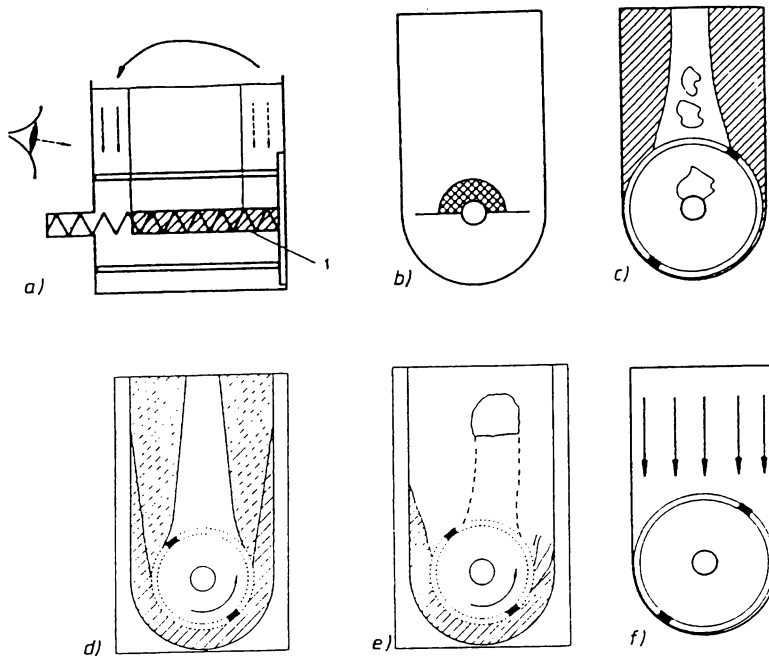


Fig. 1.4 - Tipuri de curgere observate la materialele în vrac:

a.) Secțiunea de observare:

1 - Melc de dozare încărcat cu material în vrac

b.) Formarea unui pod de material de-asupra melcului

c.) Curgere centrală instabilă

d.) Curgere centrală stabilă

e.) Stare tranzitorie între curgerea centrală și curgerea în întreagă masă de material

f.) Curgere în întreagă masă de material (situația ideală)

Din analiza fenomenelor descrise mai sus rezultă că, optimizarea proceselor de dozare, respectiv a MDMV în raport cu proprietățile materialelor în vrac dozate, este o condiție necesară pentru obținerea unui flux de dozare constant și de precizie mărită.

Rezultatele optimizării se reflectă cu atât mai puternic în creșterea preciziei și constanței de dozare, cu cât variațiile naturale a proprietăților controlate ale materialelor sunt mai mari, și ponderea lor este mai semnificativă în stabilirea fluxului, respectiv a cantității de material dozat. Din analizele prezentate se observă că, odată cu creșterea compresibilității unui material în vrac, crește și variația densității sale în timpul procesului de dozare, iar rezultatele unei optimizări în acest sens vor fi mai semnificative, după cum se va prezenta pe parcursul lucrării.

**Bibliografie:** [12], [41], [48], [52], [70], [72], [75], [82], [83].

## 2 Tipuri de MDMV - Clasificări

Funcție de principiul de funcționare, MDMV au fost împărțite în două categorii principale:

- I. MDMV cu măsurarea masei de substanță și
- II. MDMV fără măsurarea masei de substanță, cu delimitare volumetrică.

Aceste categorii de mecanisme de dozare, împreună cu mecanismele anexe, vor fi prezentate în ansamblu în cele ce urmează.

### **2.1 MDMV cu măsurarea masei de substanță**

În tehnica de dozare masa este determinată indirect, prin efectele generate de prezența masei de substanță. Metodele de măsurare pot fi [52], [70]:

- Pe baza forței gravitaționale (metoda gravimetrică), utilizând dispozitive de tip cântar.
- Pe baza impulsului mecanic, utilizând dispozitive de dozare cu canal de ghidare sau cu plăci de impact.
- Pe baza accelerației centrifuge, utilizând dispozitive de dozare rotative sau cu tuburi de deformare.
- Pe baza accelerației Coriolis, utilizând dispozitive de dozare rotative cu măsurarea forței Coriolis.
- Pe principiul corelației (tehnica măsurării *in-line*), utilizând metode statistice de analiză a perturbațiilor din fluxul de material.
- Prin absorbția de radiații, utilizând metode de dozare radiometrice.
- Pe principiu termic (al fluxului de caldură), utilizând dispozitive de măsurare a fluxului termic (caloric).

Cele mai precise sunt metodele de cântărire gravimetrică discontinuă, care au o singură mărime de măsurat, anume forța de greutate, accelerația gravitațională fiind o constantă locală. Ele se utilizează la dozarea unor cantități de substanță de la câteva grame până la mai multe tone pe șarjă, atât pentru materiale în vrac, cât și pentru lichide.

Trebuie făcută însă observația că, metodele discontinue de cântărire a masei de substanță sunt din principiu mai exacte decât metodele continue. La metodele de dozare gravimetrică continuă apar de regulă perturbații suplimentare. De exemplu, la dozatoarele-cântar cu bandă transportoare apar erori induse de: variația rigidității benzii, variația vitezei de deplasare a acesteia, precum și datorită geometriei variabile a stratului de material deus pe bandă. Dozatoarele cu cântar diferențial au avantajul de a realiza o măsurare continuă a masei de substanță dozată, prin măsurarea greutății depozitului cu substanță de dozat.

Metodele de măsurare gravimetrică continuă se utilizează în principal pentru dozarea materialelor în vrac, dar și pentru lichide, la fluxuri între câteva sute de grame până la mai multe sute de tone pe oră.

Toate celelalte metode de măsurare, care nu se bazează pe determinarea forței de greutate, sunt din principiu mai puțin precise, deoarece apar erori suplimentare datorate proprietăților variabile ale substanțelor dozate.

Măsurarea forțelor centrifuge și a celor de reacțiune la dispozitivele de dozare cu canal de ghidare, respectiv cu placă de impact, depinde de proprietățile materialelor în vrac (coeficientul de frecare, unghiul și viteza de impact) și are din aceasta cauză o precizie mai redusă. Metoda se utilizează cu preponderență la dozarea fluxurilor mari de material în vrac, de peste 0,5 t/h. Aceste dispozitive de măsurare a fluxului de material trebuie calibrate pentru substanță ce urmează a fi dozată.

Măsurarea forței Coriolis, utilizată atât la dozarea continuă a lichidelor, cât și a materialelor în vrac, este și ea de precizie ridicată, fiind independentă de proprietățile substanței dozate. În schimb, erori de măsurare pot fi induse de mecanismele de transmitere a forțelor și la măsurarea vitezei unghiulare. Practic, pentru lichide se utilizează dispozitive cu tuburi în mișcare de oscilație la frecvențe înalte, iar la materialele în vrac se folosesc dispozitive rotative, ce generează fluxuri de material pe o direcție radială. Măsurarea forței Coriolis permite dozarea fluxurilor de lichide începând de la câteva sute de grame pe oră. În schimb, la materialele în vrac, datorită amplitudinii reduse a semnalelor de măsurare și a perturbațiilor ce apar, se pot doza numai fluxuri mai mari de 0,5 t/h.

Metodele radiometrice de măsurare a fluxului de materiale în vrac se bazează pe absorbția radiațiilor gamma (radioactive) la trecerea prin materiale, determinându-se astfel încărcarea unei benzi transportoare. La dozarea prin aceasta metodă, pe lângă determinarea vitezei benzii de transport, mai este necesară și calibrarea dozatorului pentru materialul în vrac ce urmează a fi dozat. Deoarece precizia metodei este limitată, ea se utilizează doar pentru fluxuri mari de dozare sau la sistemele de înregistrare.

Metoda măsurării fluxului termic este utilizată la dozarea fluxurilor de lichide și de gaze, prin determinarea fluxului termic între două rezistențe electrice care se află sub influența fluidului dozat. Rezistențele electrice prezentând o diferență constantă de temperatură, pe baza capacității termice a fluidului, se poate determina fluxul masic al acestuia. Având precizie ridicată, metoda se aplică în cazul fluxurilor foarte mici de fluide.

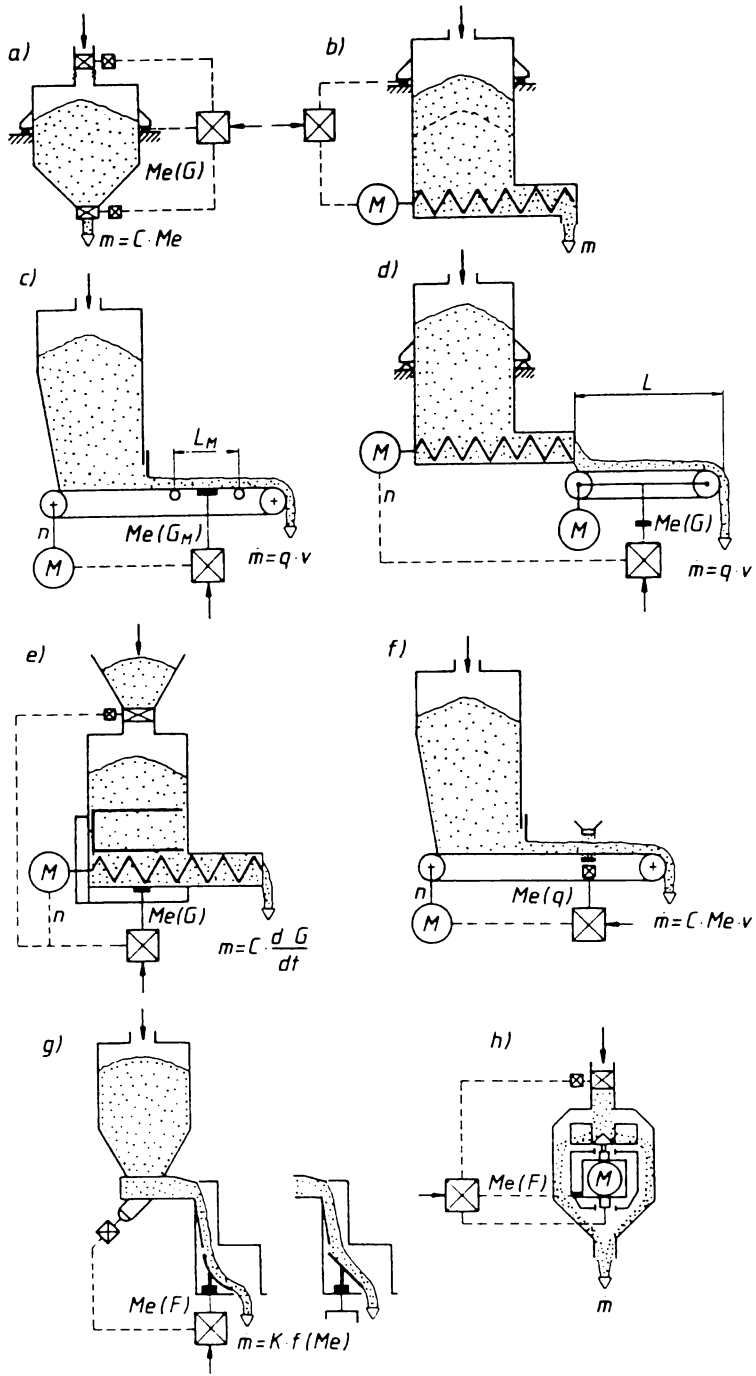


Fig. 2.1 - Procedee de dozare a materialelor în vrac, prin măsurarea masei de substanță:

- a.) Cu depozit-cântar, prin măsurarea discontinuă a masei de material
- b.) Cu cântar, prin măsurarea discontinuă a masei de material extrase din depozit
- c.) Cu bandă transportoare, prin măsurarea încărcării benzii
- d.) Cu bandă transportoare, prin măsurarea încărcării benzii, utilizând un dispozitiv controlat de extragere a masei de material din siloz
- e.) Cu cântar diferențial, prin determinarea diferenței de greutate a depozitului de material
- f.) Cu dispozitiv de măsurare radiometric a fluxului de material
- g.) Cu canal de ghidare, respectiv cu placă de impact, prin măsurarea forței de reacțiune
- h.) Cu palete rotative, prin măsurarea forței Coriolis

Notații:

<Me> - Mărimea efectiv măsurată, exprimată prin:

<G> - Greutatea depozitului, respectiv a benzii încărcate cu material în vrac

<G<sub>M</sub>> - Greutatea materialului în vrac situat în zona de măsurare a benzii transportoare

<q> - Sarcina distribuită pe bandă transportoare

<F> - Forța de reacțiune

<m> - Masa, respectiv debitul de material în vrac dozat

<L> - Lungimea de încărcare a benzii cu material în vrac

<L<sub>M</sub>> - Lungimea zonei de măsurare pentru bandă transportoare

<v> - Viteza de deplasare (reală) a benzii transportoare

<η> - Turația motorului de antrenare

<C>, <K> - Constanta dispozitivului, respectiv constanta de calibrare

### 2.1.1 Dispozitive pentru măsurarea volumului de substanță

Acesta metodă se utilizează preponderent pentru substanțe lichide și gazoase. Pentru materiale în vrac ea este prea puțin precisă datorită densității variabile a materialelor în vrac.

În cazul măsurării volumului, pentru determinarea masei de substanță dozată este necesară stabilirea densității substanței. În condiții normale fluidele au o densitate constantă, relativ independentă de temperatură și presiune. Cu cât condițiile termo-dinamice se apropie de punctul de fierbere, cu atât aceste influențe devin mai importante. La gazele aflate în zona sub-critică, respectiv supra-critică, și la fluidele compresibile aflate la presiuni înalte, este necesară determinarea - directă sau indirectă - a densității substanțelor. Măsurarea continuă a volumului la dozarea fluidelor se realizează cu ajutorul dispozitivelor de măsurare a debitului, ce au domenii de măsurare de la câțiva ml/h până la mulți m<sup>3</sup>/h.

Cel mai des se utilizează dispozitivele de măsurare a debitului care furnizează la ieșire un semnal digital ce poate fi prelucrat ulterior cu ajutorul număratoarelor de impulsuri.



## 2.2 MDMV fără măsurare, cu delimitare volumetrică

Aceste tipuri de mecanisme lucrează prin delimitarea continuă sau discontinuă a volumului de substanță dozată, măsurare propriu-zisă [4], [37], [48], [52], [70].

Delimitarea volumului de material în vrac poate avea loc în:

- secțiuni de curgere, respectiv de transport a materialului în vrac, caracterizate de o anumită viteză de deplasare a materialului,
- volume (compartimente), ce sunt umplute, respectiv golite, cu o anumită frecvență.

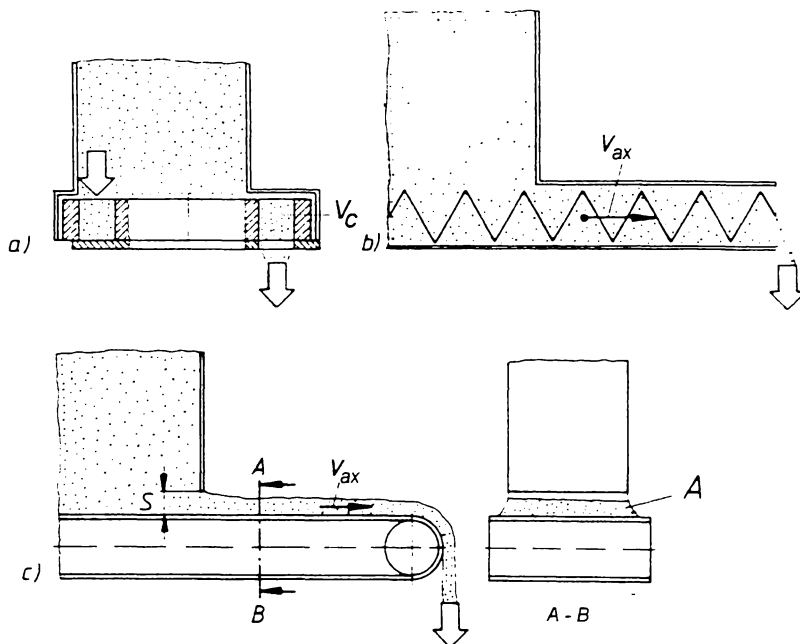


Fig. 2.2 - Metode de delimitare volumetrică a materialelor în vrac:

- Cu camere de dozare
- Cu melc de dozare
- Cu bandă transportoare

Notații:

<A> - Aria secțiunii de curgere a materialului în vrac

< $v_{ax}$ > - Viteza axială a materialului în vrac

< $V_c$ > - Volumul unei camere de dozare

Cea mai precisă este metoda de delimitare volumetrică a materialelor în vrac cu densitate reproductibilă, prin utilizarea de camere definite geometric exact și a căror umplere poate fi efectuată precis. La această metodă, debitul masic se calculează cu formula [70]:

$$\dot{m} = V_c \cdot i \cdot \rho_f \cdot n, \quad \text{unde:}$$

$\langle V_c \rangle$  reprezintă volumul de umplere al unei camere de dozare,

$\langle i \rangle$  este numărul de camere de delimitare ce intră în acțiune la o rotație completă a elementului de dozare,

$\langle \rho_r \rangle$  este densitatea reală a materialului în vrac în camera de delimitare și

$\langle n \rangle$  este numărul de rotații a elementului de dozare, în rot/min sau rot/h, funcție de modul de exprimare al debitului masic.

Mai puțin exacte sunt metodele bazate pe delimitarea secțiunii de curgere, respectiv de transport a materialelor în vrac. Acestea sunt influențate de:

- ⇒ densitatea materialelor dozate,
- ⇒ aria secțiunii de curgere, respectiv de transport și
- ⇒ de viteza axială de deplasare a materialului în vrac.

Toate acestea sunt mărimi variabile, dependente de condițiile de producție și proprietățile materialului dozat. Debitul masic, în cazul delimitării secțiunii de curgere, este calculat după formula de mai jos [70], [82]:

$$\dot{m} = A_s \cdot v_{ax} \cdot \rho_r, \quad \text{unde:}$$

$\langle A \rangle$  este aria secțiunii de curgere a materialului în vrac,

$\langle v_{ax} \rangle$  este viteza axială de curgere/transport a materialului în vrac și

$\langle \rho_r \rangle$  este densitatea reală a materialului în vrac, la nivelul secțiunii de curgere.

Dozarea prin delimitare volumetrică este recomandată pentru materiale în vrac având o curgere ușoară, sunt slab coezive și puțin compresibile, deci în principiu pentru materialele granulare.

La materiale pulverulente fine, care curg greu și sunt compresibile, este necesară asigurarea unei curgeri uniforme. Aceasta se poate realiza prin introducerea unor amestecătoare în depozitul ce stochează materialul de dozat. Amestecătorul va determina distrugerea podurilor de material ce se pot forma, precum și uniformizarea curgerii materialului în vrac.

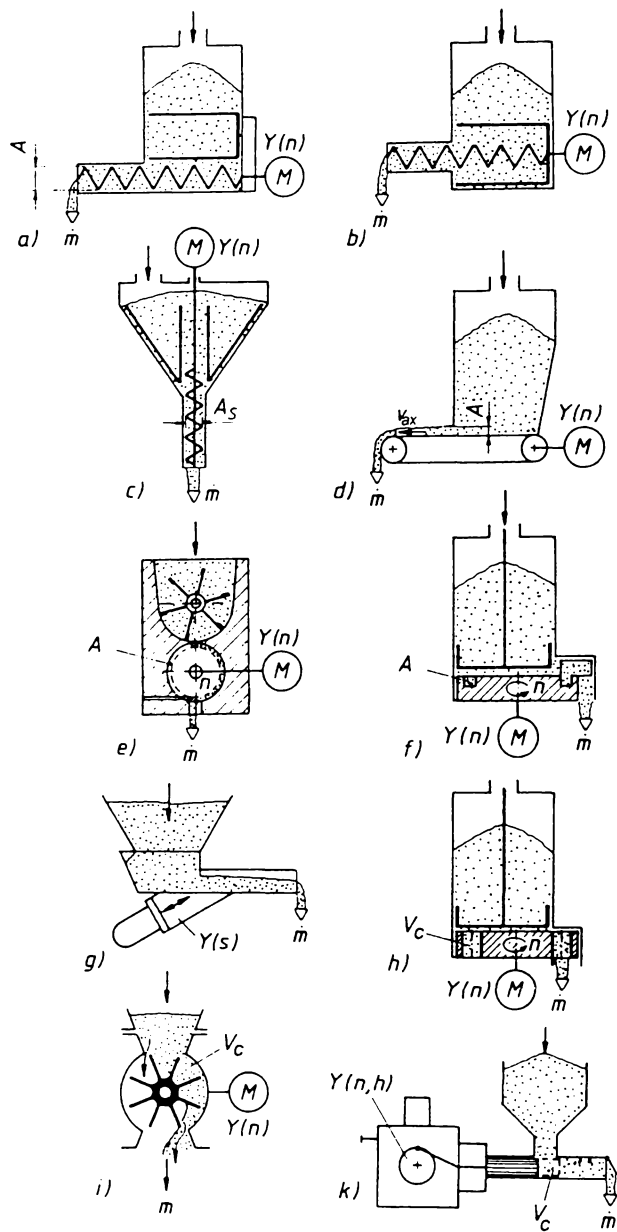


Fig. 2.3 - Procedee de dozare prin delimitare volumetrică a materialelor în vrac:  
 a.) Cu melc de dozare și amestecător orizontal superior  
 b.) Cu melc de dozare și amestecător orizontal concentric  
 c.) Cu melc de dozare și amestecător vertical concentric  
 d.) Cu bandă transportoare  
 e.) Cu roată cu canal de delimitare  
 f.) Cu platan rotativ

- g.) Prin vibrații
- h.) Cu roată cu celule de delimitare (ax vertical)
- i.) Cu roată cu celule de delimitare (ax orizontal)
- k.) Cu piston de delimitare

Notații:

- <A> - Aria secțiunii de curgere a materialului în vrac
- <Y(...)> - Mărimea de control, ce poate fi o funcție de:
- <n> - Turație
- <s> - Cursă
- <h> - Lungimea bielei mecanismului de antrenare

### **2.2.1 Mecanisme de delimitare volumetrică pentru dozarea fluidelor**

Pentru implementarea acestei metode se utilizează pompe, având elementele de dozare în mișcare rotativă sau de oscilație.

Pompele cu piston oscilant sunt cele mai recomandate pentru dozarea fluidelor, deoarece camerele de dozare au un volumul precis determinat, iar pompele pot fi relativ ușor etanșate.

Pompele cu elemente de dozare rotative au camerele definite mai puțin precis, datorită elementelor elastice utilizate și a toleranțelor constructive, iar în timp, datorită uzurii, apar abateri față de valorile impuse inițial.

Un fenomen periculos ce poate apărea la dozatoarele de substanțe fluide este fenomenul de cavitație, rezultând o uzură prematură a elementelor pompei.

Metode speciale de dozare ale fluidelor sunt cele pe bazate pe transferul adeziv de picături sau straturi de lichide, precum și dozarea prin evaporare.

### 2.3 Amestecătoare de material în vrac

Pentru ca alimentarea elementului de dozare cu material în vrac să fie realizată cât se poate de uniform, în depozitul de material se introduc amestecătoare, realizate în diverse variante constructive, funcție de natura procesului tehnologic și de proprietățile materialelor în vrac. Cel mai des, amestecătoarele se utilizează la dozatoarele cu melc [48], [52], [70].

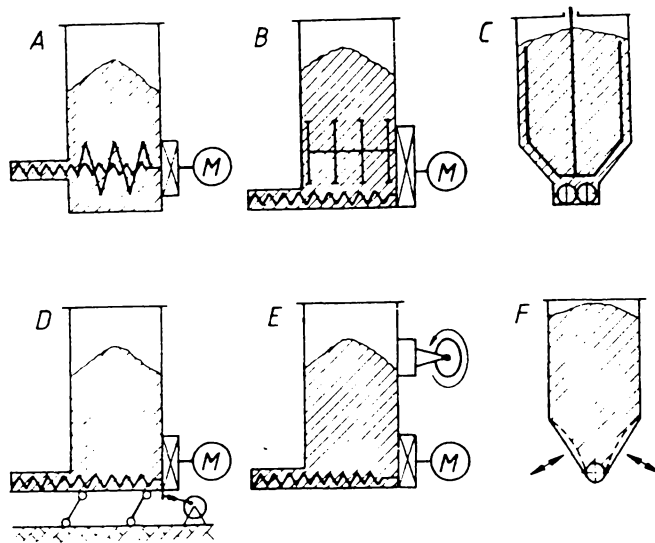


Fig. 2.4 - Tipuri de amestecătoare:

- A. Amestecător orizontal, concentric cu melcul
- B. Amestecător orizontal simplu sau dublu, situat de-asupra melcului
- C. Amestecător vertical cu brațe
- D. Amestecător cu mecanism de vibrație de tip bielă-manivelă
- E. Amestecător cu mecanism de vibrație cu excentric
- F. Amestecător cu pereți elastici

Amestecătoarele verticale necesită construcții mai complexe, fiind însă mai eficiente, deoarece acționează asupra întregului volum de material din depozit, în comparație cu amestecătoarele orizontale, ce acționează direct numai în zona de extragere a materialului din depozit.

Acțiunea acestor dispozitive de amestecare determină producerea următoarelor fenomene:

- ⇒ distrugerea podurilor și aglomerărilor de material, respectiv a canalelor de curgere ce se pot forma de-asupra elementului de dozare (în mod uzual de tip melc),
- ⇒ curgerea uniformă a materialului spre zona de alimentare a elementului de dozare și
- ⇒ realizarea unei densități uniforme a materialului în proximitatea elementului de dozare.

Din punct de vedere constructiv, amestecătoarele de material în vrac pot fi:

- amestecătoare cu două brațe, paralele sau încrucișate,
- amestecătoare cu trei brațe paralele,

- amestecătoare cu patru brațe paralele,
- amestecătoare cu brațe și elemente de omogenizare,
- amestecătoare cu brațe,
- amestecătoare cu spirală.

Cele mai răspândite sunt amestecătoarele cu brațe paralele, dintre care soluția cu patru brațe este cea care asigură o funcționare fără pulsații a dozatorului.

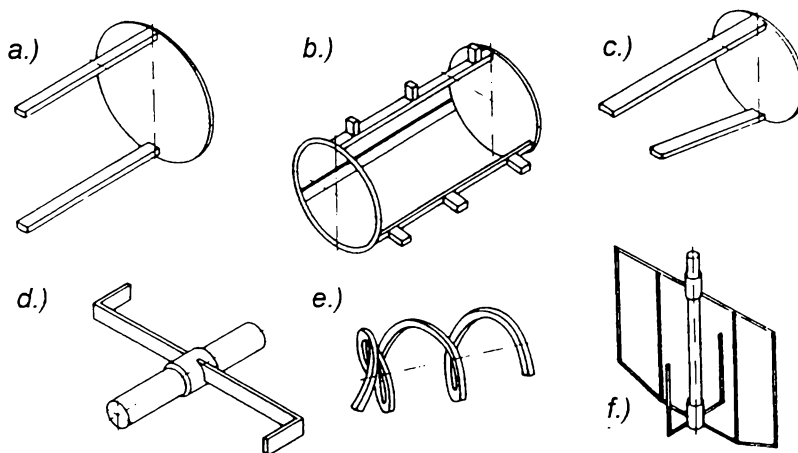


Fig. 2.5 - Variante constructive de realizare a amestecătoarelor:

- a.) Cu 2 brațe paralele
- b.) Cu 3 brațe paralele și elemente de omogenizare
- c.) Cu 2 brațe încrucișate
- d.) Cu 2 brațe cu padele
- e.) Cu spirală de omogenizare
- f.) Cu brațe verticale

La folosirea amestecătoarelor, experimental [70], [82] s-au observat următoarele dependențe:

1. Creșterea turației amestecătorului determină liniarizarea caracteristicii dozatorului, totodată crescând și fluxul de material dozat.
2. Creșterea numărului de brațe ale amestecătorului determină creșterea și uniformizarea fluxului de material dozat, efect mai pronunțat la turații reduse ale amestecătorului.
3. Creșterea diametrului exterior al amestecătorului determină creșterea fluxului de material, efect mai pronunțat la turații reduse ale amestecătorului.
4. Creșterea lățimii brațelor amestecătorului duce la creșterea fluxului de material.

**Bibliografie:** [4], [37], [48], [52], [70], [72], [75], [82].

### 3 Analiza MDMV și SDMV volumetrice

Aceste sisteme, respectiv mecanisme, extrudează și transportă cantități determinate de material în vrac extrase dintr-un depozit, volumele și secțiunile de dozare fiind reproductibile, iar viteza de desfășurare a procesului reglabilă.

La dozarea volumetrică nu are loc un proces propriu-zis de măsurare, dozarea realizându-se pe baza unor mărimi reproductibile. De regulă, există o dependență simplă între mărimea de reglare (turația motorului de antrenare) și fluxul de material, pe aceasta bază stabilindu-se și caracteristica de reglare a dozatorului [48], [52], [70].

Această caracteristică este de regulă liniară, fiind dependentă, în măsuri diferite, de următorii factori:

- Frecvența sau turația motorului de antrenare a elementului de dozare, care este factorul principal de influență.
- Proprietățile fizico-chimice ale materialului în vrac ce se dozează.
- Caracteristicile dozatorului:
  - ⇒ tipul elementului de dozare utilizat,
  - ⇒ forma constructivă a depozitului de material în vrac,
  - ⇒ modul de alimentare al dozatorului cu material în vrac,
  - ⇒ forma și mărimea secțiunii de evacuare a materialului dozat,
  - ⇒ prezența, tipul și turația amestecătorului de material,
  - ⇒ proprietățile materialelor utilizate în construcția dozatorului.

Debitul masic al unui dozator volumetric ideal se calculează conform formulei generale [70]:

$$\dot{m} = A \cdot v_{ax} \cdot \rho_r, \quad \text{unde:}$$

<A> este aria secțiunii de transport a materialului în vrac,

< $v_{ax}$ > este viteza de transport axială a materialului în vrac, iar

< $\rho_r$ > este densitatea reală a materialului în zona de extragere a elementului de dozare.

Viteza axială de transport variază aproximativ liniar în raport cu turația, respectiv frecvența elementului de dozare, deci și a motorului de antrenare a acestuia. Obținerea unui flux, respectiv a unei cantități impuse de material dozat se face prin controlarea mărimii de reglare a motorului de antrenare.

În practica industrială se folosesc următoarele tipuri de dozatoare volumetrice:

<i>Tip:</i>	<i>Materiale în vrac dozate:</i>	<i>Domeniu de reglare:</i>	<i>Variații de flux: &lt;+/- %&gt;</i>	<i>Pulsații la dozare</i>
Dozatoare cu melc	Pulberi: curgătoare, fluidizabile, coezive. Granulat: tare, casant, deformabil plastic. Solzi.	1 : 30	1 - 5	Mici
Dozatoare cu bandă transportoare	Pulberi: curgătoare. Granulat: tare, casant, deformabil plastic. Solzi (condiționat).	1 : 20	1 - 5	Mici
Dozatoare prin vibrație	Pulberi: curgătoare. Granulat: tare, casant, deformabil plastic. Solzi.	1 : 10	> 10	Mici
Dozatoare cu roți cu celule de delimitare	Pulberi: curgătoare, fluidizabile, coezive; Granulat: tare, casant; deformabil plastic (condiționat). Solzi (condiționat).	1 : 10	2 - 10	Mari
Dozatoare cu camere de delimitare volumică	Pulberi: curgătoare, fluidizabile (condiționat). Granulat: tare, casant (condiționat); deformabil plastic (condiționat).	1 : 10	2 - 10	Mari
Dozatoare cu platan rotativ	Pulberi: curgătoare. Granulat: tare, casant (condiționat).	1 : 5	1 - 5	Mici
Dozatoare cu roată cu canal de delimitare	Pulberi: curgătoare, fluidizabile, coezive.	1 : 50	1 - 5	Mici
Dozatoare pneumatice cu canal transportor	Pulberi: curgătoare, fluidizabile.	1 : 5	> 10	Mici
Dozatoare cu piston	Pulberi: curgătoare, fluidizabile (condiționat). Granulat: tare (condiționat), casant (condiționat).	1 : 10	> 5	Mici
Dozatoare cu element de blocare în translație	Pulberi: curgătoare, fluidizabile (condiționat). Granulat: tare (condiționat), casant (condiționat).	1 : 10	> 5	Mici

Tab. 3.1 - Caracteristicile dozatoarelor volumetrice



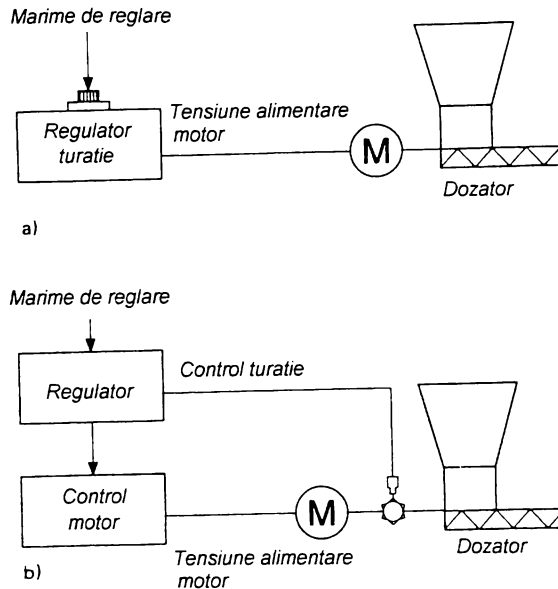


Fig. 3.1 - Metode de stabilire a fluxului de material la dozarea volumetrică:  
 a.) Dozare volumetrică controlată  
 b.) Dozare volumetrică reglată

La dozarea volumetrică controlată, mărimea de reglare este transmisă motorului de antrenare, sub forma tensiunii de alimentare, de către dispozitivul de control al motorului. Deoarece în acest caz lipsește bucla de control a turației motorului, va apărea o eroare suplimentară la stabilirea mărimii de reglare.

La dozarea volumetrică reglată, mărimea de reglare este transmisă de la dispozitivul de reglare la dispozitivul de control al motorului. Valoarea impusă a mărimii de reglare este permanent comparată cu valoarea sa reală, eventualele abateri fiind corectate automat. Astfel, prin controlul permanent al turației (frecvenței) motorului de antrenare, se elimină eroarea de stabilire a mărimii de reglare, una dintre cele mai importante surse de eroare în cadrul procesului de dozare.

Dispozitivele de control utilizate la dozatoarele volumetrice reglate pot fi:

- dispozitive de control pentru motoare de curent continuu sau alternativ,
- dispozitive de control pentru dispozitive generatoare de vibrații, respectiv
- dispozitive de control pneumatice.

### 3.1 Dozatoare cu melc

Dozatoarele cu melc arhimedic sunt foarte răspândite, datorită capacității lor de a fi ușor adaptate pentru diverse materiale și procese tehnologice [48], [52], [70].

Fluxul de material la aceste dozatoare este calculat conform formulei generale, fiind dependent de:

- aria secțiunii blocului de material efectiv deplasat de melc,
- viteza axială a melcului și
- densitatea reală a materialului în vrac.

Aria secțiunii blocului de material transportat de melc fiind dependentă de proprietățile materialului dozat, pentru modificarea debitului volumic se recurge la modificarea turației melcului, care impune viteza axială de transport a materialului dozat.

Se disting următoarele tipuri de melci:

1. Melci pentru transportul materialelor în vrac, care deplasează materialul în vrac printr-un tub, prin mișcarea de rotație a unui melc sau a unei spirale melcate. Pentru trasee complexe se folosesc melci flexibili.

Melcii cu foaie întregă se utilizează la transportul materialelor granulare fine sau pulverulente, neadezive. Melcii cu bandă profilată sunt folosiți în cazul materialelor puțin adezive, sub formă de bulgări rigizi. Dacă, în paralel cu transportul materialului, se urmărește și omogenizarea acestuia, se vor folosi melci cu brațe de amestecare (padele). Utilizând melci având profile anti-omoloage se poate realiza distribuția simultană a materialului dozat pe două canale, respectiv se poate extrage material din două depozite diferite, transportul urmând a se face în continuare combinat (vezi figura).

Melcii pentru transport nu funcționează cu umplere completă (pentru a reduce frecarea cu pereții tubului), fiind alimentați cu material în vrac, de regulă, prin intermediul unor roți cu celule de delimitare sau cu benzi transportoare. Asemenea sisteme de transport se pot realiza la o lungime maximă de 60 m, ele având debite volumice de până la 100 m<sup>3</sup>/h.

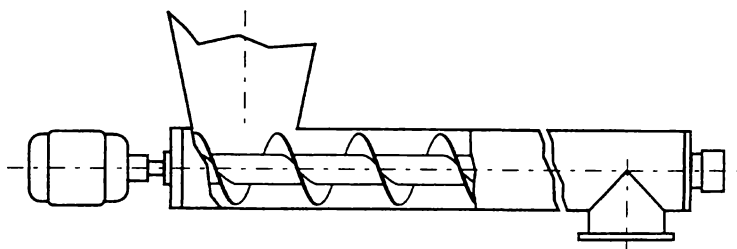


Fig. 3.2 - Dispozitiv cu melc de transport cu foaie întregă

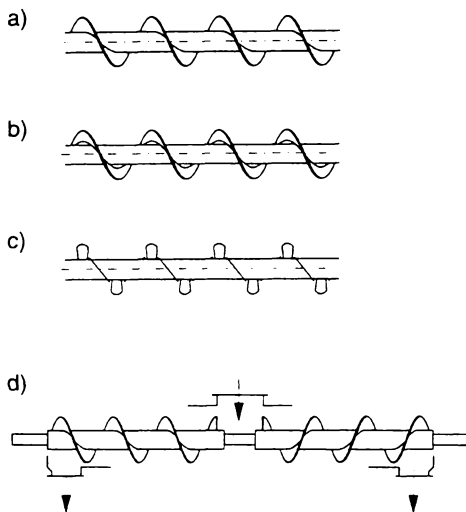
2. Melcii pentru extragerea materialelor în vrac din silozuri realizează o extragere uniformă a materialelor, compensând parțial perturbațiile de curgere a materialului din siloz. Aceștia pot fi excuțați în diferite forme constructive:

- melci cu geometrie constantă,
- melci cu pas în trepte,

- melci cu pas progresiv,
- melci cu diametru exterior conic,
- melci cu diametrul miezului degresiv.

Datorită procedurilor de execuție complexe, tipurile de melci prezentate mai sus au și prețuri relativ ridicate, fiind utilizați numai în cazuri speciale.

3. Melcii pentru dozarea materialelor în vrac sunt utilizați pentru obtinerea și respectiv deschiderea depozitelor de material în vrac. Fiind de lungime mică, acești melci se montează orizontal, în consolă, sub conul de alimentare al depozitului de material.



I. Melci pentru dozarea materialelor în vrac

II. Melci pentru extragerea materialelor în vrac din silozuri

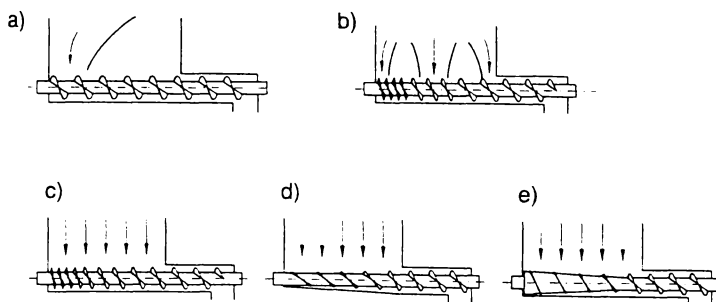


Fig. 3.3 - I. Forme constructive pentru melcii de dozare a materialelor în vrac:

- a.) Melc cu foaie întregă
- b.) Melc cu bandă profilată
- c.) Melc cu brațe de amestecare (padele)
- d.) Melc cu profile anti-omoloage

II. Forme constructive pentru melcii pentru extragerea materialelor în vrac din silozuri:

- a.) Melc cu geometrie constantă

- b.) Melc cu pas în trepte
- c.) Melc cu pas progresiv
- d.) Melc cu diametru exterior conic
- e.) Melc cu diametrul miezului degresiv

La asemenea dozatoare, debitul volumic de material este reglat prin modificarea turației motorului de antrenare al melcului, obținându-se domenii de reglare de până la:

- ⇒ 1 : 17 - cu motoare de curent alternativ și frecvență variabilă,
- ⇒ 1 : 30 - cu motoare de curent continuu cu comandă prin tiristori și
- ⇒ 1 : 100 - cu motoare cu curent alternativ și cutie de viteze planetară.

Pentru a obține o caracteristică de reglare liniară, turația melcului se limitează în mod uzual la 600 rot/min.

Pentru a asigura o dozare cât mai uniformă, s-au conceput diverse variante constructive pentru melcii de dozare, funcție de proprietățile materialelor în vrac ce urmează a fi dozate. Schițele și tabelul de mai jos prezintă o imagine sintetică a soluțiilor utilizate:

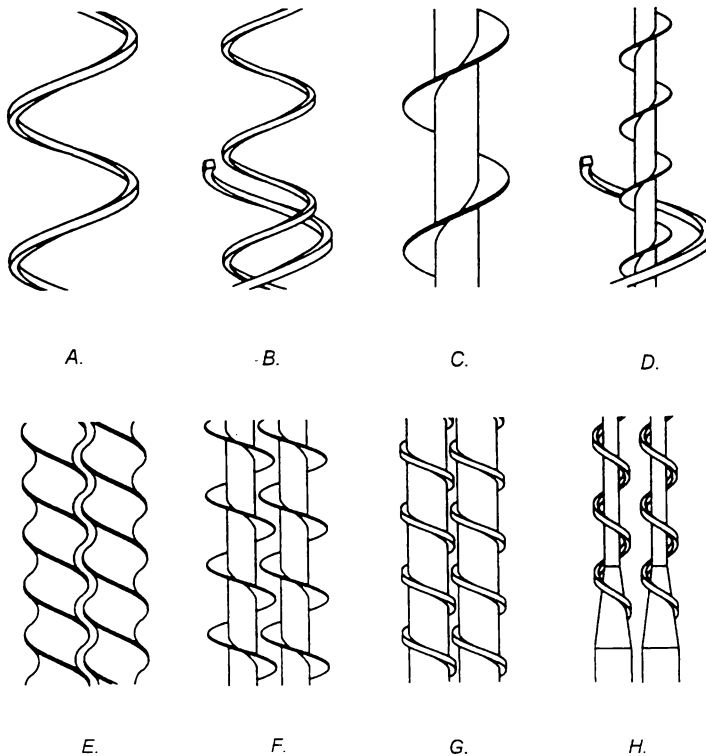


Fig. 3.4 - Tipuri constructive de melci de dozare:

Tip A: Melc spiral

Tip B: Melc spiral cu spirală secundară

Tip C: Melc cu foaie întreagă

Tip D: Melc cu foaie întreagă și spirală secundară

Tip E: Melci dubli, cu profil concav

Tip F: Melci dubli, cu foaie întreagă

Tip G: Melci dubli cu profil spiralat

Tip H: Melci dubli spirali, cu ax central

Tabelul de mai jos enumeră caracteristicile tipurilor de melci de dozare prezentați, considerându-se următoarele notații pentru tipurile de materiale dozate:

1: Pulberi      2: Peleți      3: Granule      4: Fibre      5: Fulgi

Notație: x - Dozatorul cu melc necesită amestecător de material.

Melcii spirali fără ax central se utilizează la dozarea materialelor adevize, care nu pot fi dozate cu ajutorul melcilor cu foaie întregă. Această soluție constructivă este simplă, ieftină, fiind utilizată ori de câte ori procesul tehnologic o permite, cu preponderență în cazul dozării materialelor în vrac granulare, la care deplasarea materialului în vrac este sprijinită și de fenomenul de angrenare reciprocă a particulelor de material în mișcare.

Melcii dublii se utilizează numai în situații speciale, atunci când transportul materialului în vrac este dificil și se urmărește o dozare cât mai uniformă. Prin mișcarea lor relativă, melcii dublii se curăță reciproc de resturile de material aderente, determinând însă și o măcinare a materialului transportat, ceea ce la unele procese tehnologice nu este dorit. Această soluție permite o foarte bună închidere a depozitului de material, fiind însă mai complexă și mai costisitoare.

Uniformizarea fluxului de material dozat se poate realiza și prin rotirea tubului în care se află melcul ce realizează dozarea propriu-zisă sau prin creșterea lungimii melcului situat în zona de încărcare cu material în vrac.

În general, nu se recomandă utilizarea dozatoarelor cu melc pentru materiale casante sau sensibile termic. Pentru acestea se vor utiliza dozatoarele prin vibrație.

<i>Melc:</i>		<i>Tip A</i>	<i>Tip B</i>	<i>Tip C</i>	<i>Tip D</i>	<i>Tip E</i>	<i>Tip F</i>	<i>Tip G</i>	<i>Tip H</i>
-	<i>Obs.</i>								
<i>Proprietăți material:</i>									
Curgere foarte bună		1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	1,5	1,4,5	1,4,5	2,3,5
Curgere liberă		1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	1,5	1,4,5	1,4,5	2,3,5
Curgere condiționată	x	2,3,5	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	1,5	1,4,5	1,5	5
Curgere greoaie	x	2,3	2,3	1,2,3,4	1,2,3,4	1	1	-	-
Pulbere	x	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	1,5	1,4,5	1,4,5	2,3,5
Lipicios	x	2,3,4,5	2,3,4,5	-	-	1	-	-	-
Formează bulgări	x	-	-	-	-	1	-	4	-
Unsuos	x	2,3,4,5	2,3,4,5	4,5	4,5	1	4	4	-
Umed	x	2,3,4,5	2,3,4,5	1,4,5	1,4,5	1,5	5	1,4,5	-
Higroscopic	x	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	1,2,3	1,2,3,4,5	1,5	1,4,5	1,4,5	2,3,5
Tendință de formare de poduri de material	x	5	1,2,3,4,5	-	1,2,3,4,5	1	1,4,5	-	5
Tendință de formare de canale de curgere	x	1,5	1,2,3,4,5	-	1,2,3,4,5	1	1,4,5	-	5
Tendință de formare de aglomerări, coeziv		-	-	2,3,5	2,3,5	1	-	5	5
Comprimabil	x	1	1	1,2,3,5	1,2,3,5	5	1,5	1,4,5	5
Fluidizabil		-	-	2,3,5	2,3,5	1	-	5	-
Plastifiant	x	-	-	5	5	-	-	-	-

Tab. 3.2 - Caracteristicile principale ale melcilor de dozare

### 3.2 Dozatoare prin vibrație

Aceste dozatoare funcționează pe principiul micro-aruncărilor particulelor de material în vrac, generând astfel un strat de material ce se deplasează controlat. Canalul în care se află materialul de dozat este înclinat la  $20 - 45^\circ$  fața de orizontală, favorizând deplasarea particulelor de material, ce sunt aruncate cu o anumită frecvență și amplitudine în lungul canalului. Aceste particule vor descrie (teoretic) o parabolă, mișcare care, repetată cu frecvențe mari și amplitudini mici, determină deplasarea continuă a stratului de material în vrac de dozat.

Debitul de material generat este dependent de:

- direcția, frecvența și amplitudinea vibrației,
- înclinarea canalului de transport și
- proprietățile materialului în vrac.

Metoda se poate aplica numai materialelor granulare, necoezive și nefluidizante, precum și materialelor fibriforme.

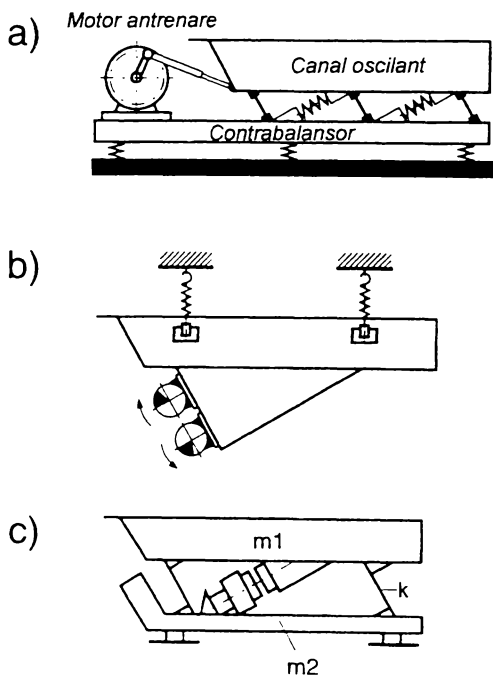


Fig. 3.5 - Tipuri constructive de dozatoare prin vibrație:

a.) Dozator prin vibrație cu mecanism bielă-manivelă

b.) Dozator prin vibrație cu mecanism cu excentric

c.) Dozator cu sistem electro-magnetic de vibrație:

Notații:

<m1> - Masa canalului aflat în mișcare de vibrație

<m2> - Masa cadrului de bază a dozatorului

<k> - Constanta elastică a sistemului oscilant

La soluțiile constructive prezentate mai sus, vibrația canalului de dozare poate fi realizată:

- a) Cu motor electric și mecanism bielă-manivelă, care pun în mișcare de oscilație canalul în care se află materialul în vrac. Viteza cu care este deplasat materialul poate fi reglată prin modificarea turației motorului de antrenare sau prin lungimea (reglabilă) a bielei. Această variantă se folosește atunci când lungimea canalului de transport a materialului este mare, utilizând motoare de antrenare de putere mare.
- b) Cu motor electric și excentric, având o funcționare similară sistemului cu mecanism bielă-manivelă, domeniul de aplicare fiind identic. Viteza cu care este deplasat materialul poate fi reglată prin modificarea turației motorului de antrenare sau a excentricității elementului de antrenare al canalului de transport.
- c) Cu sistem electro-magnetic, funcționând pe principiul rezonanței, caz în care canalul vibrator este adus în stare de excitație, la o frecvență apropiată de frecvența proprie de rezonanță a ansamblului. Astfel, cu un consum redus de energie și printr-o construcție relativ simplă se pot genera vibrații cu amplitudine mare, forțele necesare excitării canalului de transport fiind produse cu ajutorul unor electromagneți. Modificarea debitului de material se face prin reglarea tensiunii aplicate electromagneților, forțele realizate fiind însă mult mai mici decât în cazul sistemelor cu motoare de antrenare.

Frecvența de oscilație este între 10 - 100 Hz. Amplitudinea și frecvența vibrațiilor este controlată cu un ajutorul unui traductor inductiv, astfel realizându-se un circuit închis de reglare.

Dozatoarele prin vibrație folosind motoare de antrenare se utilizează pentru debite de peste 1 t/h, pe când sistemele cu excitație electro-magnetică sunt utilizate în cazul fluxurilor mici de material în vrac.

Caracteristica ușor neliniară a acestor dozatoare poate fi corectată prin utilizarea suplimentară a unui cântar diferențial, care măsoară permanent cantitățile de material obținute la ieșirea dozatorului, corecția necesară realizându-se automat. Dezavantajul major al dozatoarelor prin vibrație este posibilitatea ca acestea să inducă vibrații de joasă frecvență în structurile de care sunt legate, în special în faza de pornire, respectiv de oprire. Pentru a elimina practic acest pericol, trebuie concepute sisteme efective de preluare și amortizare a vibrațiilor transmise de dozatoare mediului extern.

### **3.3 Dozatoare pneumatice cu canal transportor**

Acest tip de dozatoare se folosesc mai rar, fiind de regulă integrate în cadrul sistemelor de transport pneumatic pentru materiale fluidizabile din industria chimică. Ele prezintă un domeniu de reglare mic al debitului (de aproximativ 1 : 5), având și o precizie de dozare redusă.

### **3.4 Dozatoare cu bandă transportoare**

Acest tip de dozatoare realizează o delimitare volumică continuă a materialului în vrac, prin formarea unui strat de material de secțiune predeterminată, principiul lor de funcționare permițând o dozare fără pulsații. Debitul masic generat se calculează după formula generală prezentată, fiind dependent de:

- aria secțiunii stratului de material deplasat pe bandă,
- viteza benzii transportoare și



- densitatea reală a materialului în vrac în zona de extragere din depozit.

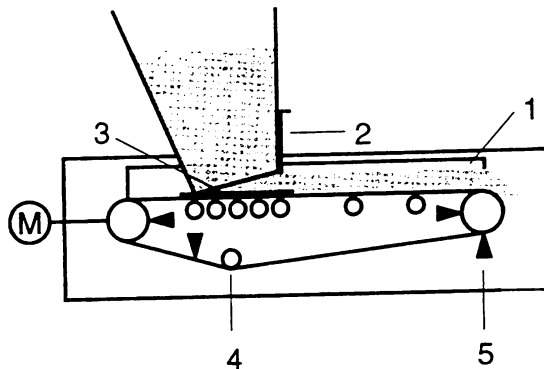


Fig. 3.6 - Dozator cu bandă transportoare:

- 1 - Banda transportoare încărcată cu materialul în vrac
- 2 - Dispozitivul de reglare a grosimii stratului de material
- 3 - Dispozitivul de închidere a depozitului de material
- 4 - Dispozitivul de ghidare a benzii transportoare
- 5 - Elemente de curățare a benzii de depunerile de material

Reglarea debitului se face prin modificarea turației motorului de antrenare al benzii transportoare, viteza benzii fiind într-o dependență liniară de turația motorului. Reglarea brută a debitului masic face prin stabilirea grosimii stratului de material transportat, prin poziționarea unui element de limitare a grosimii stratului de material extras din depozit. Teoretic, dependența dintre deplasarea limitatorului și variația debitului masic este liniară.

Din punct de vedere constructiv, principalele elemente componente ale unui dozator cu bandă transportoare sunt următoarele:

- banda transportoare, executată din diverse cauciucuri sau din elemente metalice,
- depozitul de material, având conul de curgere realizat funcție de proprietățile fizice ale materialelor în vrac de dozat,
- dispozitivul de limitare a grosimii stratului de material,
- dispozitivul de închidere al depozitului de material, utilizat pentru oprirea curgerii de material din depozit pe bandă (în cazul efectuării de reparații la dozator sau în cazul unor avarii),
- ghidajele benzii transportoare, care asigură centrarea benzii în timpul deplasării,
- elementele de curățare a benzii (lamele sau perii).

Aceste dozatoare se utilizează pentru diverse materiale în vrac, de la cele având o curgere liberă la cele coezive, prin integrarea cu sisteme corespunzătoare de extragere a materialului din depozit (dispozitive cu melc, cu vibrații, etc.). Dozatoarele cu bandă transportoare nu sunt recomandate pentru dozarea materialelor adezive sau ale celor ușor fluidizabile.

Funcție de procesul la care sunt utilizate, dozatoarele pot fi echipate cu benzi din cauciuc siliconic (în industria alimentară) sau chiar cu benzi din plăci metalice, rezistente la uzură și temperaturi înalte (în industria materialelor de construcții). Debitul volumic realizabil sunt

între 0,1 - 10 m<sup>3</sup>/h, precizia de dozare fiind însă mai redusă, existând o serie de surse de perturbații, cele mai importante fiind:

- grosimea neuniformă a stratului de material în vrac de pe bandă,
- alunecarea benzii transportoare și
- pierderile de material prin cădere de pe bandă.

### 3.5 Dozatoare cu roți cu celule de delimitare

Acest tip de dozatoare se utilizează de regulă în cadrul proceselor de predozare și dozare continuă, ele asigurând transportul materialului în vrac din depozit și închiderea acestuia. Numărul de celule de delimitare este de minim 6 - 8, turația roții fiind între 10 - 60 rot/min, pentru a reduce, pe cât posibil, pulsațiile fluxului de material dozat. Datorită distanțelor mici dintre roată și pereți, aceste dozatoare se pot utiliza și la transferul de material între etape tehnologice, respectiv procese ce au loc la presiuni diferite.

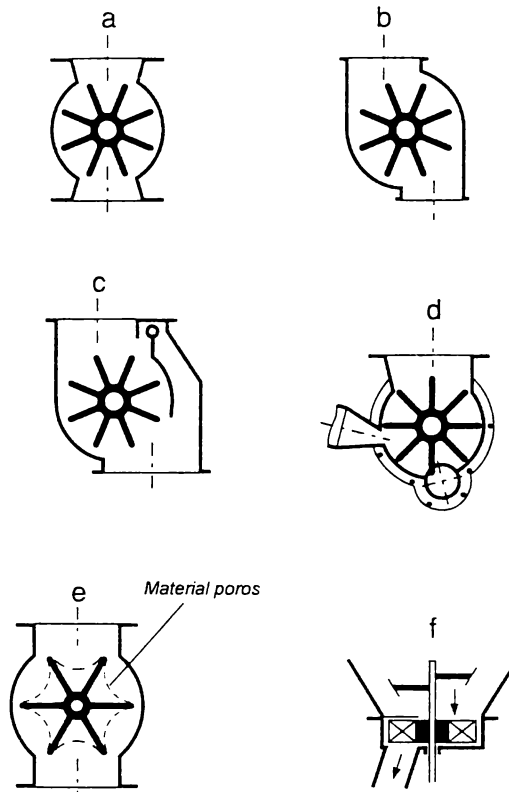


Fig. 3.7 - Soluții constructive pentru dozatoarele cu roți cu celule de delimitare:

- a.) Cu canale de admisie și evacuare coliniare
- b.) Cu canale de admisie și evacuare decalate
- c.) Cu ghidaje mobile
- d.) Cu duză, pentru agentul de transport pneumatic

- e.) Cu roată din material anti-abraziv
- f.) Cu roată poziționată vertical

Pentru a împiedica blocarea particulelor de material între roata în mișcare și pereții dozatorului, se recurge la deplasarea relativă a canalului de alimentare și a celui de evacuare a materialului sau se introduc ghidaje mobile.

Dacă dozatorul se integrează în sisteme în care materialul este transportat pe cale pneumatică, acesta va dispune de o duză, prin care se introduce agentul de transport pneumatic.

Pentru dozarea materialelor adezive, roata dozatorului se execută din materiale sinterizate, celulele de dozare având o formă rotunjită și o adâncime mică. Desprinderea materialului aderent este realizată cu ajutorul unui jet de aer sau cu elemente de curățare (lamelae sau roți).

La dozatoarele cu celule de delimitare poate apărea o uzură pronunțată a elementelor componente, datorită fricțiunii abrazive cu particulele de material dozate. De aceea, în situații de solicitare deosebită, elementele dozatorului se vor executa din materiale speciale (sinterizate), rezistente la abraziune.

### **3.6 Dozatoare cu camere de delimitare volumică**

Aceste dozatoare sunt asemănătoare celor cu roți cu celule de delimitare. Având o construcție simplă, sunt des utilizate, în special în cadrul proceselor de colorare a maselor plastice.

La aceste dozatoare, elementul de dozare este un disc, ce se rotește în plan vertical și are realizat în corpul său, respectiv pe circumferința sa, o serie de orificii, ce formează camerele de delimitare.

La funcționarea dozatorului, aceste orificii sunt umplute cu materialul de dozat, urmând ca după o rotație a discului de circa 180° ele să se golească sub efect gravitațional, într-o zonă a depozitului separată printr-un perete înclinat de restul materialului depozitat (vezi figura). Astfel, aceste dispozitive realizează o dozare aproape continuă a materialului, fiecare din camerele golite fiind înregistrată cu ajutorul unui senzor magneto-inductiv, determinându-se pe această cantitatea de material dozat.

Dacă se dozează materiale în vrac ce curg ușor, rotind discul cu viteza mică, camerele se vor umple complet și constant. Pentru a preîntâmpina formarea podurilor de material, se poate integra și un amestecător, obținându-se astfel și o densitate relativ constantă a materialului de dozat. La dozarea materialelor adezive se va utiliza o lamelă glisantă, ce va curăța camerele discului de depunerile de material.

Pentru dozarea simultană a mai multor componente, se poate realiza un sistem cu mai multe asemenea dozatoare dispuse circular, soluție favorizată și de construcția compactă a acestor dispozitive.

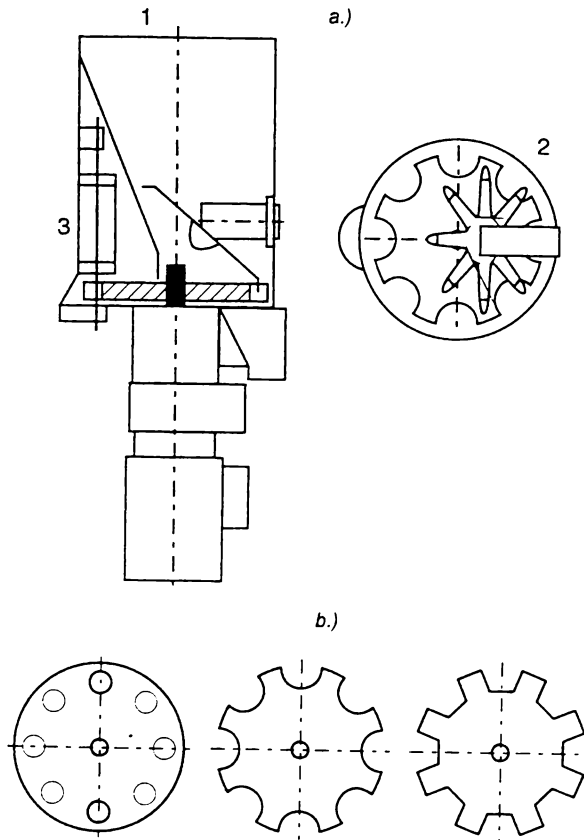


Fig. 3.8:

a.) Dozator cu camere de delimitare volumică:

1 - Depozit de material în vrac

2 - Amestecător stelat (vedere de sus)

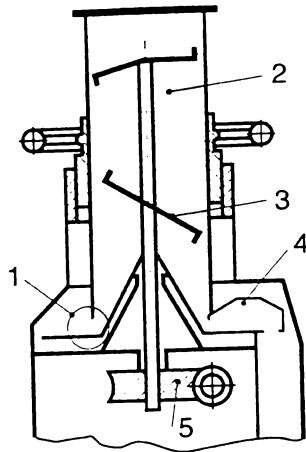
3 - Lamela glisantă de curățare

b.) Soluții constructive pentru elementul de dozare

### 3.7 Dozatoare cu platan rotativ

Sunt dispozitive mai rar utilizate, deoarece reproductibilitatea proceselor și implicit constanța dozării nu este asigurată, deseori apărând aglomerări și blocaje de material în zona de evacuare, respectiv fluidizarea materialelor în vrac auto-fluidizante.

La dozatoarele cu platan rotativ, materialul în vrac curge din depozitul superior, pe platanul aflat în mișcare de rotație, pe acesta creându-se un strat de material de o anumită grosime, reglabilă prin intermediul unui element limitator. Prin rotirea platanului, materialul în vrac va ajunge în dreptul unei lamele, ce va îndepărta materialul transportat pe platan, realizând evacuarea acestuia.



a.) Dozator cu platan rotativ

b.) Dozator cu roata cu canal de delimitare

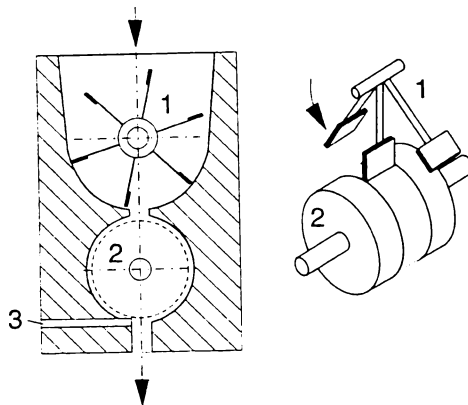


Fig. 3.9:

a.) Dozator cu platan rotativ:

- 1 - Element de reglare a grosimii stratului de material
- 2 - Depozit de material în vrac
- 3 - Amestecător cu ax vertical
- 4 - Lamela de evacuare a materialului dozat
- 5 - Mecanism de antrenare (melc-roată melcată)

b.) Dozator cu roată cu canal de delimitare:

- 1 - Amestecător
- 2 - Roata cu canal de delimitare
- 3 - Lamela de evacuare a materialului dozat

În general, pentru a asigura o curgere uniformă a materialului din depozit, în sistem se integrează un amestecător vertical sau platanul se supune unei mișcări vibratorii.

În cazul dozării cu debite volumice mici, platanul rotativ dispune de un canal, din care materialul depus va fi evacuat prin intermediul unei lamele poziționate corespunzător.

Reglarea debitului acestor dozatoare se poate face în limite largi, prin modificarea mai multor parametri:

- ⇒ mărirea secțiunii orificiului prin care trece materialul depus pe platan,
- ⇒ poziția față de platan a lamelei de evacuare a materialului,
- ⇒ turația platanului,

respectiv prin combinații ale acestora.

### 3.8 Dozatoare cu roată cu canal de delimitare

Acest tip de dozatoare este utilizat pentru debite mici și mijlocii, fiind de fapt o formă constructivă specială a dozatoarelor cu platan rotativ. La această variantă, axul roții este orizontal, canalul de delimitare fiind umplut cu material prin intermediul unui roți cu palete amplasate sub depozitul de material. După o rotire de aproximativ  $180^\circ$ , materialul în vrac din canal este evacuat prin intermediul unei lamele tangente canalului.

Sistemul se folosește pentru dozarea materialelor în vrac ce prezintă o curgere liberă, dar și pentru materialele coezive și adezive. Debitul volumic de material dozat este direct proporțional cu turația roții, domeniul de variație fiind reglabil, în raport de până la 1 : 50, astfel obținându-se debite între 0,01 - 100 dm<sup>3</sup>/h.

### 3.9 Dozatoare cu piston

Dozatoarele cu piston se utilizează numai în cazuri speciale, pentru dozarea în fluxuri mici a materialelor în vrac având o curgere ușoară. Aceste dozatoare se mai folosesc și în cazul în care materialul dozat este transferat în depozite aflate sub presiune (cu aer sau gaze inerte).

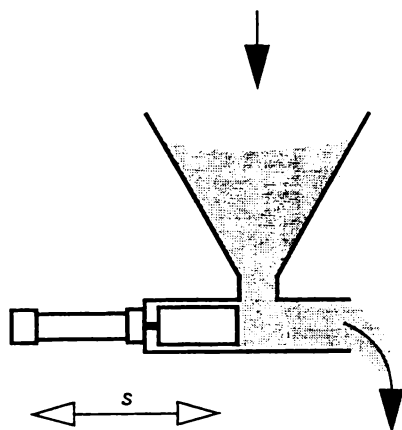


Fig. 3.10 - Dozator cu piston

Notății:

<s> - Cursa pistonului de dozare

### **3.10 Dozatoare cu element de blocare în translație**

Sistemele de acest tip sunt foarte simple, dar au și dezavantajul unei precizii de dozare reduse, cumulate cu un domeniu restrâns de reglare al debitului de material dozat. Elementul ce realizează dozarea execută o mișcare de translație, antrenarea sa făcându-se manual sau mecanic.

Aceste dozatoare se utilizează de regulă la predozarea materialului în vrac, în combinație cu dozatoare cu cântar diferențial.

**Bibliografie:** [4], [25], [37], [42], [48], [52], [53], [70], [72], [75].

## **4 Analiza MDMV și SDMV gravimetrice și a celor cu măsurarea fluxului de material în vrac**

Asemenea sisteme, respectiv mecanisme, realizează dozarea măsurând, continuu sau discontinuu, cantitatea de material în vrac de dozat. De aceea, la MDMV și SDMV gravimetrice, procesul de cântărire al materialului în vrac, realizat prin intermediul unor senzori de presiune/forță integrați în celule de cântărire, este de importanță deosebită.

### **4.1 Celule de cântărire gravimetrice**

Senzorii de forță utilizați la dozarea gravimetrică sunt diferiți ca principii de funcționare, dar furnizează la ieșire în general o mărime electrică, sub formă de tensiune [18].

Acești senzori de forță se integrează în așa-numitele celule de cântărire, care mai cuprind:

- elemente pentru transmiterea forței, respectiv a momentului de măsurat,
- convertoare forță-deplasare (după caz, funcție de tipul senzorilor utilizați),
- elemente de rigidizare a structurii celulei de cântărire și
- dispozitive electronice de prelucrare și transmitere a semnalelor electrice (analogice sau digitale).

Celulele de cântărire trebuie să realizeze măsurători precise, să fie fiabile și disponibile la prețuri rezonabile. Caracteristicile celulelor de cântărire trebuie să corespundă:

- ⇒ dinamicii procesului de măsurare,
- ⇒ condițiilor de mediu specifice procesului: șocuri, vibrații, temperatură, umiditate, substanțe agresive, praf, diferențe de presiune, câmpuri electro-magnetice puternice, etc.

Precizia unei celule de cântărire este determinată de modul de transformare al mărimii măsurate în mărimea electrică, fiind caracterizată de:

- eroarea de liniaritate,
- eroarea de histerzis,
- eroarea de oboseală,
- pragul de sensibilitate,
- influența temperaturii asupra punctului de zero (originea) și
- influența temperaturii asupra valorii nominale (caracteristice).

Totodată, trebuie analizat comportamentul celulei de cântărire sub acțiunea solicitărilor dinamice și vibratorii, pe intervale de timp scurte și lungi. În asemenea cazuri, trebuie ținut cont și de amortizarea realizată în celula de cântărire. (De exemplu, la sistemele bazate pe arcuri se utilizează amortizoare vâscoase în cazul solicitărilor reduse.)

Pentru atenuarea perturbațiilor suprapuse semnalului util, se utilizează filtre electronice reglabile, care corectează semnalul măsurat. Perturbațiile mai pot fi generate și de erori de proiectare și de montaj sau pot fi induse prin procesul tehnologic. De aceea, este necesar să se integreze în instalația de dozare elemente constructive, care să prevină sau să atenueze propagarea perturbațiilor spre celula de cântărire [70]. (De exemplu, utilizarea unor elemente



flexibile între componentele instalației de dozare, care să atenueze propagarea șocurilor și vibrațiilor.)

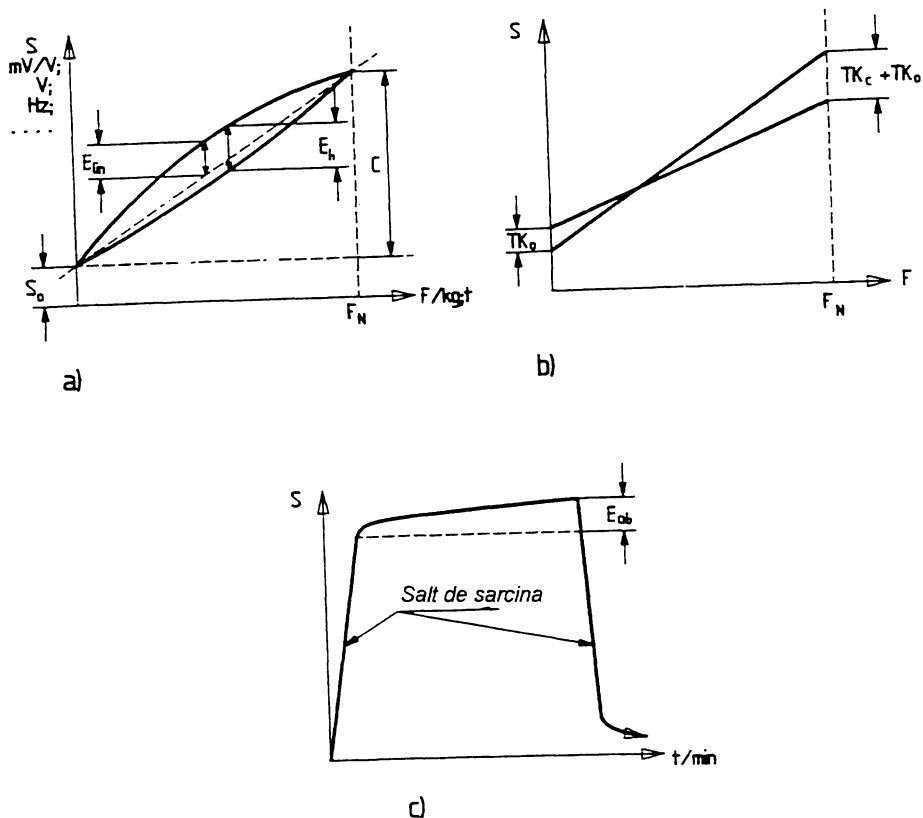


Fig. 4.1 - Caracteristici de transformare ale celulelor de cântărire:

- a.) Eroarea de deplasament a punctului de zero  $\langle S_0 \rangle$ ; eroarea de liniaritate  $\langle E_{lin} \rangle$ ; eroarea de histerezis  $\langle E_h \rangle$
- b.) Coeficientul termic pentru valoarea (punctul) de zero  $\langle TK_0 \rangle$  și valoarea nominală (caracteristică)  $\langle TK_c + TK_0 \rangle$
- c.) Eroarea de oboseala  $\langle E_{ob} \rangle$

Notații:

$\langle S \rangle$  - Semnalul măsurat

$\langle C \rangle$  - Valoarea nominală (caracteristică) a semnalului măsurat

$\langle F_n \rangle$  - Forța nominală (caracteristică)

$\langle F \rangle$  - Forța

$\langle t \rangle$  - Timpul

Perturbațiile ce pot apărea în cadrul proceselor de dozare sunt prezentate sintetic în tabelul următor:

<i>Sursa perturbației:</i>	<i>Factorii de perturbație principali:</i>
Materialul în vrac	Densitatea, comportamentul la curgere
Mediul ambiant	Vibrații, șocuri, temperatura, curenți de aer, praf
Alimentarea cu material în vrac	Cantitatea, unda (șocul) de presiune la alimentare, durata și viteza de alimentare
Procesul tehnologic	Presiunea de lucru, etanșeitatea componentelor, șocuri de presiune
Deservirea procesului de dozare	Claritatea, simplitatea, ușurința de operare
Reglarea dozatorului	Erorile de reglare, comunicația între componentele sistemului, sisteme de avarie
Senzorul de forță	Transformarea semnalului, calibrarea, influența câmpurilor electro-magnetice, variația temperaturii de lucru

Tab. 4.1 - Perturbații la celulele de cântărire

#### 4.1.1 Mărimile caracteristice ale celulelor de cântărire

Tabelul următor descrie mărimile caracteristice principale ale celulelor de cântărire:

<i>Mărimea:</i>	<i>Definiție:</i>
Valoarea nominală (caracteristică)	Produsul dintre sarcina nominală aplicată celulei de cântărire și panta liniei caracteristice între punctele extreme ale domeniului de măsurare. Este mărimea de ieșire, exprimată sub forma de tensiune, curent sau frecvență.
Valoarea nominală reală	Mărimea reală măsurată la ieșirea celulei de cântărire.
Toleranța valorii nominale (caracteristice)	Abateră valorii nominale reale față de valoarea nominală, raportată la valoarea nominală.
Eroarea de histerezis	Diferența determinată pentru valoarea nominală la aplicarea aceleiași sarcini, măsurată pe curba caracteristică pentru sarcina crescătoare, respectiv descrescătoare.
Eroarea combinată	Jumătate din înălțimea benzii de toleranță ce încadrează curba caracteristică la sarcina crescătoare, respectiv descrescătoare, raportată la valoarea nominală.

Eroarea de oboseală	Variația maximă a semnalului de ieșire, când se menține sarcina asupra celulei de cântărire o perioadă de timp prestabilă (de 10 s până la 30 min), raportată la acea sarcină.
Temperatura de referință	Temperatura mediului pentru care sunt exprimate caracteristicile celulei de cântărire - de regulă 23° C.
Domeniul de temperatură nominal	Domeniul de temperatură pentru care sunt garantate caracteristicile celulei de cântărire.
Domeniul de temperatură de utilizare	Domeniul de temperatură, în care poate fi utilizată celula de cântărire, fără să apară modificări remanente ale caracteristicilor celulei. Limitele de toleranță la măsurare pot fi însă depășite în acest domeniu de temperatură.
Domeniul de temperatură de depozitare	Domeniul de temperatură al mediului în care celula de cântărire poate fi depozitată fără ca să apară modificări remanente ale caracteristicilor ei de măsurare.
Coeficientul termic al punctului de zero	Variația semnalului de ieșire al celulei de cântărire nesolicitate, ca urmare a variației temperaturii mediului cu 1 sau, respectiv 10 K.
Coeficientul termic al valorii nominale	Variația relativă a valorii nominale reale, ca urmare a variației temperaturii mediului cu 10 K.
Pragul de sensibilitate	Cea mai mică sarcină ce poate fi măsurată cu celula de cântărire.

Tab. 4.2 - Mărimile caracteristice ale celulelor de cântărire

## 4.2 Analiza senzorilor utilizați la celulele de cântărire

Dezvoltarea senzorilor de forță și presiune reflectă dezvoltarea din domeniile micro-electronicii și a tehnicii de calcul. Astfel, în ultima perioadă s-au impus următoarele tipuri de senzori [18], [70], datorită caracteristicilor și a eficienței lor economice:

- senzorii inductivi,
- senzorii cu timbre tensometrice,
- senzorii piezo-electrici,
- senzorii cu coardă vibrantă.

În cazuri speciale se utilizează și alte tipuri, ca de exemplu:

- senzorii cu compensare electro-magnetică a forței,
- senzorii rezistivi de forță,
- senzorii de forță giroscopici,
- senzorii de radiație,
- interferometru laser.

### 4.2.1 Senzorul inductiv

Senzorul inductiv furnizează un semnal de ieșire sub formă de tensiune, proporțională cu deplasarea (de ordinul a câtorva mm) a unui element magnetizabil, care sub acțiunea forței externe se mișcă în interiorul unor bobine. Sarcina externă este preluată printr-o mecanism cu bare (sau roți dințate) și convertită în deplasare, fiind compensată prin intermediul unui element elastic.

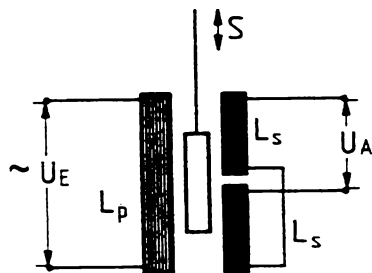


Fig. 4.2 - Senzor inductiv cu transformator diferențial

Notații:

- < $S$ > - Cursa elementului magnetizabil
- < $U_E$ > - Tensiunea de alimentare
- < $U_A$ > - Tensiunea de ieșire
- < $L_p$ > - Bobina din circuitului primar
- < $L_s$ > - Bobinele din circuitului secundar

La transformatoarele diferențiale, alimentarea circuitului primar se face cu o tensiune alternativă stabilă, cu frecvența de câțiva kHz, la ieșirea bobinelor secundare obținându-se o

tensiune continuă. Precizia acestui tip de senzor este medie, senzorul putând fi însă realizat și într-o formă etanșă, pentru utilizarea în medii agresive.

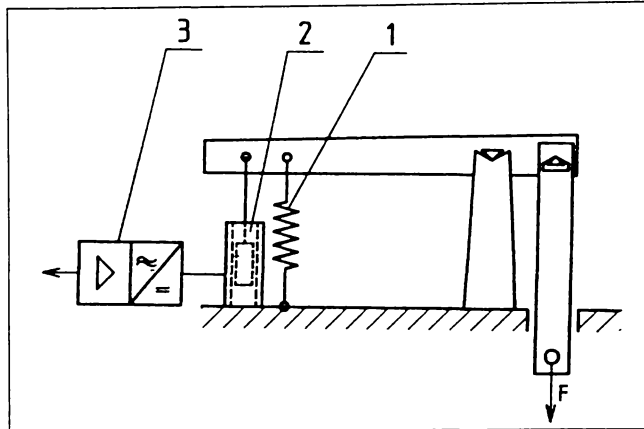


Fig. 4.3 - Schema de funcționare a unei celule de cântărire cu senzor inductiv:

- 1 - Element elastic (arc spiral) pentru compensarea forței exterioare
- 2 - Senzor inductiv de deplasare
- 3 - Bloc de condiționare a semnalului (conversie și amplificare)

#### 4.2.2 Senzorul cu timbre tensometrice

Senzorii cu timbre tensometrice produc o variație de rezistență proporțională cu alungirea lor, deci cu forța aplicată. Prin legarea timbrilor tensometrice în circuite electrice de tip punte, se va obține la ieșire o tensiune electrică, proporțională cu forța aplicată elementului solicitat: între 1 - 3 mV pentru fiecare 1 V de tensiune de alimentare aplicată. Timbrele tensometrice se montează câte două pe direcția forței, respectiv normal la aceasta, legarea lor făcându-se în punte (de regulă în semi-punte), pentru eliminarea influențelor termice.

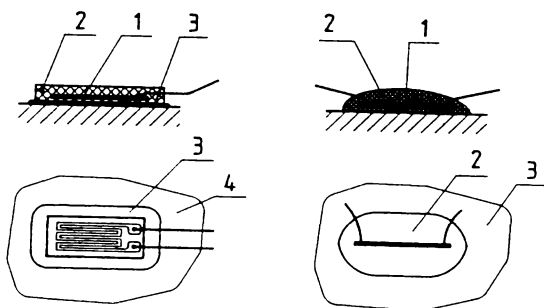
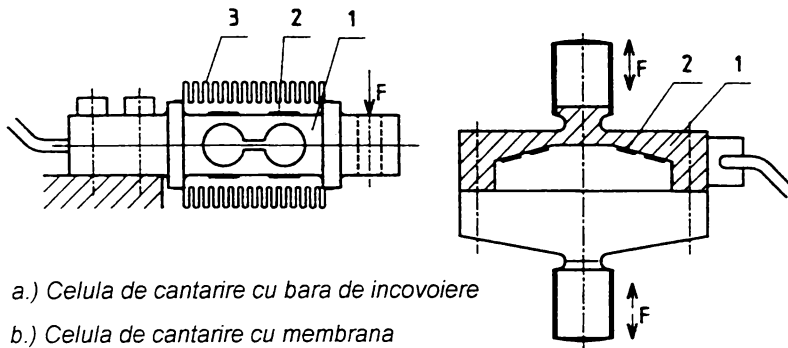


Fig. 4.4 - Tipuri de timbre tensometrice:

- a.) Cu folie metalică:
  - 1 - Rezistență din folie metalică
  - 2 - Strat protector din material plastic
  - 3 - Strat de adeziv
  - 4 - Suprafața corpului de măsurare
- b.) Cu semiconductor:

- 1 - Rezistență din material semiconductor
- 2 - Strat protector din material plastic
- 3 - Suprafața corpului de măsurare

Rezistența unui timbru tensometric este de ordinul a câtorva sute de ohmi, rezoluția atinsă cu asemenea senzori fiind de maxim 1 : 1 milion de unități pe întreg domeniul de măsurare. Timbrele tensometrice se utilizează pentru sarcini între 1 kg până la 500 t, ele prezentând o deformare maximă între 0,1 - 0,7 mm.



a.) Celula de cântărire cu bară de încovoiere

b.) Celula de cântărire cu membrana

Fig. 4.5 - Celule de cântărire cu timbre tensometrice:

- a.) Cu bară de încovoiere:
  - 1 - Bară de încovoiere
  - 2 - Timbre tensometrice
  - 3 - Manșon de protecție metalic
- b.) Cu membrană:
  - 1 - Bară de încovoiere
  - 2 - Timbre tensometrice

### 4.2.3 Senzorul cu coardă vibrantă

Senzorul cu coarda vibrantă este un oscilator, a cărui frecvență de rezonanță este dependentă de forța cu care este solicitată coarda metalică, poziționată într-un câmp magnetic uniform și parcursă de un curent de excitație cu frecvența egală cu frecvența proprie a corzii (câțiva kHz). În coarda ce vibrează astfel în câmpul magnetic, va apărea o tensiune indusă, curentul de excitație obținându-se prin amplificarea tensiunii induse în coardă.

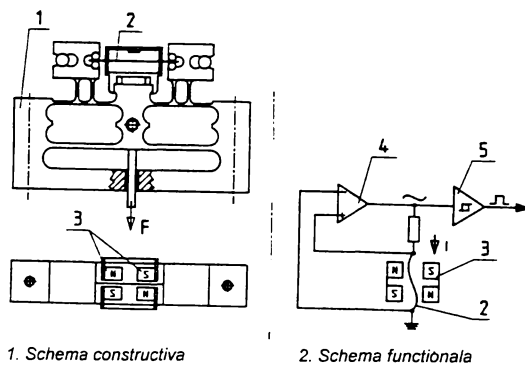
Acest tip de senzor este bazat pe dispozitive electronice complexe, care măsoară frecvența de vibrație a corzii (proporțională cu rădăcina pătrată a forței externe), realizând totodată liniarizarea caracteristicii și compensarea termică. Cu un asemenea senzor se pot măsura forțe până la 10 kN, respectiv greutatea de până la 10 kg, deformarea fiind de maxim 0,2 mm.

Avantajele acestui tip de senzor sunt următoarele:

- Furnizează la ieșire o mărime (frecvența) sub formă digitală, deci cu sensibilitate redusă față de perturbații externe.
- Are o rezoluție de măsurare foarte mare, de până la 1 : 1 milion.
- Nu necesită operațiuni de calibrare la utilizator.
- Este foarte compact, putând fi montat ușor.

Sistemul a fost dezvoltat în așa-numitul *Smart Force Transducer* (traductor de forță inteligent), prin integrarea unui microprocesor, care realizează automat calibrarea senzorului, linearizarea curbei caracteristice, compensarea termică și corectarea erorilor de măsurare.

Transmiterea semnalului digital se poate face utilizând interfața serială RS-232 pentru distanțe de până la 15 m, sau prin intermediul interfețelor seriale RS-422, respectiv RS-485, pentru distanțe de până la 1200 m.



1. Schema constructiva

2. Schema functionala

a.) Senzorul cu coarda vibranta

b.) Senzorul giroscopic

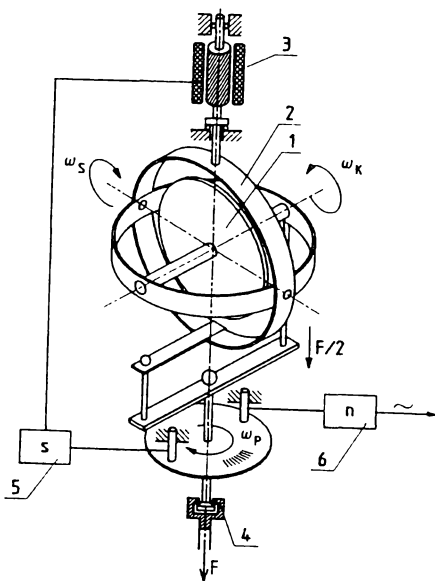


Fig. 4.6:

I. Senzor cu coarda vibranta:

1 - Elementul de preluare a forței de măsurat

2 - Coarda vibranta

3 - Magneți permanenți

- 4 - Amplificator diferențial
- 5 - Convertor analog-digital

#### II. Senzor giroscopic:

- 1 - Masa giroscopică
- 2 - Articulație cardnică
- 3 - Motor de compensare
- 4 - Lagăr axial
- 5 - Senzor de deplasare
- 6 - Tahometru

### 4.2.4 Senzorul de forță giroscopic

Senzorii giroscopici măsoară forța de greutate, prin efectul generat de momentul acestei forțe. Astfel, dacă giroscopului i se aplică un moment după o direcție perpendiculară pe axa de rotație principală, atunci roata giroscopică va efectua o mișcare de rotație după o a treia axă, așa-numita mișcare precesională. Viteza unghiulară a acestei mișcări este aproximativ proporțională cu momentul forței aplicate. Pentru compensarea frecărilor de rotație interne și externe, sistemului i se transferă energie din exterior, printr-un motor ce rotește sistemul pe direcția forței aplicate.

Determinarea vitezei unghiulare la mișcarea precesională se face printr-un sistem optic de înaltă precizie, la ieșire obținându-se un semnal digital (impulsuri). Sistemul prezintă o precizie ridicată și rezoluții de până la 1 : 10.000, având însă o construcție pretențioasă și fiind mai scump.

### 4.2.5 Senzorul cu compensare electro-magnetică a forței

Principiul de funcționare al senzorilor cu compensare electro-magnetică a forței, ce poate fi analizat pe figura de mai jos, este următorul:

Sub acțiunea forței aplicate, o bobină plasată în câmpul magnetic al unui magnet permanent este scoasă din poziția de echilibru. Această deplasare este măsurată prin intermediul unui traductor de deplasare inductiv, care comandă modificarea curentului din bobină până când aceasta își regăsește poziția de echilibru inițială. Curentul ce trece prin bobină este pulsatoriu, semnalul de ieșire (o tensiune electrică) fiind dependent de durata acestor pulsuri de curent.



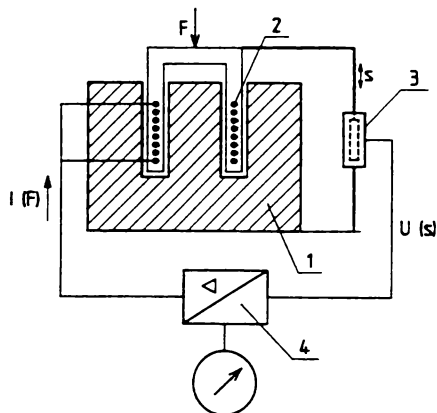


Fig. 4.7 - Schema de principiu a unei celule de cântărire cu compensare electro-magnetică a forței:

- 1 - Magnet permanent
- 2 - Bobină
- 3 - Senzor de deplasare
- 4 - Bloc electronic de condiționare a semnalului, compus din: comparator, convertor și amplificator de semnal.

Notatii:

<s> - Cursa senzorului de deplasare

<F> - Forța exterioară aplicată (de măsurat)

<U(s)> - Tensiunea produsă la ieșire de senzorul de deplasare, dependentă de cursa senzorului

<I(F)> - Curentul de compensare ce trece prin bobină, dependent de mărimea forței aplicate

Senzorul se utilizează într-o variantă simplă pentru sarcini de până la câteva kg, iar pentru cântărirea de mase mari se introduc sisteme cu amortizare suplimentară. Rezoluția sa maximă este câteva sute de mii de unități pentru întreg intervalul de măsurare, fiind produse și modele pentru utilizarea în medii agresive.

#### 4.2.6 Senzorul piezo-electric

Senzorii piezo-electrici generează sub acțiunea forțelor externe aplicate sarcini electrice, proporțional cu deformarea cristalului piezo-electric. Ei se utilizează pentru domenii de măsurare largi, la temperaturi între -10 și 100 °C (maxim 260° C), având caracteristici dinamice foarte bune. În schimb, tensiunea generată de asemenea senzori este puternic influențat de condițiile de mediu, în special de temperatură, iar prețul lor este relativ ridicat.

În ultima perioadă s-au răspândit și senzorii piezo-rezistivi, senzori pasivi, care sub acțiunea forțelor externe își modifică rezistența specifică. Aceștia au avantajul de a fi foarte subțiri (fracțiuni de mm), având deci și deformări mecanice neglijabile. Acest tip de senzori prezintă o caracteristică liniară, având însă o precizie mai redusă.

#### 4.2.7 Senzorul rezistiv de forță (FSR)

Acest tip de senzor - „*Force Sensing Resistor*” - a fost introdus de curând în domeniul aplicațiilor industriale și de laborator, pentru măsurarea forței prin efect rezistiv [76]. El este realizat cu ajutorul a 2 folii subțiri de material plastic (polimer izolator): pe cea de bază, este depusă o grilă de material conductor, iar pe cea superioară un strat de material semiconductor, cele două straturi fiind în contact mecanic. La exercitarea unei forțe normale la suprafața senzorului, stratul semiconductor va șunta grila conductoare, rezistența senzorului scăzând proporțional cu mărimea forței aplicate.

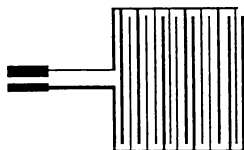


Fig. 4.8 - Senzor rezistiv de forță

Senzorul FSR poate fi realizat și în forme speciale: sub formă de bandă (pentru determinarea simultană a mărimii forței și a punctului ei de aplicație, după o axă) și sub formă de matrice (pentru determinarea simultană a mărimii forței și a punctului ei de aplicație, într-un sistem de coordonate cu 2 axe).

Avantajele principale ale acestui tip de senzor sunt:

- o grosime redusă, de 0,2 - 0,5 mm,
- suprafețe active variabile, de până la 0,5 x 0,6 m<sup>2</sup>, asociate cu
- o rezistență activă mare, ce variază între câțiva <kΩ> și câțiva <MΩ>.

Prezentând un histerezis redus și având (în comparație cu senzorii piezo-rezistivi) o sensibilitate foarte mică față de variații de temperatură și la vibrații - toate acestea la un preț de cost favorabil - senzorii de tip FSR reprezintă o alternativă viabilă pentru măsurarea forței.

#### 4.2.8 Senzorul de radiație

Senzorii de radiație sunt utilizați în combinație cu un emițător de radiație (gamma), furnizând la ieșire un semnal electric proporțional cu atenuarea intensității radiației la trecerea printr-un strat de material (de exemplu: materialul în vrac aflat pe o bandă transportoare). Având o precizie de măsurare redusă, acești senzori se utilizează mai rar în cadrul sistemelor de dozare gravimetrice.

#### 4.2.9 Interferometrul laser

Interferometrul laser funcționează pe principiul măsurării efectului produs de interferența radiației laser la trecerea printr-un mediu fluid sau gazos, fiind utilizat la măsurători de la distanță și în medii agresive. Dispozitivul realizează precizii de măsurare ridicate, fiind însă și foarte scump.

### 4.3 SDMV gravimetrice cu cântărire continuă

Dozatoarele gravimetrice sunt cel mai des utilizate în practica industrială, datorită compromisului bun pe care îl realizează pentru precizia și constanța de dozare, în raport cu costurile inițiale și cele de exploatare [70]. De regulă, dozatoarele gravimetrice se folosesc în sisteme de dozare complexe ce includ și dozatoare fără măsurare, utilizate pentru predozarea substanțelor.

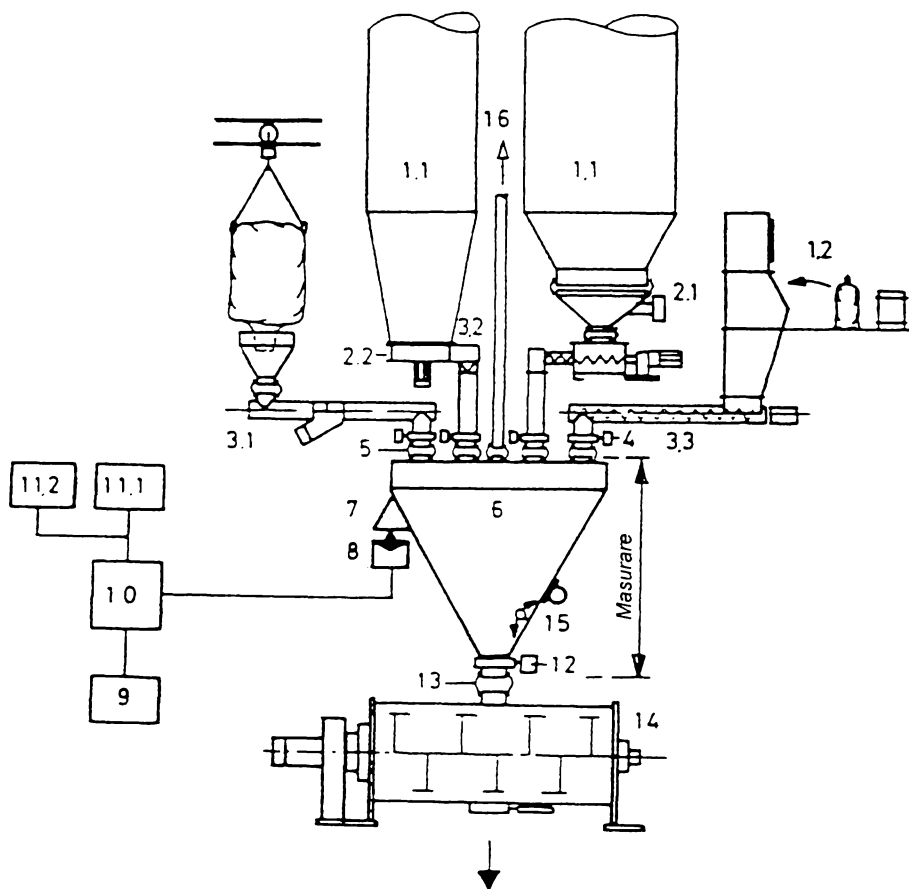


Fig. 4.9 - Sistem de dozare complex, centrat pe un dozator gravimetric de tip cântar diferențial:

- 1.1 - Siloz de material în vrac
- 1.2 - Alimentare cu material în vrac, stocat în saci sau butoaie
- 2.1, 2.2 - Dispozitive de extragere a materialului în vrac din silozuri
- 3.1, 3.2, 3.3 - Dispozitive de dozare a materialului în vrac fără măsurare
- 4 - Dispozitive de oprire a alimentării cu material în vrac din depozite
- 5 - Legături flexibile între tuburile de alimentare cu material și cântarul diferențial
- 6 - Depozitul de material al cântarului diferențial

- 7 - Elemente de transmitere a forței la celulele de cântărire
- 8 - Celule de cântărire (3 celule poziționate circular, în unghi de 120°)
- 9 - Dispozitiv de stabilire a valorii impuse (de referință) pentru fluxul, respectiv cantitatea de material în vrac dozat
- 10 - Dispozitiv comparator și regulator
- 11.1 - Dispozitiv de afișare a datelor de proces
- 11.2 - Dispozitiv de înregistrare și imprimare a datelor de proces
- 12 - Dispozitive de oprire a evacuării materialului dozat
- 13 - Legătura flexibilă între tubul de evacuare a materialului dozat și cântarul diferențial
- 14 - Recipienți de captare a materialului în vrac dozat (omogenizator, reactor, etc.)
- 15 - Dispozitiv de accelerare a golirii depozitului cântarului
- 16 - Dispozitiv pentru aspirarea prafului și degazarea depozitului cântarului

### 4.3.1 Dozatoare-cântar cu bandă transportoare

Aceste sisteme se utilizează la dozarea fluxurilor continue de material, în industria chimică, industria agro-alimentară, industria materialelor de construcții și în industria extractivă.

Componentele principale ale unui dozator-cântar cu bandă transportoare sunt următoarele:

- banda transportoare propriu-zisă,
- dispozitivul de antrenare al benzii, cu traductor de turație,
- sistemul de încărcare al benzii cu material în vrac,
- sistemul electronic de măsurare și reglare al debitului fluxului de material,
- dispozitive de reglare a grosimii stratului de material și de oprire a alimentării cu material în vrac,
- sistemul de deplasare și ghidare al benzii transportoare.

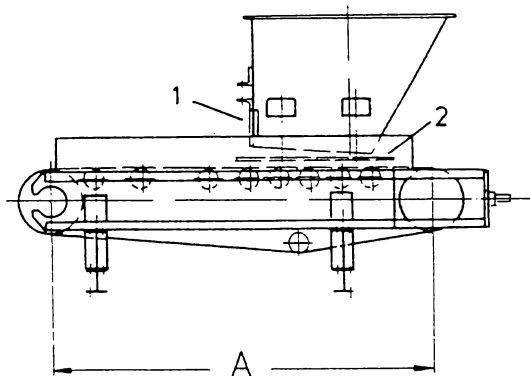


Fig. 4.10 - Schema unui dozator-cântar cu bandă transportoare (variantea clasică):

- 1 - Dispozitiv de reglare a stratului de material dozat
- 2 - Dispozitiv de închidere a depozitului de material în vrac

Măsurarea încărcării benzii se face de regulă prin intermediul unei role, plasată sub banda transportoare și care transmite forța la care este supusă unei celule de cântărire, prin intermediul unei pârghii. Pârghia, dotată cu o contragreutate pentru compensarea greutății

rolei, realizează transmiterea, pe direcție verticală, a forței de greutate generate de particulele aflate în zona de măsurare a benzii. Încărcarea benzii este calculată prin raportul dintre forța de greutate măsurată de celula de cântărire și distanța dintre 2 role de ghidare alăturate.

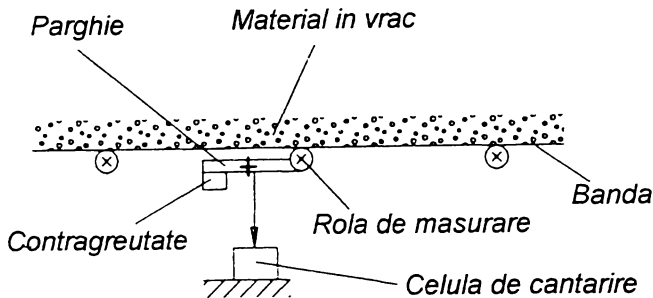


Fig. 4.11 - Sistemul de măsurare al încărcării benzii, la dozatoarele-cântar cu bandă transportoare

Funcție de mărimea folosită pentru reglarea debitului de material dozat, există 2 metode:

1. Reglarea prin viteza benzii transportoare, când este modificată turația motorului de antrenare al benzii, grosimea stratului de material depus pe bandă fiind menținută relativ constantă, cu ajutorul unui element de nivelare.
2. Reglarea prin modificarea încărcării benzii, când viteza benzii este menținută constantă și încărcarea benzii este modificată prin utilizarea unui dispozitiv de distribuire a materialului din depozitul superior (de exemplu cu: melc, roata cu celule de delimitare, etc.).

Semnalul analog furnizat de celula de cântărire este amplificat, digitalizat printr-un convertor analog-digital și transmis unui microprocesor, care calculează debitului real al fluxului de material, îl compară cu valoarea prescrisă, diferența fiind transmisă dispozitivului de reglare. Acesta realizează comanda, după caz, a motorului de antrenare al benzii (metoda 1), respectiv a distribuitorului de material (metoda 2), pentru corectarea diferențelor de debit sesizate.

Pentru a reduce erorile de dozare pe durate mici de timp, se impune reducerea distanței dintre punctul de încărcare al benzii cu material și punctul de măsurare. Erori în procesul de măsurare mai pot fi induse prin:

- rigiditatea variabilă a benzii transportoare, dependentă de temperatura mediului de lucru,
- aderarea materialului transportat de bandă,
- pulsuri la încărcarea benzii cu material, precum și
- grosimea neuniformă a stratului de material depus pe bandă.

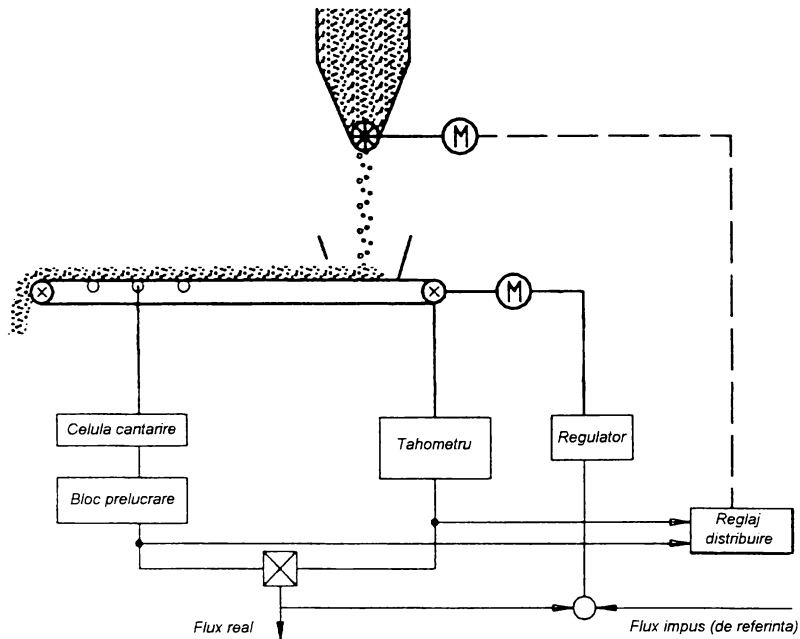


Fig. 4.12 - Dozator-cântar cu bandă transportoare și dispozitiv de distribuire controlat

În cazul în care regulatorul acționează și asupra distribuitorului de material, se obține un domeniu de reglare mai larg, precum și o precizie și o constanță mărită a procesului de dozare realizat.

Pentru creșterea preciziei și siguranței dozării se utilizează sisteme de control a deplasării benzii transportoare, sisteme ce sesizează deplasarea înclinată a benzii și alunecarea acesteia. Cu asemenea sisteme este posibilă corectarea deplasării benzii, fără a fi necesară întreruperea procesului de dozare.

Au fost realizate și sisteme electronice pentru compensarea influenței benzii în semnalul măsurat de celula de cântărire, sisteme denumite *Belt Influence Compensation (BIC)*, care cresc precizia dozatoarelor-cântar cu bandă până la aproximativ 0,4%.

Dozatoarele-cântar cu bandă transportoare se utilizează la debite de material între 20 kg/h și 2.000 t/h, având raporturi de reglare de aproximativ 1 : 20, până la 1 : 100, în cazul în care se reglează și grosimea stratului de material depus pe bandă. Precizia de dozare pe durată îndelungată este de aproximativ 0,5%, pentru debite între 10 - 100% din debitul maxim. Precizia de dozare pe durată scurtă poate fi îmbunătățită utilizând metode software și/sau hardware de compensare a erorilor.

### 4.3.2 Dozatoare-cântar cu rotor

Dozatările-cântar cu rotor au fost concepute pentru dozarea gravimetrică continuă a materialelor în vrac pulverulente sau cu granule fine. Ele sunt integrate în sisteme ce realizează transportul pneumatic al materialelor în vrac și în sisteme ce folosesc depozite (recipienți) sub presiune.

Asemenea dozatoare pot controla debite de material între 0,05 - 50 t/h, fiind în general legate direct la canalul de ieșire al silozului de material, integrându-se în circuitele de transport pneumatic a materialelor în vrac. Prin modul lor de realizare, aceste dozatoare integrează într-un modul compact elementul de extragere a materialului din siloz, dispozitivul de măsurare și de reglare, precum și dispozitivul de transport pneumatic. Sistemul este realizat într-o construcție modulară, oferind astfel o flexibilitate mărită și posibilitatea unor operații de întreținere și reparație simplificate.

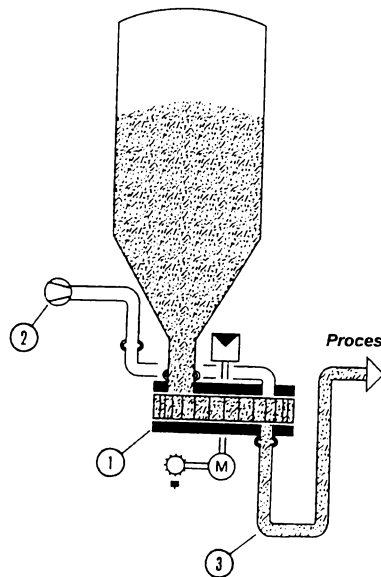


Fig. 4.13 - Schema de principiu a unui sistem cu dozator-cântar cu rotor:

- 1 - Dozator-cântar cu rotor
- 2 - Suflantă pentru agentul de transport pneumatic
- 3 - Tuburi pentru transportul materialului în vrac fluidizat

Componentele principale ale unui dozator-cântar cu rotor sunt următoarele:

- rotorul cu camerele de dozare, în construcție etanșă,
- motorul de antrenare al rotorului, cu tahometru (pentru urmărirea turației),
- celula de cântărire,
- elementul de conectare la silozul de material,
- elementul de evacuare al materialului dozat,
- sistemul de transport pneumatic, cu turbina și tubulatura aferentă.

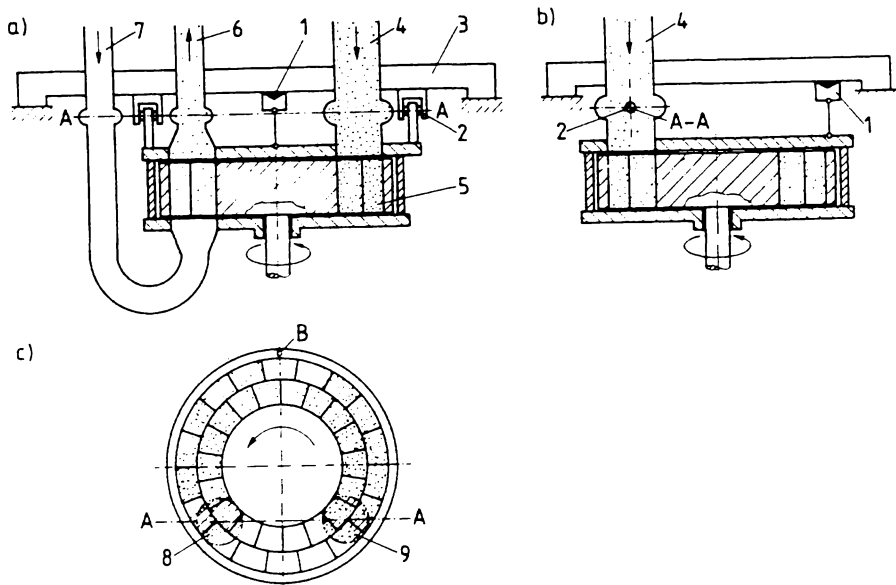


Fig. 4.14 - Dozator-cântar cu rotor:

- a.) Vedere din față
- b.) Vedere laterală
- c.) Vedere de sus a rotorului

Notații:

- 1 - Celula de cântărire
- 2 - Articulație
- 3 - Cadru de susținere
- 4 - Tub de alimentare pentru materialul în vrac
- 5 - Camera rotorului
- 6 - Tub de evacuare a materialului dozat
- 7 - Alimentare cu aer comprimat
- 8 - Orificiu de evacuare a materialului dozat
- 9 - Orificiu de alimentare cu material în vrac
- A-A - Ax de rotire a cântarului
- B - Punct de cântărire

Principiul de funcționare al unui asemenea dozator este relativ simplu: materialul extras din siloz este transportat pe cale pneumatică, prin orificiul de intrare, în camerele rotorului, dispuse decalat pe mai multe inele concentrice (pentru reducerea pulsațiilor de dozare). După o rotire cu aproximativ  $300^\circ$ , camerele umplute cu material ajung în dreptul orificiului de evacuare, unde sunt golite (și curățate) atât pneumatic, cât și prin efect gravitațional.

Determinarea masei de material dozat se face prin intermediul unei singure celule de cântărire 'inteligente', care măsoară momentul forței de greutate în raport cu o axă de rotație, dispusă astfel, încât influențele perturbațiilor asupra procesului de măsurare să fie minimizate. Debitul masic al fluxului de material se determină pe baza produsului dintre greutatea și viteza unghiulară a rotorului la momentul de măsurare.

Pe baza acestui principiu de lucru, se poate determina debitul masic la nivelul orificiului de evacuare, înainte de eliminarea a materialului dozat. Se poate realiza astfel o reglare pe



bază de prognoză a debitului de material, cu o precizie foarte ridicată. Utilizând un sistem cu microprocesor, care măsoară, analizează și stochează valorile corespunzătoare greutateii momentane a rotorului, eventualele abateri de la debitul impus se pot corecta prin modificarea (foarte rapidă) a vitezei unghiulare cu care rotorul transportă materialul de dozat.

Din aceste considerente, sistemul este ideal pentru dozarea materialelor pulverulente și granulare fine, el compensând rapid diferențele mari de densitate și gradul de umplere diferit al celulelor rotorului, asigurând un debit de material constant și o precizie de dozare foarte mare, atât pe intervale de timp scurte cât și lungi.

Aplicații specifice ale dozatorului-cântar cu rotor sunt procesele chimice (la producerea cimentului) și procesele termice (alimentarea cuptoarelor centralelor termice cu praf de cărbune).

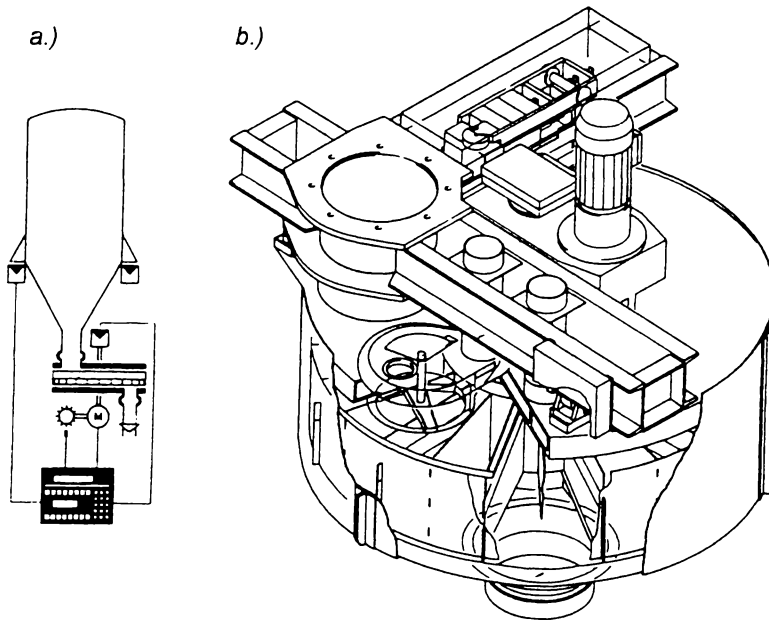


Fig. 4.15 - Sistem de dozare utilizat la dozarea pulberii de ciment brut:  
a.) Structura unui sistem de dozare integrând un dozator cu cântar diferențial și un dozator-cântar cu rotor, supravegheate de un dispozitiv de reglare central  
b.) Dozator-cântar cu rotor asamblat

### 4.3.3 Dozatoare cu cântar diferențial

Sistemele acestea de dozare se încadrează în categoria dozatoarelor gravimetrice continue, deși, pe durata realimentării depozitului cu material, când nu este posibilă măsurarea prin intermediul celulelor de cântărire, dozarea se efectuează pe cale volumetrică. Deoarece dozatoarele de acest tip realizează dozarea materialului prin măsurarea diferenței de greutate a depozitului de material, ele se numesc și alimentatoare cu pierdere în greutate (*Loss-in-Weight Feeders* sau *Weight-Loss Feeders*).

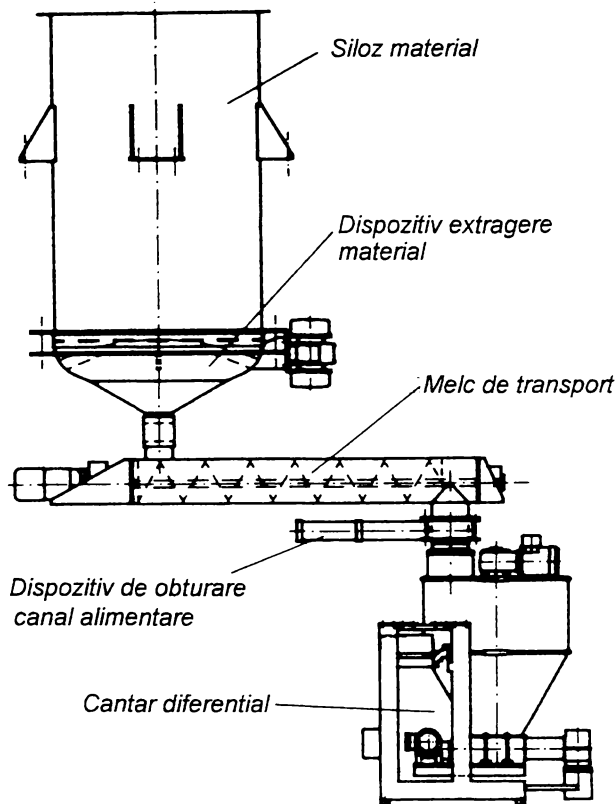


Fig. 4.16 - Dozator gravimetric cu cântar diferențial, alimentat prin intermediul unui dozator cu melc

Aceste dozatoare sunt foarte răspândite, datorită faptului că, au o construcție relativ simplă și permit dozarea chiar și a materialelor în vrac coezive și adezive, precum și a materialelor care au un comportament de curgere variabil.

Un alt avantaj este posibilitatea realizării unor debite de material foarte mici, de până la câteva g/h (necesare pentru dozarea unor catalizatori, stabilizatori, pigmenți, etc.), precum și a unor debite mari, de până la 10 t/h. Gama de reglare maximă poate atinge, în cazul optim, 1 : 50, funcție de tipul elementului de dozare ales și de proprietățile materialului dozat. Este posibilă și dozarea materialelor aflate în circuite sub presiune (protejate cu gaze inerte) sau

a materialelor explozive, precum și dozarea materialelor în vrac aflate la temperaturi ridicate, de până la 400° C.

Componentele principale ale unui dozator cu cântar diferențial sunt enumerate mai jos:

- elementul de dozare (de regulă un melc de dozare),
- dispozitivul de antrenare al elementului de dozare,
- sistemul de cântărire și
- blocul de control și reglare (cu microprocesor).

Depozitul de material în vrac este alimentat dintr-un siloz superior, prin intermediul unui element de extragere (melc sau roată cu celule de delimitare), care realizează și închiderea silozului. Atunci când materialul din depozit a atins nivelul inferior de umplere, la comanda dată de blocul de control al dozării, se execută rapid realimentarea depozitului cu material, până la nivelul maxim admis. Pe parcursul acestui interval și până la stabilizarea materialului în depozit, dozarea se va putea face numai volumetric, prin comanda cu parametrii constanți ai dispozitivului de antrenare a elementului de dozare, deoarece celulele de cântărire nu pot furniza un semnal corect diferențiat în acest interval de timp.

Se recomandă ca timpul afectat realimentării să fie de aproximativ 10%, maxim 20%, din timpul total aferent operației de dozare. Aceasta se realizează prin dimensionarea corespunzătoare a depozitului de material, cât și a elementului de extragere a materialului din siloz.

Legătura depozitului de material cu sistemul de cântărire se poate asigura prin suspendarea depozitului prin intermediul celulelor de cântărire sau prin simpla plasare a depozitului pe 3 celule de cântărire, dispuse circular, la 120°.

Celulele de cântărire vor măsura, la intervale de timp prestabilite, greutatea depozitului cu material. Blocul de control cu microprocesor va calcula permanent diferența de greutate raportată la unitatea de timp ( $dG/dt$ ), determinând astfel debitul masic real al dozatorului. Comparatorul va analiza diferența față de debitul impus și va comanda blocului de reglare modificarea mărimii de control a dispozitivului de antrenarea al elementului de dozare (de regulă turația). Cu ajutorul unui tahometru, sistemul de control verifică turația reală a dispozitivului, corectând automat abaterile apărute. Se realizează astfel două bucle de reglare, ceea ce permite o dozare mai precisă și mai constantă.

În practică, ca element de dozare se utilizează:

- dozatoare cu melc (sistemul cel mai răspândit),
- dozatoare prin vibrație,
- dozatoare cu roți cu celule de delimitare,
- dozatoare cu bandă transportoare și alte tipuri speciale, funcție de natura procesului și proprietățile materialului în vrac de dozat.

Pentru a nu transmite perturbații suplimentare spre celulele de cântărire, este necesar ca legăturile spre depozitul de material să fie realizate prin intermediul unor elemente elastice, compensatoare. În cazul, în care sistemul de dozare lucrează sub presiune, este necesară compensarea, respectiv egalizarea presiunilor la nivelul depozitului de material în vrac, pentru a nu transmite semnale denaturate la celulele de cântărire.

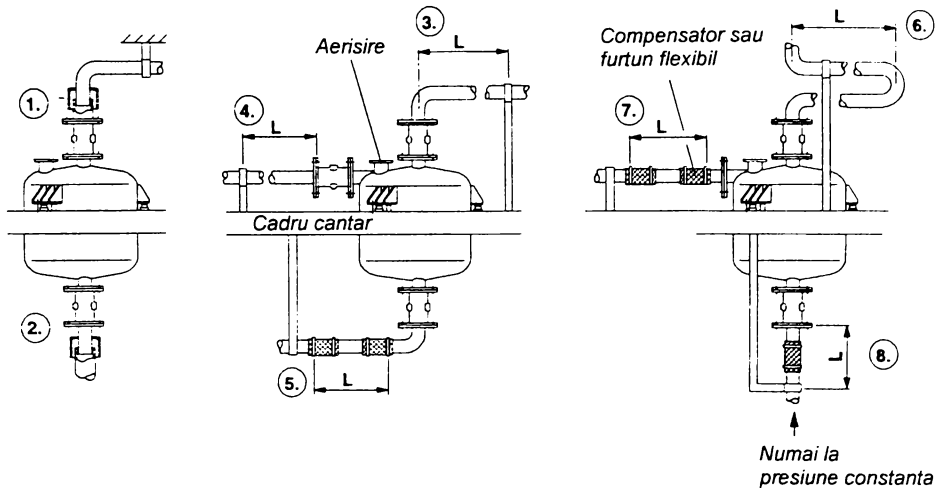


Fig. 4.17 - Soluții pentru reducerea perturbațiilor transmise celulelor de cântărire:

- 1 - Utilizarea unor tuburi de alimentare libere, fără legătură mecanică cu cântarul și sprijinite pe cadrul de bază al acestuia
- 2 - Utilizarea unor tuburi de evacuare libere, fără legătură mecanică cu cântarul și sprijinite pe cadrul de bază al acestuia
- 3, 4 - Utilizarea de tuburi de legătura cu lungime mare, sprijinite pe cadrul de bază al cântarului
- 5, 7, 8 - Utilizarea de elemente de legătura elastice între tuburi și depozitul-cântar
- 6 - Utilizarea de tuburi compensatoare

Funcție de modul de preluare a sarcinilor parazite, dozatoarele cu cântar diferențial pot fi:

- Dozatoare cu tarare aditivă, la care printr-o construcție cu pârgii se realizează compensarea sarcinii parazite (compensarea punctului de zero), fără a reduce domeniul de măsurare al celulelor de cântărire.
- Dozatoarele cu tarare substractivă, la care sarcina parazită este și ea măsurată, determinând micșorarea domeniului de măsurare al celulelor de cântărire, respectiv reducerea preciziei de măsurare.

Cântarele cu sisteme de pârgii, numite și cântare hibride, au o construcție mai complexă și ocupă mai mult spațiu, în timp ce cântarele ce măsoară sarcina completă sunt mai ieftine și mai compacte, putând fi ușor integrate în sisteme de dozare flexibile.

Funcție de senzorii de cântărire utilizați, dozatoarele cu cântar diferențial pot fi:

- Sisteme cu deplasare, în cazul în care măsurarea greutateii are loc prin modificarea poziției sau unghiului elementului de transmitere a sarcinii (de exemplu, cu senzori inductivi).
- Sisteme fără deplasare, la care măsurarea greutateii are loc fără o modificare semnificativă a poziției elementului de transmitere a sarcinii (de exemplu, cu timbre tensometrice).

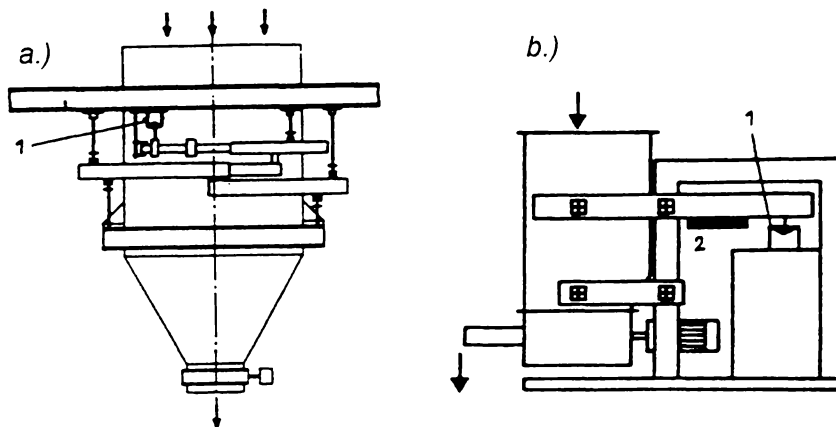


Fig. 4.18 - Dozator-cântar în varianta hibridă:

a.) Pentru procese de dozare discontinue:

1 - Celula de cântărire

b.) Pentru procese de dozare continue:

1 - Celula de cântărire

2 - Contragreutate

Principalele tipuri de senzori utilizați la cântarele diferențiale sunt:

- senzorii cu timbre tensometrice,
- senzorii cu coardă vibrantă,
- senzorii inductivi de măsurare a deplasării,
- senzorii cu compensare electro-magnetică a forței.

Dozatoarele cu cântar diferențial pot fi realizate în diverse variante constructive, conform tabelului de mai jos:

<i>Tip dozator:</i>	<i>Dispozitivul de cântărire: (modul de compensare al forței)</i>	<i>Dispozitivul de afișare al rezultatului măsurării:</i>
Cu cântar mecanic	Mecanic	Mecanic
Cu cântar electro-mecanic	Mecanic	Electronic
Cu cântar electronic	Electronic	Electronic
Cu cântar pneumatic	Pneumatic	Pneumatic
Cu cântar hidraulic	Hidraulic	Hidraulic

Tab. 4.3 - Variante constructive la cântarele diferențiale

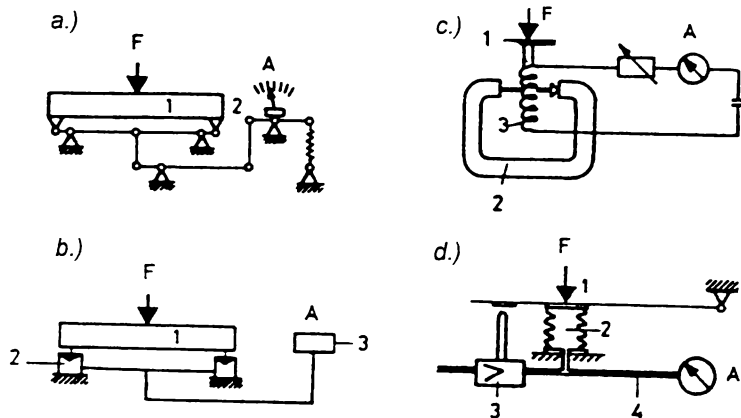


Fig. 4.19 - Principii de cântărire:

a.) Cu cântar mecanic:

- 1 - Dispozitiv de preluare a forței (mecanic)
- 2 - Sistem de măsurare și afișare (mecanic)

b.) Cu cântar electro-mecanic:

- 1 - Dispozitiv de preluare a forței (mecanic)
- 2 - Celula de cântărire
- 3 - Sistem de măsurare și afișare (electric)

c.) Cu cântar electronic:

- 1 - Dispozitiv de preluare a forței (electric/electronic)
- 2 - Sistem de generare a câmpului magnetic
- 3 - Bobină mobilă

d.) Cu cântar pneumatic sau hidraulic:

- 1 - Dispozitiv de preluare a forței (pneumatic, respectiv hidraulic)
- 2 - Celula de măsurare pneumatică, respectiv hidraulică
- 3 - Regulator de presiune
- 4 - Sistem de afișare (pneumatic, respectiv hidraulic)

Notații:

F - Forță externă (sarcina)

A - Afișaj valoare măsurată

În ultima perioadă de timp, datorită performanțelor și fiabilității lor mărite, s-au răspândit dozatoarele cu cântar diferențial cu bloc de control și reglare complet digital. Aceste dozatoare pot fi realizate pe principiul sistemelor deschise, care acceptă extinderea prin componente de la producători diferiți (prin intermediul unor interfețe standardizate) sau pot fi sisteme închise, bazate pe soluții proprietare producătorului sistemului respectiv de dozare. Recomandate sunt dozatoarele realizate în soluție modulară, la care utilizatorul poate extinde sistemul folosind diverse module de extensie.

Principalele surse de eroare la dozarea cu ajutorul cântarelor diferențiale pot fi [48], [52], [70]:

- Rezoluția insuficientă a senzorului de măsurare a forței (în special la cântarele cu tarare substractivă sau la debite mici de material).
- O fază de reumplere prea lungă, determinată de un flux de realimentare prea slab.

- Umiditate prea mare în mediul de lucru, care favorizează formarea unor aglomerări de material.
- Un flux de material neregulat în zona de umplere a elementului de dozare.
- Închiderea incompletă a silozului și scurgeri parazite, necontrolate, de material spre depozit.
- Inducerea unor forțe perturbatoare în lanțul de măsurare, prin utilizarea unor elemente de legătură și de compensare incorect dimensionate.
- Fluidizarea materialului în vrac dozat.
- Diferențe de presiune în depozitul de material, generate de sisteme de aspirare a prafului și pulberilor realizate necorespunzător.
- Necompensarea presiunilor la nivelul depozitului de material.
- Uzura și coroziunea sistemului de măsurare (în special la cântarele hibride, cu pârgă).
- Blocarea elementului de dozare.
- Excentricitatea unor elemente în mișcare de rotație, ceea ce determină inducerea unor vibrații de joasă frecvență în lanțul de măsurare.
- Pulsații în evacuarea materialului dozat.
- Atingerea limitelor de funcționare (superioară sau inferioară) ale sistemului de dozare.

Datorită multiplelor surse potențiale de eroare, dozatoarele cu cântar diferențial trebuie proiectate pe baza analizei procesului tehnologic în cadrul căruia vor fi utilizate, executate cu precizie ridicată și întreținute și verificate periodic.

#### 4.4 SDMV gravimetrice cu cântărire discontinuă

Aceste dozatoare utilizează aceleași tipuri de dispozitive de dozare ca și cele folosite la dozarea gravimetrică cu cântărire continuă, diferențe apărând numai în modul de realizare al controlului și al reglării cantității de material dozat. Prin specificul dozării discontinue, accentul se pune pe următoarele aspecte:

- precizia procesului de cântărire a șarjei de material.
- dozarea în timp cât mai scurt a cantității de material în vrac și
- precizia executării închiderii (obturării) depozitului de material.

La aceste sisteme, dozarea se realizează introducând o fază inițială cu debit mărit de material - dozarea brută - urmată de o fază cu debit redus - dozarea fină. Cele două faze pot fi executate în trepte (separat) sau în mod continuu.

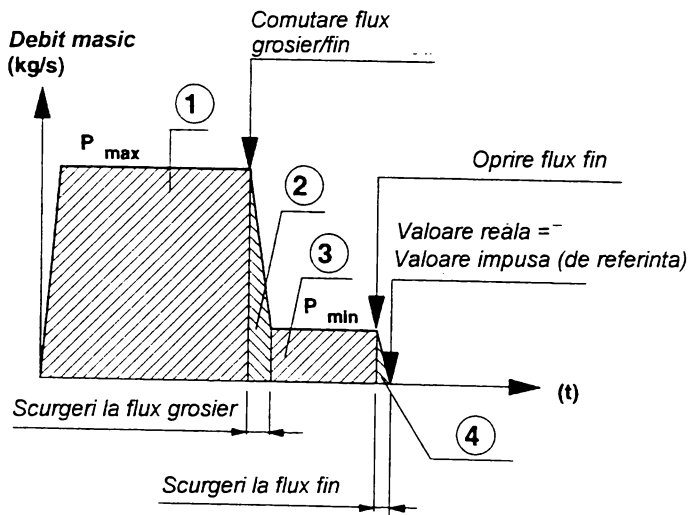


Fig. 4.20 - Variația fluxului de material în vrac la procesele de dozare gravimetrică discontinuă:

- 1 - Cantitate de material dozată în faza de dozare brută
- 2 - Cantitate de material scursă după încheierea fazei de dozare brută
- 3 - Cantitate de material dozată în faza de dozare fină
- 4 - Cantitate de material scursă după încheierea fazei de dozare fină

Deoarece o precizie mărită în separarea acestor faze implică o durată mărită a procesului de dozare și viceversa, în practică, este necesară realizarea unor soluții de compromis, funcție de cerințele impuse de procesul tehnologic deservit.

Pentru a putea realiza o dozare precisă și reproductibilă, cântarele folosite la procese de dozare discontinuă trebuie să prezinte următoarele caracteristici:

- precizie de cântărire ridicată, deseori conformă cu normele metrologice legale,
- stabilitate ridicată față de perturbații externe, respectiv semnalizarea situațiilor critice și
- fiabilitate ridicată.



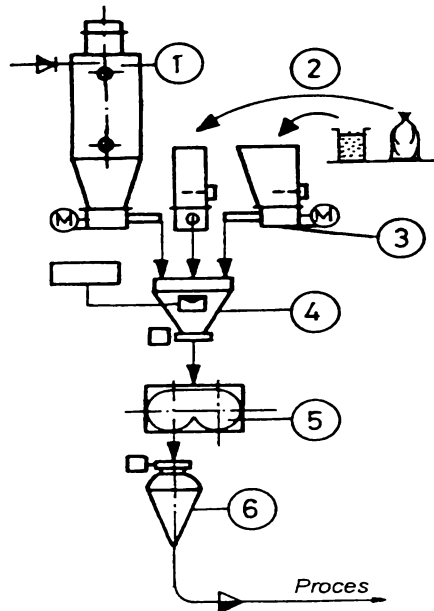


Fig. 4.21 - Schema de principiu a unui sistem automatizat de dozare gravimetrică discontinuă:

- 1 - Siloz pentru materialul în vrac
- 2 - Material în vrac livrat în: butoaie, saci, depozite flexibile (*Big-Bags*) sau containere
- 3 - Dozatoare discontinue și dispozitive de extragere a materialului în vrac
- 4 - Dozator cu cântar diferențial
- 5 - Omogenizator
- 6 - Sistem de transport pneumatic a materialului dozat

Pentru creșterea flexibilității acestor sisteme de dozare, în practica industrială se utilizează:

1. Dozatoare cu cântar cu domenii multiple de măsurare, care permit modificarea limitei superioare de măsurare, asigurând astfel creșterea rezoluției și a preciziei în cazul măsurării cantităților mici.
2. Dozatoare cu cântar cu divizarea domeniului de măsurare prin modificarea punctului de zero (originii), asigurându-se astfel o precizie ridicată pe întreg domeniul de măsurare.

Din punct de vedere constructiv, la procesele de dozare gravimetrică discontinuă se utilizează:

- cântare cu bandă transportoare,
- cântare de tip platformă - staționare sau mobile,
- cântare integrate în recipientii de omogenizare a amestecurilor de materiale.

Din punctul de vedere al desfășurării procesului de dozare discontinuă, există următoarea clasificare a proceselor de dozare:

1. Procese centrate pe componente, când dozatorul-cântar este deplasat la depozitul fiecărei componente în parte.

2. Procese centrate pe dispozitivul de cântărire, în cazul în care componentele necesare fiecărei operații sunt aduse spre dozare la cântar.
3. Procese modulare, când pentru dozarea fiecărei componente se folosește câte un cântar.

Desigur că, la instalațiile de dozare industriale, pot apărea și combinații ale tipurilor de procese de dozare discontinuă, după cum se poate observa în exemplele următoare.

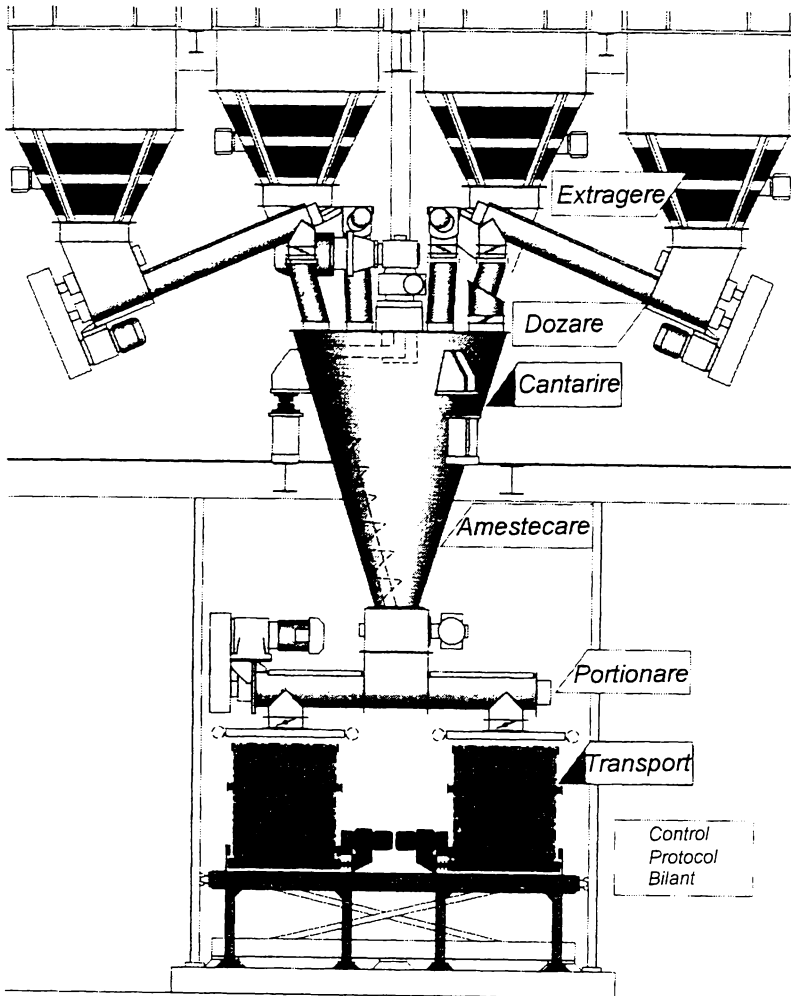


Fig. 4.22 - SDMV gravimetric discontinuu, utilizat la formarea amestecurilor de substanțe în industria alimentară

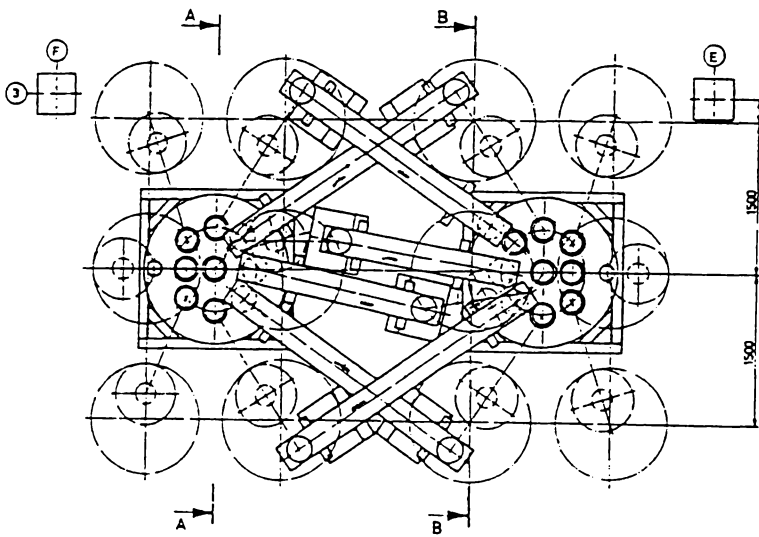
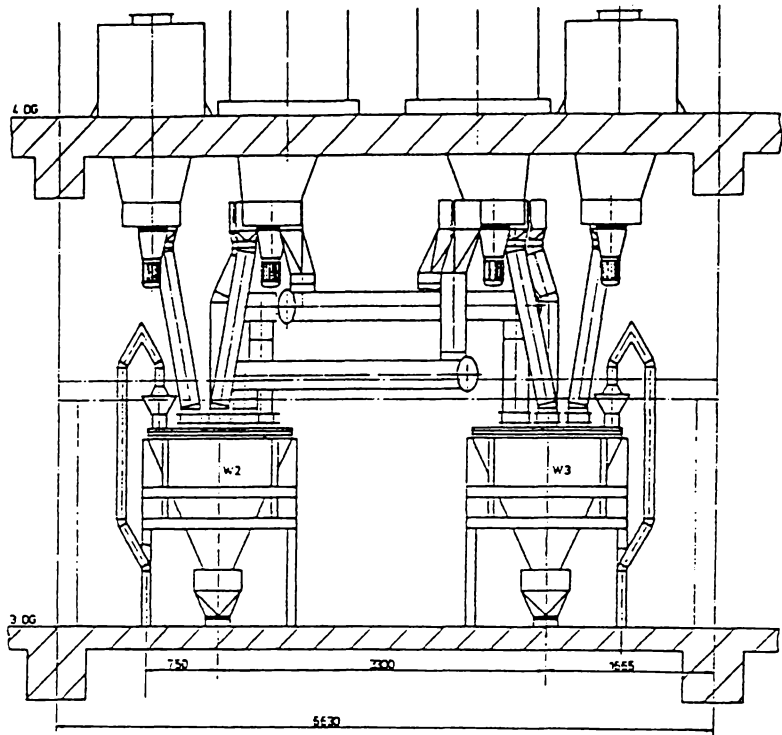


Fig. 4.23 - Schema unui SDMV flexibil, pentru procese de dozare multi-componentă

## 4.5 SDMV cu măsurarea fluxului de material în vrac

La aceste procedee, dozarea fluxului de material se realizează prin utilizarea combinată a unui dispozitiv de măsurare a fluxului de material și a unui dispozitiv reglabil de distribuire a materialului (melc de transport sau obturator cilindric) [48], [52], [70].

Principiul de funcționare este simplu: dispozitivul de măsurare a fluxului de material stabilește debitul masic real de material dozat, debit ce este comparat cu debitul impus prin dispozitivul de control. Pe baza abaterilor sesizate, dispozitivul de reglare va comanda modificarea mărimii de reglare (turație, unghi de deschidere, etc.) a dispozitivului de distribuire a materialului extras din depozit.

Sistemele de dozare cu măsurarea fluxului de material sunt utilizate cu preponderență în:

- industria alimentară - de exemplu: la liniile tehnologice de producție a făinii,
- industria chimică - de exemplu: la instalațiile de descărcare a materialelor,
- industria materialelor de construcții - de exemplu: la liniile tehnologice de producție a cimentului,
- industria energetică - de exemplu: la sistemele de alimentare cu combustibil solid a termo-centralelor.

### 4.5.1 Dozatoare cu canal de ghidare

La aceste dozatoare, materialul, aflat în cădere liberă, este ghidat inițial pe un canal drept (pentru uniformizarea fluxului), după care este trecut printr-un canal de curbură determinată. În aceasta zonă curbă, prin intermediul unui senzor legat de canalul de ghidare, se măsoară reacțiunea la forța centrifugă la care este supusă masa de material în mișcare.

Cunoscând forța de reacțiune, pe baza relației de mai jos, se va putea determina debitul masic al materialului dozat:

$$F \approx \dot{m} \cdot v \cdot \varphi \quad \text{unde:}$$

<F> este forța de reacțiune măsurată,

< $\dot{m}$ > este debitul masic de material dozat,

<v> este viteza de impact a particulelor de material în vrac și

< $\varphi$ > este unghiul de curbură al canalului de ghidare.

Unghiul de curbură este o mărime constantă, pe când viteza materialului este dependentă de coeficientul de frecare dintre materialul în vrac și peretele canalului de ghidare, precum și de parametrii constructivi ai dozatorului (cel mai important fiind înălțimea de cădere a materialului).

Din aceste considerente rezultă că, dozatorul trebuie calibrat pentru materialul în vrac ce urmează a fi dozat. Această operațiune se realizează de regulă automatizat, cu ajutorul dispozitivului de măsurare electronic, la fel ca și operațiunile de ajustare, ce se execută periodic.

Practic, senzorul de măsurare al forței furnizează un semnal analogic, care este digitalizat și transmis dispozitivului de control cu microprocesor. Acesta determină, pe baza parametrilor

de calibrare, debitul masic al materialului în vrac dozat, realizând totodată compensarea perturbațiilor și liniarizarea caracteristicii sistemului de dozare. Dispozitivul de măsurare a forței se prevede cu o protecție la suprasarcină, introducându-se într-o ansamblu etanșat.

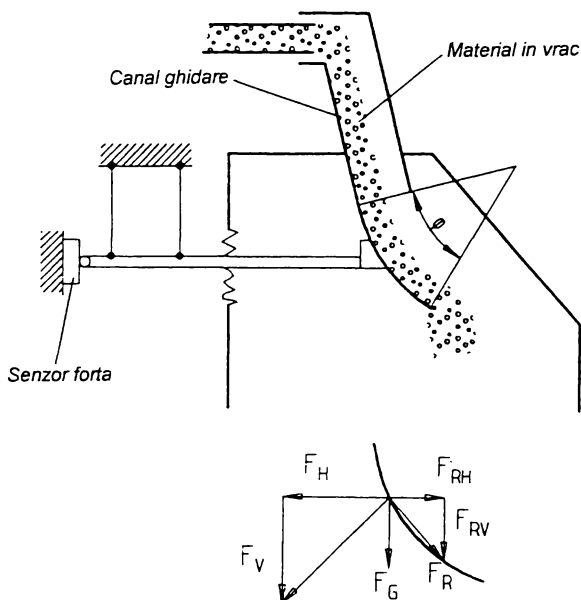


Fig. 4.24 - Schema de principiu a unui dozator cu canal de ghidare:

Notății:

$\langle F_H \rangle$  - Componenta orizontală a forței externe (sarcina)

$\langle F_V \rangle$  - Componenta verticală a forței externe (sarcina)

$\langle F_{RH} \rangle$  - Componenta orizontală a forței de reacțiune

$\langle F_{RV} \rangle$  - Componenta verticală a forței de reacțiune

$\langle F_G \rangle$  - Forța de greutate generată de materialul în vrac deviat pe canalul de ghidare

$\langle \varphi \rangle$  - Unghiul de curbură al canalului de ghidare

Din punct de vedere constructiv, aceste dozatoare au traductorul dispus astfel încât, forța să fie preluată pe o direcție orizontală, eliminându-se pe acesta cale influența perturbațiilor ce pot fi induse de depunerile de material pe canalul de ghidare. Deplasarea traductorului inductiv este amortizată cu un sistem de arcuri montate în paralel.

Asemenea dozatoare sunt utilizate la debite de maxim 20 t/h, având o gamă de reglare mică, de aproximativ 1 : 5. Pentru debite mari, între 50 - 1000 t/h se utilizează dozatoare ce au senzorul montat astfel, încât forța să fie măsurată pe direcție verticală, canalul de ghidare fiind montat pe niște articulații și fiind sprijinit în elementul de transmitere al forței la traductor. În acest caz, datorită curgerii puternice a materialului, este evitată aderarea acestuia la canalul de ghidare.

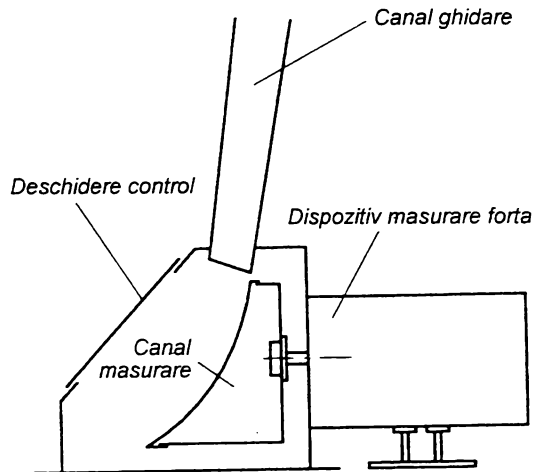


Fig. 4.25 - Dozator cu canal de ghidare cu măsurarea forței pe direcție orizontală

Precizia dozatoarelor cu canal de ghidare este de aproximativ 2%, putând fi crescută până la 1%, în cazul compensării perturbațiilor și a liniarizării caracteristicii cu ajutorul unor sisteme cu microprocesor, ceea ce duce însă la creșterea costului SDMV.

#### 4.5.2 Dozatoare cu placă de impact

Dozatoarele de acest tip măsoară forța de reacțiune exercitată asupra unei plăci de impact, montată într-un unghi determinat față de orizontală și pe care cade liber materialul în vrac.

Ca urmare a ciocnirii parțial elastice dintre particulele de material și placă, apare o forță de reacțiune, a cărei componentă orizontală este măsurată de un senzor. Acesta senzor este de regulă de tip inductiv (cu transformator diferențial), având amortizoare pe direcție orizontală și verticală. Placa de impact este legată articulat, pentru a permite modificarea unghiului de înclinare față de orizontală, în scopul mării gamei de reglare a dozatorului.

Forța  $\langle F \rangle$ , ce va fi măsurată prin intermediul senzorului cu transformator diferențial, este dată de relația:

$$F \approx \dot{m} \cdot (1 + k) \cdot v \cdot \sin \alpha, \quad \text{unde:}$$

$\langle \dot{m} \rangle$  este debitul masic de material dozat,

$\langle k \rangle$  este o constantă dependentă de proprietățile materialului în vrac dozat,

$\langle v \rangle$  este viteza de impact a particulelor de material în vrac și

$\langle \alpha \rangle$  este unghiul de înclinare față de orizontală al plăcii de impact,

Pe baza acestei relații se determină debitul masic și se poate realiza dozarea materialului în vrac. Principiile de măsurare fiind similare cu cele ale dozatoarelor cu canal de ghidare, și prelucrarea semnalului urmează aceleași etape.

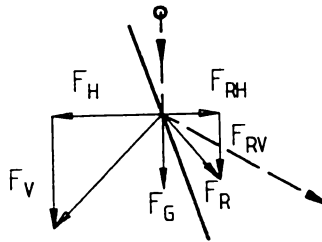
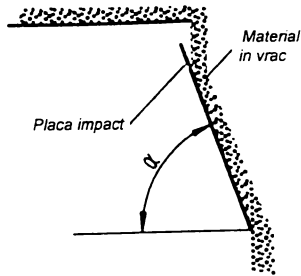


Fig. 4.26 - Principiul de măsurare al forței la dozatoarele cu placă de impact  
 Notății:

- <math>F\_H</math> - Componenta orizontală a forței aplicate (sarcina)
- <math>F\_V</math> - Componenta verticală a forței aplicate (sarcina)
- <math>F\_{RH}</math> - Componenta orizontală a forței de reacțiune
- <math>F\_{RV}</math> - Componenta verticală a forței de reacțiune
- <math>F\_G</math> - Forța de greutate produsă de materialul în vrac deviat de placa de impact
- <math>\alpha</math> - Unghiul de înclinare față de orizontală a plăcii de impact

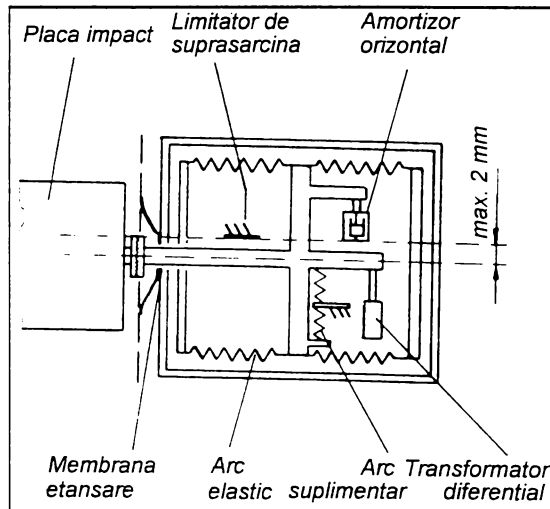


Fig. 4.27 - Schema constructivă a unui dozator cu placă de impact

Precizia acestor dozatoare scade odată cu creșterea fluxului de material dozat, deoarece creșterea fluxului determină mărirea numărului de particule ce se ciocnesc între ele și nu mai ating placa de impact, apărând astfel o eroare în semnalul furnizat de senzor. Dozatoarele cu placa de impact se utilizează cu preponderență pentru operațiunile de predozare a materialelor în vrac.

Măsurarea fiind dependentă de proprietățile materialului în vrac, este necesară calibrarea și ajustarea dozatorului pentru materialul ce urmează a fi dozat.

#### 4.5.3 Dozatoare pe principiul forței Coriolis

Procedeul de dozare pe principiul forței Coriolis a fost inițial aplicat substanțelor lichide, în ultima vreme apărând și dispozitive pentru dozarea materialelor în vrac. Avantajul acestei metode este că, măsoară direct debitul masic al materialului dozat, independent de proprietățile materialului dozat și de parametrii constructivi ai sistemului de dozare - astfel se poate obține o precizie de dozare ridicată.

Acest tip de dozator este recomandat pentru dozarea cu debite mici și mijlocii, cât și pentru dozarea materialelor în vrac coezive. Nu este însă indicat pentru dozarea materialelor adezive sau plastifiante, deoarece depunerile acestora pe rotor ar falsifica semnalul de măsurare.

Practic, dispozitivul de dozare funcționează pe baza unui rotor cu camere, care se învârtă cu viteză unghiulară constantă. Materialul de dozat se introduce prin cădere liberă, din partea superioară. Asupra particulelor de material în mișcare de rotație va acționa forța Coriolis, fluxul de material fiind deviat de la direcția radială și reținut de pereții radiali ai camerelor rotorului.

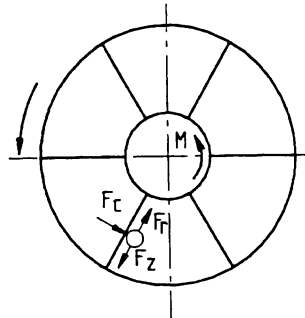


Fig. 4.28 - Forțele ce acționează asupra unei particule de material în vrac, la dozatoarele pe principiul forței Coriolis

Notății:

< $F_C$ > - Forța Coriolis

< $F_z$ > - Forța centrifugă

< $F_r$ > - Forța rezistentă, de frecare cu pereții camerelor rotorului

< $M$ > - Momentul de antrenare al rotorului

Forța Coriolis, acționând pe direcție tangențială, va determina un moment în raport cu axa de rotație a rotorului, moment ce va fi compensat prin intermediul motorului de antrenare al rotorului.



Pentru determinarea debitului masic al materialului dozat, se pornește de la calculul energiei elementare, conform formulei de mai jos:

$$dE = dm \cdot \omega^2 \cdot R, \quad \text{unde:}$$

$\langle dm \rangle$  este masa elementară a particulei de material,

$\langle \omega \rangle$  este viteza unghiulară a rotorului și

$\langle R \rangle$  este raza la care particula parăsește rotorul.

Prin integrare masei elementare  $\langle dm \rangle$ , se determină debitul masic al fluxului de material dozat. Din expresia acestuia rezultă relația sa cu momentul de antrenare  $\langle M \rangle$  al rotorului:

$$\dot{m} = \frac{M}{\omega^2 \cdot R^2}.$$

Conform relației de mai sus, acționând asupra motorului de antrenare al rotorului, se poate modifica debitul de material în vrac dozat. Se observă că, debitul masic nu depinde de proprietățile materialului dozat și nici de forțele de frecare. Aceasta fapt permite realizarea unei dozări foarte precise, cu erori mai mici de 0,5%. Dozatoarele de acest tip se pot utiliza pentru debite de material între 2 - 20 t/h, având o gamă de reglare de aproximativ 1 : 10.

Practic, semnalele necesare dozării se obțin prin măsurarea momentului la rotor sau la motorul de antrenare (realizat cu o prindere mobilă) și de la un tahometru inductiv, ce supraveghează mișcarea rotorului. Semnalele amplificate sunt transmise dispozitivului de control cu microprocesor, care va calcula (în timp real) debitul masic. Reglarea debitului se va face acționând asupra motorului de antrenare, prin modificarea turației acestuia. Pentru realizarea unei precizii ridicate la dozare, este necesară calibrarea dozatorului cu materialul ce urmează a fi dozat și operațiuni de ajustare ciclice. Aceste operațiuni se realizează automatizat, prin intermediul unor sisteme de control și reglare computerizate, care pot efectua și liniarizarea automată a caracteristicii dozatorului, dacă perturbațiile externe o deformează peste un anumit nivel prestabilit.

Dozatoarele pe principiul Coriolis își găsesc utilizarea în:

- Industria chimică: la dozarea pulberilor și granulatelor în cadrul proceselor de producție a maselor plastice, a detergenților și a îngrășămintelor chimice.
- Industria energetică: la depozitarea și alimentarea cu combustibili solizi, pulverulenți, a termo-centralelor.
- Industria metalurgică: la alimentarea proceselor metalurgice cu diverși aditivi.
- Industria alimentară: la morile de cereale.

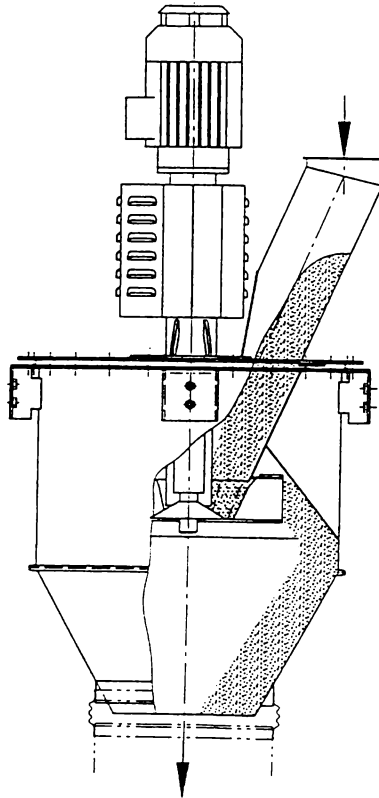


Fig. 4.29 - Schema unui dozator pe principiul forței Coriolis

#### 4.6 SDMV cu măsurarea de tip in-line a fluxului de material

Asemenea sisteme determină viteza de deplasare a fluxului de material la dozarea materialelor puerulente sau granulare, pe baza următorului principiu de funcționare: Doi senzori, ce sunt plasați la o distanță relativ mică pe tubul prin care este transportat materialul, măsoară exact variațiile unei mărimi fizice convenabil alese în fluxul de material. Rezultă astfel 2 semnale,  $\langle x \rangle$  și  $\langle y \rangle$ , care reflectă variații de: temperatură, conductibilitate electrică, constantă dielectrică sau de permeabilitate magnetică, variații ce pot fi naturale (aleatorii) sau induse artificial în fluxul de material.

Cel mai simplu este să se măsoare variațiile naturale ale unei mărimi, obținându-se două semnale de natură statistică aleatoare. Aceste semnale sunt amplificate, digitalizate și transmise unui sistem cu microprocesor rapid, ce va calcula în timp real (online) corelația dintre cele două semnale, primul semnal fiind întârziat până ce se suprapune primului. Timpul cu care este întârziat semnalul de referință este măsura vitezei de propagare a perturbației între cei doi senzori, deci și a vitezei de deplasare a fluxului de material.

Viteza de deplasare a fluxului de material este calculată apoi, raportând distanța dintre cei doi senzori la timpul de întârziere al semnalul de referință. Deoarece, în cazurile practice, identitatea semnalelor măsurate nu poate fi ușor recunoscută, pentru calcularea timpului de

Întârziere al semnalelor se aplică o metodă de corelare. Coeficientul de corelație determinat va putea lua (teoretic) următoarele valori:

- ⇒ +100 %, dacă semnalele sunt identice, dar deplasate în timp,
- ⇒ -100 %, dacă semnalele sunt identice, dar defazate cu 180°,
- ⇒ 0 %, dacă semnalele sunt independente, nefiind corelate.

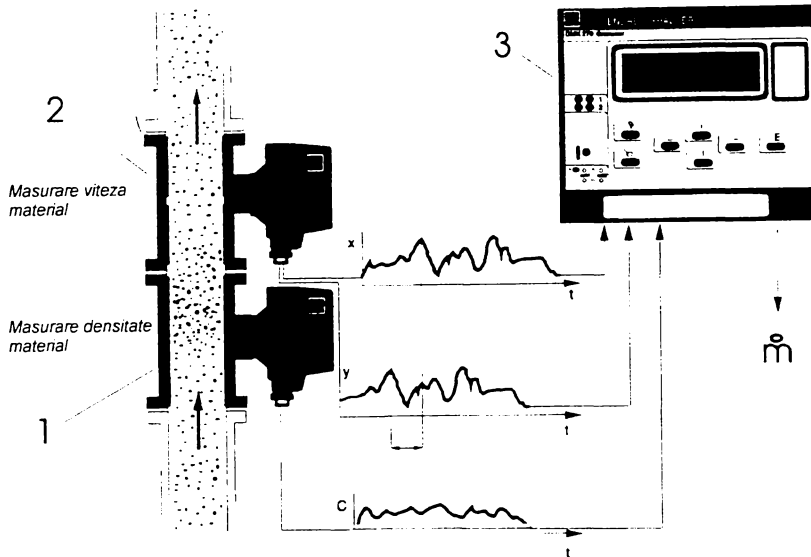


Fig. 4.30 - Schema de principiu a unui dozator pe principiul corelației:

- 1 - Dispozitivul de măsurare a concentrației materialului în vrac
- 2 - Dispozitivul de măsurare a vitezei de transport a materialului în vrac
- 3 - Dispozitivul de control, conținând sistemul de analiză a semnalelor măsurate (corelatorul), sistemul de comunicație cu operatorul uman (pentru introducerea și afișarea datelor) și regulatorul procesului de dozare.

Notații:

<x>, <y> - Semnale pentru determinarea vitezei de transport a materialului în vrac

<c> - Concentrația materialului în vrac

Corelatorul propriu-zis, un calculator de performanță miniaturizat (integrând circuite de temporizare, de multiplicare și de integrare) poate fi de tipul:

1. *Open-Loop* (în buclă deschisă), dacă calculează întreaga corelație dintre cele 2 semnale și determină timpul de întârziere atunci când a găsit corelația maximă între semnale. Acest tip de corelator reacționează ceva mai lent, datorită volumului mare de calcule pe care le efectuează.
2. *Closed-Loop* (în buclă închisă), dacă calculează numai maximum corelației, obținând astfel o viteză mărită de reglare.

Practic, pentru realizarea senzorilor se utilizează dispozitive ce măsoară perturbațiile în fluxul de material la o frecvență de aproximativ 1 Mhz și lucrează cu rezoluții de până la 12 biți (65536 de unități). Senzorii folosiți pot fi de următoarele tipuri:

- senzori optici,

- senzori capacitivi,
- senzori electrostatici,
- senzori cu ultrasunete,
- senzori cu microunde.

Dozatoarele ce funcționează după metoda corelației au avantajul de a nu fi influențate de perturbațiile externe, deci senzorii de măsurare pot fi și de precizie mai redusă, chiar și neliniari. În schimb, senzorii trebuie să furnizeze semnale de o amplitudine mare, pentru a se putea realiza o digitalizare precisă a perturbațiilor măsurate. Totodată, este necesar ca dispozitivul de măsurare să lucreze cu o frecvență ridicată (bandă largă), pentru a fi posibilă o recunoaștere cât mai precisă a vârfurilor semnalelor măsurate.

În multe domenii industriale s-au răspândit sistemele de transport pneumatic și hidraulic a pulberilor de materiale solide. Dozatoarele prin metoda corelației se pot utiliza eficient și în cazul amestecurilor bifazice (gaz-solid sau lichid-solid), fiind însă necesară măsurarea suplimentară a unei mărimi fizice independente, pe baza căreia să se poată calcula concentrația fazei solide.

În cazul amestecurilor bifazice, debitul masic se calculează ca produs dintre aria secțiunii de transport, densitatea materialului, viteza de transport și concentrația de material solid în amestecul bifazic. Determinarea vitezei fluxului de deplasare se face prin metodele descrise mai sus. Concentrația materialului transportat se măsoară de regulă cu un senzor capacitiv, pe baza variației capacității produse de modificarea dielectricității la trecerea materialului de dozat prin tubul-condensator. Deoarece variația capacității este foarte mică, metoda se poate aplica doar pentru cantități de amestec bifazic mai mari de 5 kg, prezente în interiorul senzorului la momentul măsurării.

La dozatoarele ce funcționează prin măsurări de tip in-line, se recomandă montarea secțiunilor tubulare pe care sunt amplasați senzorii pe o direcție verticală sau înclinată, pentru a se evita depunerea de material în secțiunile de măsurare, depuneri ce ar altera semnalul măsurat. Pentru obținerea unei precizii mărite și pentru măsurarea în valori absolute a debitului masic, este necesară calibrarea acestor dozatoare cu materialul de dozat. Fără calibrare sistemul atinge o precizie de dozare de 5%, iar prin calibrare și cu ajustări periodice se pot atinge precizii de până la 1%.

Aplicații specifice pentru acest tip de dozatoare se regăsesc în domeniul controlului și reglării transportului de material în vrac. De exemplu, la procesele cu transport pneumatic a materialului: la alimentarea cu praf de cărbune a cuptoarelor termocentralelor și la instalațiile de curățare a produselor metalice cu particule abrazive.

## 4.7 SDMV în construcție modulară

În ultimii ani, în tehnica dozării s-au remarcat dozatoarele modulare, care prezintă avantajul că sunt deosebit de flexibile din punct de vedere al materialelor dozate și al debitelor la care pot opera. Prin simpla schimbare a modulului ce conține elementul de dozare, respectiv a modulului de antrenare, se obține practic un nou dozator. Totodată, operațiunile de curățare și de întreținere a unui asemenea dozator se pot executa mult mai rapid, ceea ce permite producătorilor o reacție mai eficientă la cerințele variate ale clienților.

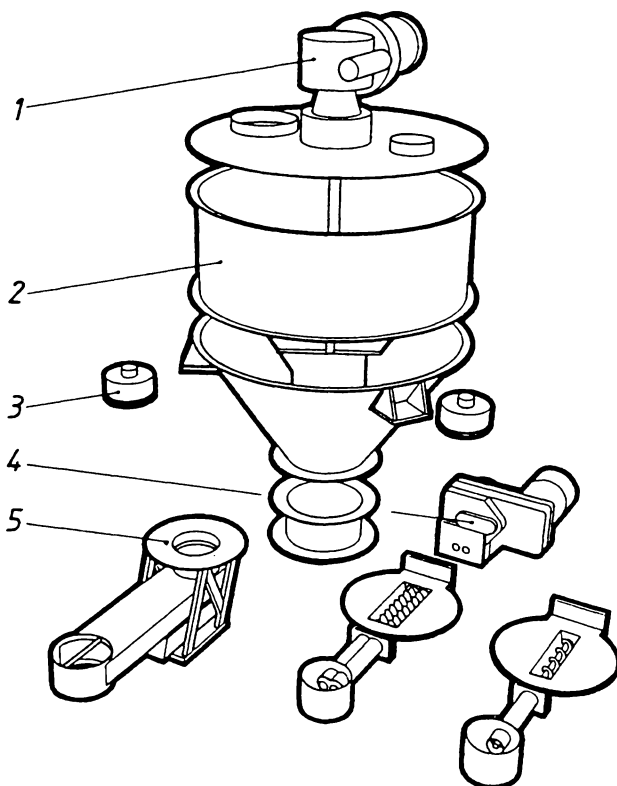


Fig. 4.31 - Dozator cu cântar diferențial realizat în construcție modulară:

- 1 - Amestecător vertical
- 2 - Depozit cilindric extensibil
- 3 - Celula de cântărire
- 4 - Modul de antrenare (motor și reductor)
- 5 - Dispozitive de dozare interschimbabile

Principalele componente pe care se structurează asemenea dozatoare sunt următoarele:

- depozitul de material în vrac,
- elementul de dozare propriu-zis (de exemplu: melc de dozare),
- motorul de antrenare al elementului de dozare,
- angrenajul elementului de dozare,

- elementul de conectare dintre depozitul de material și elementul de dozare,
- celulele de cântărire,
- blocul de control și de reglare al dozării, cu sistemul de comunicații.
- amestecătorul de material, împreună cu dispozitivul său de antrenare,
- cadrul de susținere al dozatorului.

Suplimentar, utilizatorului i se pot pune la dispoziție și:

- interfețe de comunicație cu sisteme de urmărire computerizată a producției și pentru conectarea cu diverse dispozitive periferice,
- echipamente speciale pentru efectuarea operațiunilor service și
- dispozitive de întreținere, verificare și control a dozatorului.

Conectarea modulelor mecanice se face prin mecanisme de prindere rapidă, care permit o înlocuire, respectiv o curățare în scurt timp a elementelor ce vin în contact cu materialele dozate. Cele mai multe sisteme realizează bascularea sau rotirea modulului ce conține elementul de dozare, pentru ca operațiunile de întreținere să se poată desfășura cât mai rapid, într-un spațiu minim, cerințe impuse la integrarea dozatoarelor în celule de dozare flexibile.

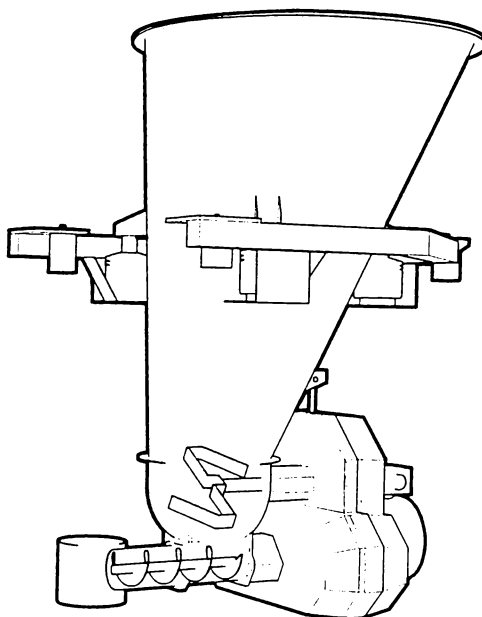


Fig. 4.32 - Dozator modular cu cântar diferențial, complet asamblat

Astfel, utilizatorul instalației de dozare are la dispoziție un sistem scalabil și flexibil, adaptabil la procese de producție variate, la o investiție inițială comparabilă cu cea a sistemelor clasice de dozare. Sistemele modulare se pretează foarte bine pentru integrarea în sisteme de producție *just-in-time*, pentru producții în loturi mici și cu schimbări repetate ale caracteristicilor produselor. Automatizarea sistemelor de dozare și integrarea lor într-un sistem de producție computerizat se poate realiza treptat, prin extinderi succesive.

Dozatoare modulare speciale au fost dezvoltate și pentru utilizarea cu depozite flexibile (*FIBC - Flexible Intermediate Bulk Container* sau *Big Bags*), care sunt niște depozite de materiale în vrac realizate din mase plastice flexibile și rezistente (sub forma unor pungi mari), care și-au găsit utilizarea în special în industria alimentară, industria chimică și în cea a materialelor de construcții.

Pentru asemenea depozite flexibile s-au realizat sisteme de dozare modulară, a căror element principal este un cadru metalic de formă prismatică, cu dimensiuni standardizate: 1500 x 1500 x 3000 sau 1500 x 1500 x 3400 mm, în interiorul căruia sunt suspendate depozitele flexibile de material. Manevrarea acestor cadre se face cu ajutorul unui multicar, care le deplasează între locul de depozitare și modulul de dozare pe care vor fi depuse în vederea dozării. După poziționarea corectă pe modulul de dozare, gura de evacuare a depozitului flexibil se regăsește în conul de alimentare al dozatorului, fiind dezlegată manual sau automatizat, pentru începerea procesului de dozare. După golirea unui asemenea depozit flexibil, procesul de dozare poate fi reluat printr-o simplă operațiune de înlocuire a cadrului ce conține depozitul flexibil, cu unul nou, plin.

Pentru a putea executa o dozare continuă cu un asemenea sistem modular, se utilizează linii de dozare cu depozite flexibile, controlul procesului fiind preluat de către un sistem computerizat, care, sesizând golirea unui depozit flexibil, comută alimentarea cu material pe un depozit paralel și, simultan, comandă înlocuirea depozitului golit cu unul plin. Utilizând un asemenea sistem computerizat, întreg procesul de dozare poate funcționa automatizat, cu precizie ridicată, furnizând totodată informațiile necesare urmării producției către calculatorul de proces. Astfel se crează baza pentru funcționarea unui sistem de producție de tipul just-in-time, prin automatizarea și optimizarea fluxurilor de materiale și materii prime.

**Bibliografie:** [4], [12], [18], [20], [24], [25], [35], [37], [38], [48], [52], [53], [54], [56], [59], [64], [70], [72], [75], [76].

## **5 Modele experimentale și metode de determinare a mărimilor funcționale caracteristice pentru dozatoarele cu melc și optimizarea acestora**

Eficiența utilizării sistemelor computerizate de control și reglare se determină pe baza unor studii de caz. În paragrafele următoare se vor prezenta metode clasice reprezentative, cât și metode computerizate de determinare și optimizare a mărimilor caracteristice de funcționare la unele tipuri uzuale de MDMV [75], [76].

Dozatoarele cu melc sunt utilizate cu preponderență în cadrul SDMV cu cântar diferențial, putând fi însă folosite și ca dozatoare individuale, pentru dozarea volumetrică. Datorită răspândirii lor, modul lor de funcționare a fost studiat intens, dezvoltându-se un model teoretic [70], [82], pe baza căruia s-a elaborat metoda de calcul prezentată în continuare.

Pornind de la ipoteza unui flux uniform și neperturbat de material în vrac, ce alimentează melcul de dozare, debitul masic mediu se exprimă prin formula generală:

$$\dot{m} = A_{ef} \cdot v_{ax} \cdot \rho_r \cdot \varepsilon, \text{ unde:}$$

$\langle A_{ef} \rangle$  este aria secțiunii efective de transport a materialului în vrac,

$\langle v_{ax} \rangle$  este viteza axială de deplasare a materialului în vrac (dependentă de turația melcului),

$\langle \rho_r \rangle$  este densitatea reală a materialului în vrac (la nivelul melcului de dozare), iar

$\langle \varepsilon \rangle$  este gradul de umplere al melcului de dozare (care este unitar în cazul umplerii complete a melcului de dozare).

Pentru mărimile ce influențează debitul masic s-au stabilit pe cale teoretică relații de calcul, rezultatul obținut reprezentând o aproximare suficient de bună a situației reale, fapt confirmat prin experimente de verificare [82], abaterile determinate situându-se între 5 - 15%, funcție de proprietățile materialelor dozate și turația melcului.

### **5.1 Secțiunea efectivă de transport**

Considerându-se că materialul în vrac se deplasează ca un bloc cilindric, ce efectuează o mișcare de înșurubare în sensul vitezei axiale a melcului, secțiunea efectivă de transport a materialului în vrac este dependentă și de proprietățile fizice ale acestuia. Aria secțiunii efective de transport este definită prin relația:

$$A_{ef} = A_m + A_{cr}, \quad \text{unde:}$$

$\langle A_m \rangle$  este aria secțiunii de transport (normale) a melcului și

$\langle A_{cr} \rangle$  este aria secțiunii critice, în care materialul în vrac este deplasat datorită coeziunii particulelor de material.

Pentru un melc cu foaie plină avem:

$$A_m = \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) - \frac{b}{2 \cdot s} \cdot (D_1 - D_2) \cdot \sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot (D_1 - D_2)^2 + s^2},$$



iar pentru un melc spiral:

$$A_m = \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_3^2) - \frac{b}{2 \cdot s} \cdot (D_1 - D_2) \cdot \sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot (D_1 - D_2)^2 + s^2},$$

unde dimensiunile dozatorului sunt prezentate în figura de mai jos. În relațiile de calcul s-au folosit următoarele notații:

- <D<sub>0</sub>> este diametrul interior al tubului de dozare,
- <D<sub>1</sub>> este diametrul exterior al melcului,
- <D<sub>2</sub>> este diametrul interior al melcului,
- <D<sub>3</sub>> este diametrul axului (miezului) melcului,
- <b> este grosimea spirei, respectiv a foii melcului și
- <s> este pasul melcului.

Dacă se utilizează un melc spiral fără miez se va considera: D<sub>3</sub> = 0.

În cazul în care spira melcului este executată din sîrma rotundă, avem: b = (D<sub>1</sub> - D<sub>2</sub>)/2.

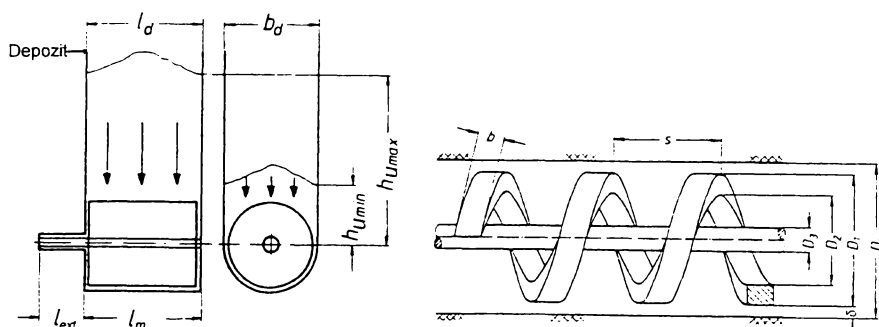


Fig. 5.1 - Dimensiunile caracteristice la un dozator cu melc cu depozit de secțiune dreptunghiulară

Notații:

- <l<sub>d</sub>> - Lungimea depozitului de material în vrac
- <b<sub>d</sub>> - Lățimea depozitului de material în vrac
- <l<sub>ext</sub>> - Lungimea melcului în exteriorul depozitului de material
- <l<sub>m</sub>> - Lungimea melcului în interiorul depozitului de material
- <h<sub>Umin</sub>> - Înălțimea minimă de umplere a depozitului cu material în vrac
- <h<sub>Umax</sub>> - Înălțimea maximă de umplere a depozitului cu material în vrac
- <b> - Grosimea spirei, respectiv a foii melcului
- <s> - Pasul melcului

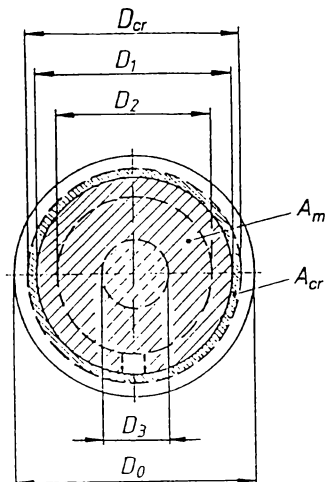


Fig. 5.2 - Secțiunea de curgere a materialului în vrac la dozatoarele cu melc

Notății:

- <A<sub>m</sub>> - Aria secțiunii de transport a melcului
- <A<sub>cr</sub>> - Aria secțiunii critice
- <D<sub>0</sub>> - Diametrul interior al tubului de dozare
- <D<sub>1</sub>> - Diametrul exterior al melcului
- <D<sub>2</sub>> - Diametrul interior al melcului
- <D<sub>3</sub>> - Diametrul axului (miezului) melcului

Grosimea stratului critic de material în vrac, deplasat datorită coeziunii particulelor de material situate în zona exterioară melcului, a fost determinată pe baza unei ecuații simplificate de echilibru a momentelor [82]. Grosimea stratului critic se va calcula cu relația:

$$\delta_{cr} = D_1 \cdot \sqrt{\frac{b}{s} + \frac{\mu_i}{\mu_p} \left(1 - \frac{b}{s}\right)} - 1, \quad \text{unde:}$$

<μ<sub>i</sub>> este coeficientul de frecare intern al materialului în vrac și

<μ<sub>p</sub>> este coeficientul de frecare material-perete.

Astfel, diametrul critic rezultă ca fiind egal cu:

$$D_{cr} = D_1 + 2 \cdot \delta_{cr}$$

Aria secțiunii critice va calculată cu relația:

$$A_{cr} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{cr}^2 - D_1^2)$$

Dacă  $D_{cr} \leq D_0$ , melcul se comportă ca și cum ar avea un diametru <D<sub>cr</sub>>, iar dacă  $D_{cr} > D_0$ , atunci va fi deplasată întreaga masă de material din tubul de dozare.

## 5.2 Viteza axială de transport

Deoarece volumul de material deplasat este dependent direct de aria secțiunii, pentru calculul vitezei axiale de transport a materialului în vrac se consideră diametrul mediu al foii, respectiv al spirei melcului, ca fiind diametrul ce împarte aria secțiunii în două suprafețe de arii egale. De aici rezultă:

$$D_m = \sqrt{\frac{D_1^2 + D_2^2}{2}}$$

Pe baza diametrului mediu se va calcula viteza periferică medie a unui punct de pe circumferința cercului cu diametrul mediu, cu formula:

$$v_u = \pi \cdot D_m \cdot n, \quad \text{unde:}$$

$\langle n \rangle$  este turația melcului.

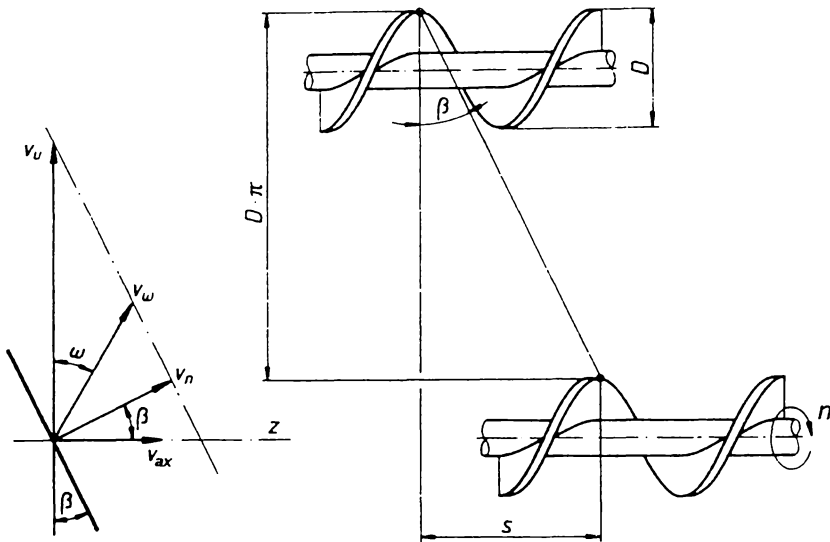


Fig. 5.3 - Stabilirea vitezei axiale de transport a materialului în vrac

Notății:

- $\langle v_u \rangle$  - Viteza periferică a punctului considerat (pe diametrul mediu  $\langle D_m \rangle$  al melcului)
- $\langle v_n \rangle$  - Viteza normală, corespunzătoare cazului în care forțele de frecare se consideră nule
- $\langle v_w \rangle$  - Viteza de înșurubare, omologă vitezei normale, în cazul în care forțele de frecare sunt nenule
- $\langle v_{ax} \rangle$  - Viteza axială, componenta pe direcția axială (z) a vitezei de înșurubare
- $\langle \beta \rangle$  - Unghiul de pantă al melcului (pe diametrul mediu  $\langle D_m \rangle$  al melcului)
- $\langle \omega \rangle$  - Unghiul de înșurubare
- $\langle n \rangle$  - Turația melcului
- $\langle s \rangle$  - Pasul melcului
- $\langle D \rangle$  - Diametrul melcului (mediu)

Considerând  $\langle \beta_m \rangle$  ca fiind unghiul de pantă al foii, respectiv al spirei melcului, corespunzător diametrului mediu  $\langle D_m \rangle$ , viteza axială medie de transport va fi:

$$v_{ax} = \pi \cdot D_m \cdot n \cdot \frac{\tan \omega \cdot \tan \beta_m}{\tan \omega + \tan \beta_m}, \quad \text{unde:}$$

$\langle \omega \rangle$  este unghiul de înșurubare, determinat pe baza unui model teoretic având următoarele ipoteze:

- Deplasarea materialului în vrac se asimilează cu mișcarea de înșurubare a unui bloc cilindric.
- Secțiunea de transport este determinată de diametrul mediu  $\langle D_m \rangle$ .
- Gradul de umplere al melcului este:  $\varepsilon = 1$ .
- Tensiunile interne în masa de material în vrac se consideră constante, independente de poziție, influența frecării interne fiind neglijate.
- Influența forțelor de greutate și a celor centrifuge se consideră neglijabilă.
- Materialul în vrac se află în contact (mecanic) cu toți pereții tubului de transport, coeficienții de frecare material-perete fiind egali ca valoare și independenți de forța normală și de viteză. Frecarea pe suprafețele melcului orientate spre exteriorul tubului și cea pe suprafețele posterioare (în direcția de mișcare) se consideră neglijabile.

Pe baza unei ecuații de echilibru a forțelor și momentelor după direcția axială (axa  $\langle z \rangle$ ) se determină relația de aproximare a unghiului de înșurubare:

$$\omega = \frac{\pi}{2} - (\theta_p + \beta_m), \quad \text{unde:}$$

$\langle \theta_p \rangle$  este unghiul de frecare material-perete (corespunzând coeficientului de frecare material-perete  $\langle \mu_p \rangle$ ).

### 5.3 Densitatea reală a materialului în vrac

Dacă procesul de dozare se desfășoară în regim staționar, coloana de material în vrac din depozit având o înălțime  $\langle h_u \rangle$ , la nivelul melcului de dozare materialul în vrac va fi supus unei presiuni verticale  $\langle p \rangle$ , care conform ecuației lui Janssen va fi egală cu:

$$p = \frac{\rho_0 \cdot g \cdot A_d}{\mu_p \cdot k \cdot U_d} \left[ 1 - \exp \left( -\mu_p \cdot k \cdot h_u \cdot \frac{U_d}{A_d} \right) \right], \quad \text{unde:}$$

$\langle \rho_0 \rangle$  este densitatea materialului în condiții normale,

$\langle g \rangle$  este constanta gravitațională,

$\langle A_d \rangle$  este aria secțiunii normale a depozitului de material în vrac,

$\langle U_d \rangle$  este circumferința secțiunii normale a depozitului de material în vrac și

$\langle k \rangle$  este coeficientul de anizotropie al presiunii, calculat cu formula:

$$k = \frac{1 - \sin \theta_{ef}}{1 + \sin \theta_{ef}}, \quad \text{unde:}$$

$\langle \theta_{ef} \rangle$  este unghiul de frecare efectiv al materialului în vrac.

Pentru exprimarea densității reale a materialului în vrac, se pornește de la ecuația de bază elaborată de Kawakita [83]:

$$\frac{V_0 - V_r}{V_0} = \frac{a^* \cdot b^* \cdot p}{1 + b^* \cdot p}, \quad \text{unde:}$$

$\langle V_0 \rangle$  reprezintă volumul masei de material în stare normală,

$\langle V_r \rangle$  reprezintă volumul masei de material supus presiunii  $\langle p \rangle$ , iar

$\langle a^* \rangle$  și  $\langle b^* \rangle$  sunt constantele experimentale Kawakita, ce se extrag din tabele de materiale.

Coeficientul  $\langle a^* \rangle$  a fost stabilit de Kawakita ca fiind egal cu variația relativă de volum în cazul aplicării unei presiuni infinite, corespunzătoare volumului minim de material în vrac. Astfel, acesta este definit cu relația:

$$a^* = \frac{V_0 - V_{min}}{V_0}, \quad \text{unde:}$$

$\langle V_0 \rangle$  reprezintă volumul masei de material în stare normală,

$\langle V_{min} \rangle$  reprezintă volumul minim al masei de material, supus unei presiuni infinite.

Dacă în relația lui Kawakita se exprimă volumul ca raport dintre masă și volum, se poate calcula variația densității materialului în vrac:

$$\frac{\rho_r - \rho_0}{\rho} = \frac{a^* \cdot b^* \cdot p}{1 + b^* \cdot p}, \quad \text{de unde rezultă:}$$

$$\rho_r = \rho_0 \cdot \left[ 1 - \frac{a^* \cdot b^* \cdot p}{1 + b^* \cdot p} \right]^{-1}, \quad \text{unde:}$$

$\langle \rho_0 \rangle$  reprezintă densitatea materialului în vrac în stare normală și

$\langle \rho_r \rangle$  reprezintă densitatea materialului în vrac supus presiunii  $\langle p \rangle$ .

Dacă procesul de dozare nu are caracter staționar, perturbațiile de curgere determinând variații ale presiunii și respectiv ale densității materialului dozat, pentru calculul presiunii se va utiliza o ecuație Janssen modificată:

$$p = \left( p_0 - \frac{\rho_0 \cdot g \cdot A_d}{\mu_p \cdot k \cdot U_d} \right) \cdot \exp \left( -\mu_b \cdot k \cdot h_u \cdot \frac{U_d}{A_d} \right) + \frac{\rho_0 \cdot g \cdot A_d}{\mu_p \cdot k \cdot U_d}, \quad \text{unde:}$$

$\langle p_0 \rangle$  este presiunea suplimentară generată de fluxul de alimentare cu material în vrac, conform relației:

$$p_0 = \frac{m_a}{A_s} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_a}, \quad \text{unde:}$$

$\dot{m}_a$  este debitul masic al fluxului de alimentare cu material în vrac,

$\langle A_s \rangle$  este aria secțiunii normale a silozului de material,

$\langle h_a \rangle$  este înălțimea de cădere a materialului în vrac la alimentarea depozitului.

Perturbații de curgere a materialului în vrac pot apărea și în cazul formării podurilor de material de-asupra melcului de dozare. Acest fenomen poate fi evitat, dacă diametrul maxim al melcului verifică condiția:

$$d > \frac{f_c}{\rho_r \cdot g}, \quad \text{unde:}$$

$\langle \rho_r \rangle$  este densitatea reală a materialului în vrac la nivelul melcului de dozare și

$\langle f_c \rangle$  este rezistența la compresiune a materialului în vrac dozat.

Dacă această relație nu este verificată, se vor introduce amestecătoare, a căror rol constă în distrugerea podurilor de material și îmbunătățirea curgerii materialului în vrac.

## 5.4 Optimizarea dozării prin utilizarea amestecătoarelor de material în vrac

Metoda cea mai răspândită pentru îmbunătățirea curgerii și implicit a dozării materialelor în vrac constă în integrarea unui amestecător cu ax orizontal în depozitul de material. Acesta va putea acționa pe două căi [70]:

1. Asigurarea unui flux continuu de material în zona de alimentare a melcului cu material în vrac.
2. Asigurarea umplerii complete a melcului de dozare, pentru obținerea unei dozării constante.

### 5.4.1 Asigurarea unui flux continuu de material în zona de alimentare a melcului

Rezultatele experimentale au arătat că, în acest caz melcul de dozare va fi umplut continuu cu material în vrac la densitatea  $\langle \rho \rangle$ . Fluxul de material transportat de melcul de dozare va fi furnizat de amestecător în zona de legătură dintre melc și depozitul de material, zonă materializată prin jumătatea superioară a inelului cilindric măturat de brațele amestecătorului. Experimental s-a stabilit că, amestecătorul lucrează prin deplasarea volumelor de material aflate în dreptul suprafețelor sale frontale, în sensul mișcării de rotație a brațelor sale.

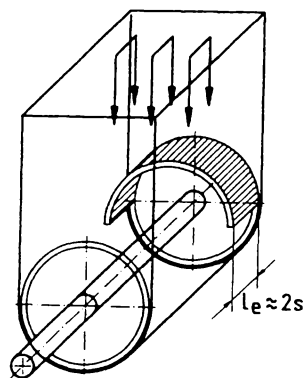


Fig. 5.4 - Zona de alimentare cu material în cazul asigurării unui flux continuu de material  
Notatii:

$\langle l_e \rangle$  - Lungimea zonei principale (efective) de alimentare a melcului

La stabilirea fluxului de material generat de amestecător se ia în considerare numai zona principală de alimentare a melcului, zonă stabilită experimental ca având o lungime de:

$l_e = 2 \cdot s$  și situată în zona posterioară a melcului de dozare.

Egalând debitul masic furnizat de amestecător (prin zona principală de alimentare) cu debitul masic obținut la ieșirea din dozator, rezultă turația minimă a amestecătorului în ipoteza fluxului continuu de material ca fiind egală cu:

$$n_{a,\min} = \frac{2 \cdot v_{ax} \cdot A_{ef} \cdot \rho_f}{\frac{\pi}{4} \cdot (d_e^2 - d_i^2) \cdot i \cdot l_e \cdot \rho_p}, \quad \text{unde:}$$

<d<sub>e</sub>> este diametrul exterior al amestecătorului,

<d<sub>i</sub>> este diametrul interior al amestecătorului și

<i> este numărul de brațe al amestecătorului.

#### 5.4.2 Asigurarea umplerii complete a melcului de dozare

Îndeplinirea acestui criteriu asigură umplerea completă a melcului de dozare cu material în vrac la densitatea <ρ>. În acest caz, se consideră acțiunea amestecătorului pe toată lungimea melcului situat în depozit, curgerea materialului fiind însă variabilă, de la o curgere continuă la o curgere instabilă.

Se definește eficiența amestecătorului prin raportul dintre debitul masic generat de către amestecător și debitul masic furnizat de melcul de dozare. Experimental s-a observat umplerea completă a melcului în cazurile în care:

- ⇒ Eficiența amestecătorului este cel puțin egală cu 4, în cazul amestecătorului concentric cu melcul, situație în care brațele de amestecare alimentează melcul pe parcursul întregii perioade de mișcare,
- ⇒ Eficiența amestecătorului este cel puțin egală cu 2, în cazul amestecătorului situat de-asupra melcului, situație în care brațele de amestecare alimentează melcul numai în perioada mișcării lor descendente.

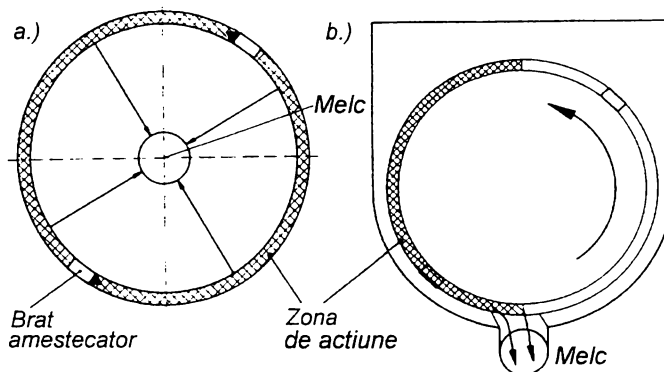


Fig. 5.5 - Zonele de acțiune ale amestecătoarelor cu brațe:  
a.) Amestecător poziționat concentric cu melcul de dozare  
b.) Amestecător poziționat de-asupra melcului de dozare

Pe baza acestor constatări, prin egalarea debitului masic generat de amestecător cu debitul masic obținut la ieșirea din dozator, rezultă turația minimă a amestecătorului în ipoteza umplerii complete a melcului de dozare:



$$n_{a,mn} = \frac{4 \cdot v_{ax} \cdot A_{ef} \cdot \rho_r}{\pi \cdot (d_e^2 - d_i^2) \cdot i \cdot l_m \cdot \rho_p}, \quad \text{unde:}$$

$\langle l_m \rangle$  reprezintă lungimea melcului situat în depozitul de material.

### 5.4.3 Evitarea pulsațiilor la utilizarea amestecătoarelor cu ax orizontal

În cazul utilizării unui amestecător poziționat de-asupra melcului de dozare, pentru asigurarea unei dozări constante, trebuie analizat modul de lucru al amestecătorului, conform figurii de mai jos:

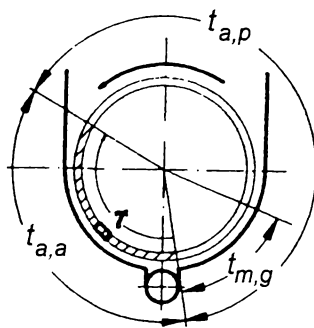


Fig. 5.6 - Timpii de lucru la un amestecător cu brațe, deservind un melc de dozare

Notății:

$\langle t_{a,a} \rangle$  - Timp amestecător/activ

$\langle t_{a,p} \rangle$  - Timp amestecător/pasiv

$\langle t_{m,g} \rangle$  - Timp melc/golire

Umplerea melcului cu material în vrac se face doar pe durata timpului activ al amestecătorului ( $\langle t_{a,a} \rangle$ ), în perioada în care unul din brațele amestecătorului se rotește în interiorul zonei active:

$$t_{a,a} = \frac{1}{n_a} \cdot \frac{\gamma}{2 \cdot \pi}, \quad \text{unde:}$$

$\langle \gamma \rangle$  reprezintă unghiul corespunzător rotirii active a brațului de amestecare.

Pentru ca melcul să nu prezinte zone lipsite de material în vrac, ceea ce ar duce la pulsații de dozare, este necesar ca timpul activ al amestecătorului ( $\langle t_{a,a} \rangle$ ) să fie mai mare decât timpul de golire al melcului ( $\langle t_{m,g} \rangle$ ), care este definit de relația:

$$t_{m,g} = \frac{l_m}{v_{ax}}.$$

S-a observat experimental că, brațul amestecătorului acționează eficient pe un unghi aproximativ la:  $\gamma = \pi / 2$ . Din condiția enunțată mai sus, rezultă turația minimă a amestecătorului pentru evitarea pulsațiilor de dozare:

$$n_{a,\min} = \frac{v_{ax}}{l_m} \left( \frac{1}{i} - \frac{1}{4} \right).$$

Se observă că, această verificare este necesară numai în cazul utilizării unor amestecătoare cu un număr de brațe  $i < 4$ . În concluzie, pentru a nu apărea pulsații la dozare, se recomandă utilizarea unor amestecătoare cu cel puțin 4 brațe.

## 5.5 Observații experimentale

Pentru obținerea unei precizii de dozare sporite și creșterea capacității dozatorului, se recomandă realizarea unui flux continuu în întreg depozitul de material și umplerea completă a melcului de dozare. Aceasta presupune, la utilizarea unor melci uzuali având raportul:  $l_m / s > 4$ , o turație mărită a amestecătorului și un sistem de antrenare dimensionat corespunzător.

Alimentarea depozitului de material cu material în vrac precomprimat determină reducerea variației densității materialului dozat și ca urmare crește precizia de dozare. S-a observat că, variația densității materialelor în vrac la nivelul melcului de dozare este mult redusă, dacă se păstrează o înălțime minimă a coloanei de material de cel puțin 0,5 m, aceasta determinând însă și creșterea gabaritului depozitului de material și a numărului de realimentări ale acestuia.

Precizia procesului de dozare crește și în cazul în care se micșorează înălțimea de cădere a materialului în vrac la alimentarea depozitului, evitându-se astfel producerea impulsurilor și șocurilor ce perturbă procesul de dozare. La dozarea materialelor ușor fluidizabile, trebuie să se respecte timpul de stabilizare (degazare) al acestora, în caz contrar nefiind posibilă o dozare corectă.

Precizia și constanța dozării la dozatoarele cu melc (dozare volumetrică) este puternic influențată de proprietățile materialelor în vrac dozate, în mod special de compresibilitatea materialului dozat. Verificarea experimentală a relațiilor de calcul prezentate mai sus a demonstrat că, modelul teoretic ales aproximează cazurile reale în mod uzual cu erori între 5 - 10%, abateri mai mari, de până la 15 - 20%, fiind observate la dozarea materialelor în vrac cu particule de dimensiuni mari.

Cum materialul dozat evacuat are o mișcare combinată de translație și de rotație, viteza fiind dependentă și de proprietățile materialului în vrac, măsurarea directă a debitului de material evacuat ar fi extrem de dificilă, motiv din care se recomandă combinarea dozatoarelor cu melc cu dispozitive de măsurare a masei de substanță, ca de exemplu cântare diferențiale.

## 5.6 Metoda originală de compensare dinamică a variației de densitate a materialului în vrac

În paragrafele următoare se prezintă o soluție originală pentru îmbunătățirea preciziei și constanței dozării materialelor în vrac compresibile, soluție specificată pe cazul MDMV volumetrică, cu melc. Modelul experimental al metodei este bazat pe modelul metodei clasice, prezentate anterior, ce va fi optimizat în unul din punctele sale critice, anume metoda de stabilirea a densității reale a materialului în vrac dozat.

Metoda propusă pentru optimizarea dinamică - în timp real - a preciziei și constanței dozării la MDMV volumetrică, în mod special la cele cu melc, se bazează pe urmărirea variației densității materialului în vrac compresibil stocat în depozitul de extragere al materialului [75], [76].

Din analiza relațiilor utilizate la calcul debitului de material la dozatoarele cu melc, se observă că, la dozarea unui același material (cazul uzual), proprietățile fizice ale materialului în vrac dozat menținându-se constante, debitul de material se poate modifica doar datorită variațiilor de densitate ale materialului, ca urmare a compresibilității sale, respectiv prin modificarea turației de antrenare a melcului, care este de fapt mărimea de reglare a dozatorului.

Datorită compresibilității materialelor în vrac, variația nivelului de încărcare a depozitului de material pe parcursul ciclurilor de dozare determină variația densității materialului la nivelul elementului de dozare. Măsurătorile efectuate la cântare diferențiale (vezi și figura de mai jos), cât și analiza proprietăților fizice ale materialelor în vrac, confirmă influența esențială pe care o are variația densității materialului în vrac din depozit, asupra debitului de material efectiv dozat.

Soluția recomandată pentru îmbunătățirea preciziei și constanței de dozare la MDMV volumetrică, cu extragerea materialului în vrac compresibil dintr-un depozit de material, se bazează pe măsurarea continuă a presiunii în depozitul de material, la nivelul elementului de dozare. Măsurând efectiv presiunea la nivelul elementului de dozare (melcul în cazul analizat) și calculând - pe baza ecuației lui Kawakita - densitatea reală a materialului în vrac, se elimină și eroarea ce poate fi introdusă de utilizarea necorespunzătoare a ecuațiilor presiunii a lui Janssen, pentru procese staționare, respectiv nestaționare.

Compensarea variațiilor de densitate a materialului în vrac se va face prin modificare în aceeași proporție, dar în sens opus, a turației elementului de dozare (melcul), respectiv a elementului de antrenare al acestuia. Menținând produsul dintre densitate și turație constant, se îndeplinește o condiție esențială pentru atingerea unei dozări cu precizie constantă.

Soluția este optimă și pentru asigurarea unei dozări constante la SDMV cu cântar diferențial și melc, pe durata perioadelor de realimentare a depozitului cu material în vrac, timp în care nu este posibilă dozarea gravimetrică (conform principiului de funcționare a dozatoarelor cu cântar diferențial).

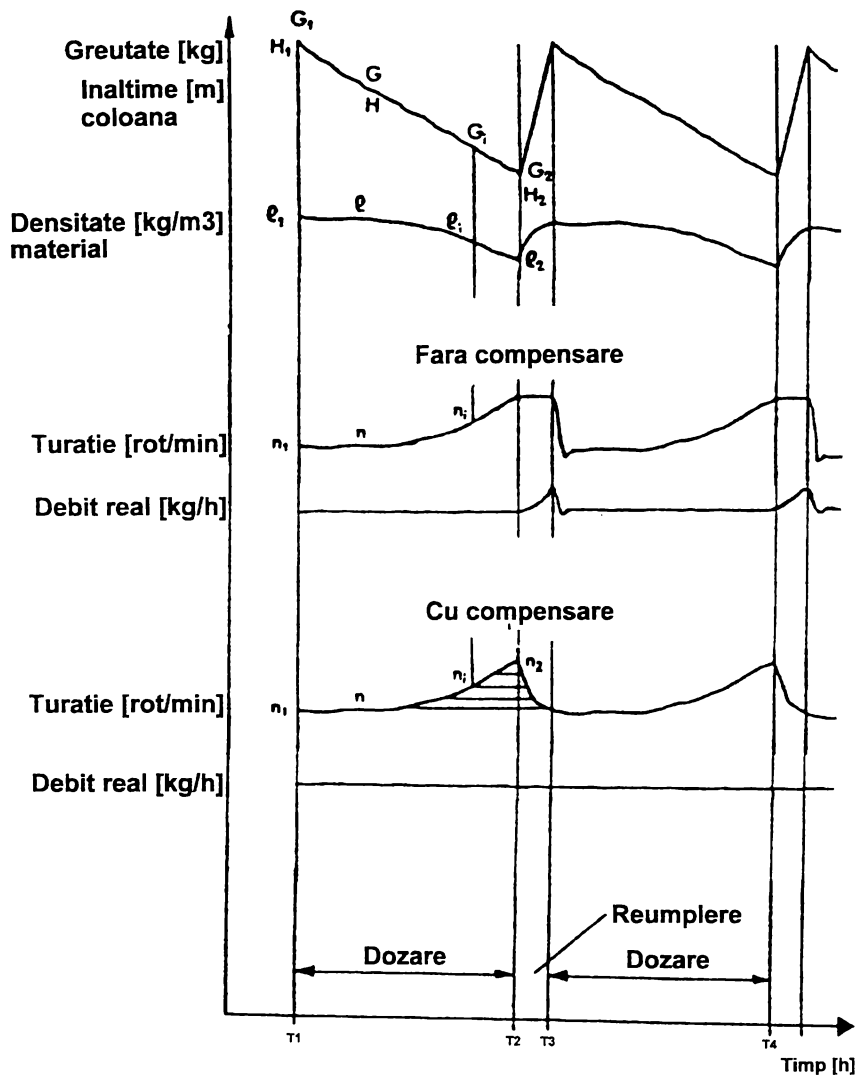


Fig. 5.7 - Variațiile mărimilor caracteristice la procesul de dozare, măsurate pe un dozator cu cântar diferențial și melc

Pe durata proceselor de realimentare, ce ocupă între 10 - 15% din timpul total de funcționare al dozatoarelor cu cântar, dozarea se face volumetric, de regulă prin menținerea constantă a turației elementului de dozare, deci fără compensarea variației de densitate a materialului în vrac [70]. Această reglare simplă determină însă variații nedorite ale debitului de material dozat, variații ce pot fi eliminate cu ajutorul unor metode de compensare a nivelului de umplere a depozitului cu material. Există metode de compensare ce folosesc ca referință înălțimea coloanei de material din depozitul de material în vrac. La acestea, un sistem computerizat măsoară și stochează turația motorului de antrenare a elementului de dozare, corespunzătoare înălțimii coloanei de material, la diferite momente de timp. Pe durata procesului de realimentare, se determină înălțimea coloanei de material din depozit și se

stabilește turația motorului de antrenare pe baza datelor anterior stocate, încercând astfel să mențină constant debitul de material dozat.

Dezavantajul acestei metode este că se bazează pe date de proces istorice și un mecanism de reglare rigid, nerealizând o adevărată compensare în timp real, ceea ce poate duce la erori de dozare, după cum s-a observat în situații practice. Totodată, metoda presupune și utilizarea unui sistem computerizat complex, ce efectuează analize statistice asupra datelor de proces stocate.

Metoda de reglare în timp real, folosind variațiile de densitate ale materialului în vrac din depozit, elimină aceste dezavantaje. Și deoarece variația densității materialului este cel mai important factor de influență al debitului la dozatoarele volumetrice ce funcționează prin extragerea materialului în vrac dintr-un depozit, această metodă de stabilizare a debitului de material dozat se poate aplica și la asemenea dozatoare volumetrice, îmbunătățind precizia și constanța de dozare a acestor MDMV.

### 5.6.1 Principii de implementare ale metodei originale

Pentru aplicarea practică a acestei metode este necesară plasarea unui senzor de presiune/forță în interiorul depozitului de material în vrac, la nivelul elementului de dozare, în zona de alimentare principă (anterioară) a dozatorului, utilizând particularitățile constructive ale depozitului de material. Dacă se prognozează sau se observă practic fenomene de curgere neregulată a materialului în vrac, se va monta un senzor de presiune suplimentar, în zona de ieșire a melcului din depozitul de material. Pe baza semnalelor provenite de la sistemul de senzori se va genera un semnal mediat, ce va fi utilizat în continuare ca semnal de referință. Analiza diferențială a semnalelor provenite de la sistemul de senzori va putea furniza totodată și informații privind neregularitățile de curgere a materialului în vrac de-a lungul a melcului.

Senzorii de presiune/forță se vor monta astfel, încât forța exercitată de coloana de material din depozit să acționeze normal la suprafața de măsurare a senzorului. Se recomandă utilizarea senzorilor piezo-rezistivi sau a senzorilor rezistivi de forță (FSR), care oferă o precizie bună (între 1 - 2%) la preț de cost redus, existând și variante constructive calibrate și compensate termic direct de către producător.

Dacă sistemul de dozare este destinat dozării unei singure substanțe (cazul uzual), pentru determinarea dinamică a densității reale a materialului este suficient a se transmite sistemului de reglare densitatea materialului în stare normală și constantele Kawakita ale materialului, ca și mărimi constante. În cazul în care se dozează o gamă mai largă de materiale în vrac, este util a se crea o mică bază de date cu proprietățile materialelor, necesare pentru calculul densității pe baza relației lui Kawakita [83]. Această măsură simplifică operarea sistemului de dozare și elimină potențialele erori de introducere a datelor.

Pe baza măsurătorilor efectuate la experimente de compresibilitate a materialelor în vrac, s-a observat că, densitate maximă a unui material va fi atinsă deja la o presiune între 10 și 50  $\text{kN/m}^2$ , funcție caracteristicile de compresiune ale materialului, după care variația relativă a densității tinde spre zero [70], [82], [83].

Proprietate:	Densitate normală:	Constantele Kawakita:	
Material:	$\rho_0$ <kg/m <sup>3</sup> >	$a^*$ <- >	$b^*$ <m <sup>2</sup> /kN>
Pulbere de calcar	748,0	0,918	0,218
Talc	517,4	0,606	0,382
Cacao	323,9	0,755	0,535

Tab. 5.1 - Exemple de materiale cu compresibilitate mărită

Din condiția de egalitate a debitului de material generat de către dozatorul volumetric cu melc, la momentele <t<sub>1</sub>> și <t<sub>2</sub>> (unde t<sub>2</sub> > t<sub>1</sub>), rezultă că [75], [76]:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad \text{unde:}$$

<ρ<sub>1</sub>> și <ρ<sub>2</sub>> reprezintă densitatea materialului în vrac, determinată pe baza presiunii măsurate la momentele <t<sub>1</sub>> și respectiv <t<sub>2</sub>>, iar:

<n<sub>1</sub>> și <n<sub>2</sub>> reprezintă turația elementului de dozare la momentele <t<sub>1</sub>> și respectiv <t<sub>2</sub>>.

Relația de mai sus se poate rescrie sub forma:

$$\frac{n_2 - n_1}{n_1} = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2}$$

Densitățile reale de material din termenul drept al relației, corespunzând momentelor <t<sub>1</sub>> și respectiv <t<sub>2</sub>>, se vor exprima, pe baza ecuației lui Kawakita [82], [83] cu formula:

$$\rho_r = \rho_0 \cdot \left[ 1 - \frac{a^* \cdot b^* \cdot p}{1 + b^* \cdot p} \right]^{-1}, \quad \text{unde:}$$

Introducând densitățile astfel exprimate în raport, se va putea determina un coeficient de compensare de turație, coeficient ce exprimă modificarea turației elementului de dozare pentru compensarea variației densității materialului în vrac:

$$c_{cn} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} = \frac{a^* \cdot b^* \cdot (p_1 - p_2)}{(1 + b^* \cdot p_2)(1 + b^* \cdot p_1 - a^* \cdot b^* \cdot p_1)}$$

Calculând astfel coeficientul de compensare de turație și cunoscând raportul de transmitere, <i>, al mișcării dintre elementul motor și elementul de dozare, se poate determina - în timp real - turația motorului de antrenare în scopul menținerii constante a debitului de material dozat de către MDMV:

$$n_{m2} = i \cdot n_2, \quad \text{unde:}$$

<n<sub>m2</sub>> este turația motorului de antrenare, la momentul <t<sub>2</sub>>, iar

<n<sub>2</sub>> este turația compensată a elementului de dozare (melcul), la momentul <t<sub>2</sub>>.

La dozatoarele cu cântar diferențial și melc, acest subsistem de compensare dinamică poate fi relativ ușor integrat în sistemul computerizat de control și reglare deja existent. Sesizarea începutului, respectiv a sfârșitului perioadei de realimentare a depozitului cu material în vrac - perioadă pe parcursul căreia dozarea este controlată de către acest subsistem - se realizează prin intermediul comutatoarelor ce semnalizează deschiderea, respectiv închiderea clapetei de obturare a orificiului de alimentare a depozitului de material.

Dacă se dorește utilizarea acestei metode la dozatoarele volumetrice cu extragere de material compresibil dintr-un depozit - în scopul stabilizării debitului de material dozat - o cale simplă și eficientă de implementare poate fi conectarea de senzori rezistivi de forță la *game-portul* unui calculator de tip IBM-PC sau, la scară industrială, realizarea unui microcontroler, care să realizeze funcția de compensare dinamică descrisă mai sus.

Senzorii rezistivi de forță (*FSR - Force Sensing Resistor*) utilizați pentru urmărirea variațiilor de presiune în masa de material, prezintă următoarele avantaje:

- o influență mică față de variații de temperatură și vibrații,
- un histerezis redus,
- semnale de ieșire de amplitudine mare, deoarece senzorii FSR furnizează ca mărime de ieșire o rezistență electrică, cu variație între câțiva  $<k\Omega>$  și câțiva  $<M\Omega>$ ,
- circuite de adaptare simple, nefiind necesare dispozitive costisitoare de condiționare a semnalului,
- costuri de achiziție și de exploatare reduse.

Soluția de conectare prin *game-port* este simplă și eficientă, acest fiind un convertor analog-digital, ce este inclus în configurația standard a majorității calculatoarelor compatibile IBM-PC (tip AT sau mai nou). *Game-portul* se poate folosi pentru supravegherea proceselor cu variații lente, între 10 - 20 Hz (funcție și de numărul de canale de achiziție utilizate), el oferind 4 canale de intrare analogice (la care se pot conecta direct senzori rezistivi, prezentând variații în domeniul 1 - 150 k $\Omega$ ), precum și 4 canale de intrare digitale.

Alimentarea senzorilor rezistivi se poate face cu o tensiune stabilizată de 5 V, preluată de la pini connectorului.

Rezoluția semnalului eșantionat este determinată de frecvența de tact a procesorului, digitalizarea semnalelor fiind făcută prin măsurarea timpului de încărcare al unui condensator. Practic, se poate lucra cu rezoluțiile echivalente unui convertor analog-digital de 9 până la 10 biți, utilizând un sistem cu procesor de tip 486 la 25 MHz, respectiv 586 la 133 MHz. Prin utilizarea interfeței seriale standard (RS-232) sau a celei paralele (Centronics), se poate realiza un circuit de reglare închis, pentru comanda unor relee sau a unui motor pas-cu-pas (prin intermediul unui circuit electronic de adaptare), ce va controla mișcarea elementului de dozare.

## 5.7 Optimizarea funcționării dozatoarelor cu cântar diferențial

În contextul soluțiilor de optimizare propuse, în continuare se vor prezenta sisteme și metode existente de optimizare a funcționării dozatoarelor-cântar, sisteme ce pot fi extinse pe baza acestor soluții.

Dozatoarelor cu cântar diferențial dispun de un depozit de material, din care se extrage materialul în vrac, prin intermediul unui dispozitiv de dozare: melc, roată cu camere de dozare, etc.

În timpul fazei de dozare gravimetrică, determinarea fluxului de material dozat se face pe baza diferenței de greutate a depozitului de material ( $dG/dt$ ). În schimb, în timpul fazei de dozare volumetrică, atâta timp cât se realizează realimentarea depozitului, dozarea se face doar prin menținerea constantă a parametrului de reglare (tensiunea sau curentul de alimentare) al motorului ce antrenează elementul de dozare.

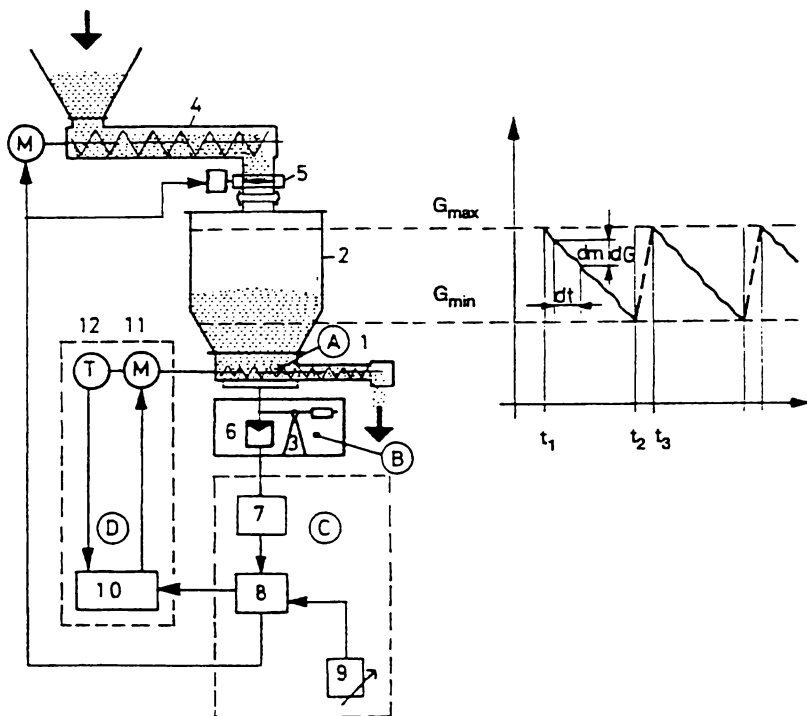


Fig. 5.8 - Dozator cu cântar diferențial și sistem electronic de optimizare a fluxului de material

Notății:

- A - Dispozitivul de dozare (cu melc)
- B - Dispozitivul de cântărire
- C - Blocul de reglare automată al dozatorului
- D - Sistemul de antrenare al elementului de dozare
- 1 - Dozator
- 2 - Depozit de material în vrac
- 3 - Pârghia sistemului de cântărire



- 4 - Dispozitiv de realimentare cu material în vrac
- 5 - Dispozitiv de oprire a alimentării cu material în vrac
- 6 - Celula de cântărire
- 7 - Dispozitiv de diferențiere a semnalului de intrare
- 8 - Regulator
- 9 - Dispozitiv pentru stabilirea valorii de referință impuse
- 10 - Regulator pentru motorul de antrenare al elementului de dozare
- 11 - Motor de antrenare
- 12 - Tahometru

În cele ce urmează, se prezintă schema de principiu a unui sistem de control și reglare automatizat pentru un dozator cu cântar diferențial [70]:

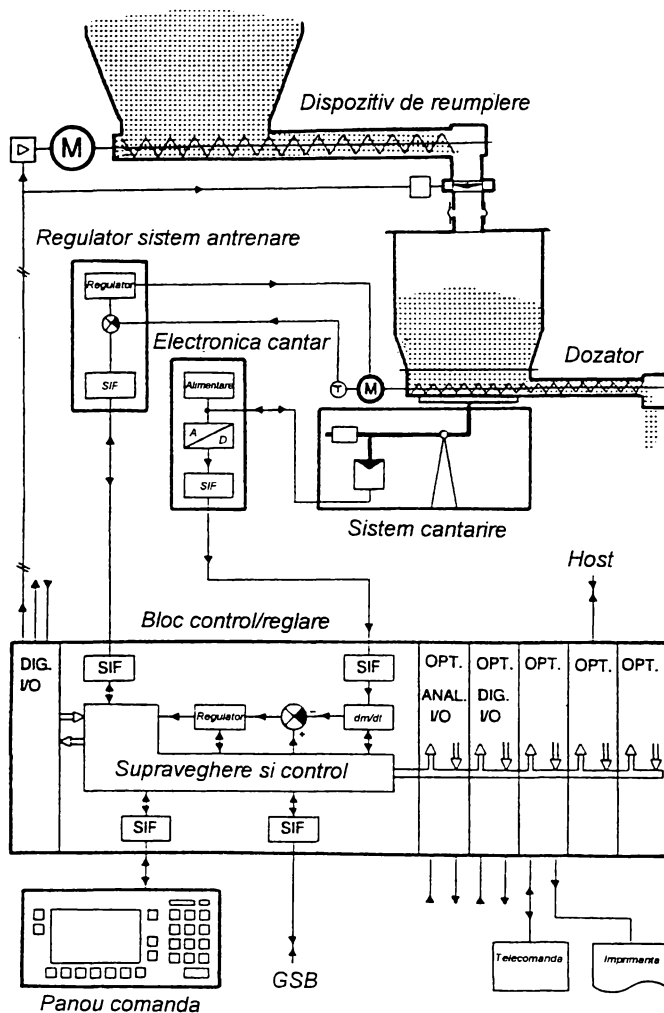


Fig. 5.9 - Schema unui sistem de control și reglare automatizat pentru un dozator cu cântar diferențial

Notății:

M - motor electric

T - tahometru

HOST - calculator central de proces

GSB - sistem de dozare multi-componentă

A/D - convertor analog-digital

DIG. I/O - intrări/ieșiri digitale

ANAL. I/O - intrări/ieșiri digitale

SIF - interfață standardizată

OPT. - module opționale pentru extinderea sistemului

### 5.7.1 Filtre liniare adaptative pentru reducerea perturbațiilor permanente

Semnalele perturbatoare generate de vibrații și curenți de aer la locul de amplasare al dozatoarelor cu cântar diferențial modifică semnalul real furnizat de către celulele de cântărire. Prin intermediul prelucrării digitale a semnalelor, este posibilă auto-ajustarea sistemului de dozare. Astfel, în timpul fazei de dozare gravimetrică, semnalul furnizat de către celule de cântărire este prelucrat de către un analizor spectral de frecvențe. Acesta generează spectrul de frecvențe al semnalului, iar pe baza unor modele stocate în sistem, se pot determina semnalele perturbatoare și caracteristicile acestora. Aplicând apoi filtraje corespunzătoare semnalului analizat, se va obține un semnal apropiat de cel real, neperturbat, și se pot efectua reglajele de corecție necesare, prin intermediul elementului de dozare.

Această analiză și corecție a perturbațiilor se realizează în timp real, obținându-se o creștere de până la 4 ori a preciziei de dozare a sistemului. Pe această cale crește și constanța și reproductibilitatea dozării, deci și calitatea produsului final obținut.

### 5.7.2 Filtre neliniare pentru eliminarea perturbațiilor aleatorii

Perturbațiile aleatorii, produse de exemplu prin atingerea întâmplătoare a depozitului de material sau de scurgeri nepermise de material, sunt eliminate prin sisteme de auto-eliminare a perturbațiilor (*Disturbance Auto-Elimination*), bazate pe filtre neliniare. Printr-o analiză statistică a semnalului furnizat de celule de cântărire se obține o descriere a stării normale a sistemului. Pe baza acestei stări, se analizează semnalele furnizate de senzori în timpul procesului de producție, stabilindu-se probabilitatea ca acestea se apară și în starea de funcționare normală a dozatorului. Valorile cu probabilitate redusă de apariție sunt considerate perturbații ale semnalului de măsurare și sunt corectate, respectiv eliminate automat.

Asemenea sisteme pot furniza și informații privind uzura unor elemente din sistem, defecte de execuție a sistemului de dozare, precum și prognoze de defectare, conducând la obținerea unui sistem de dozare 'inteligent'.

### 5.7.3 Controlul realimentării depozitului de material la dozatoarele cu cântar diferențial

În timpul fazei de realimentare a depozitului cu material în vrac, dozarea se poate efectua doar volumetric, pe baza datelor provenind din faza de dozare gravimetrică anterioară. Pentru a reduce erorile inerente acestei faze, este necesar ca ea să se desfășoare cât mai rapid, dispozitivul de închidere al silozului superior trebuind să acționeze prompt, pentru a

reduce cantitatea de material scursă necontrolat și care determină reducerea preciziei de dozare.

Obținerea tubului de legătură dintre silozul superior și depozitul de material al cântarului este sesizată printr-un senzor, introducându-se și un interval de timp de siguranță până la reînceperea fazei de dozare gravimetrică. Dacă apar însă uzuri la mecanismul de închidere sau depuneri de material pe acesta, atunci se produc scurgeri nepermise de material, care generează erori semnificative în semnalul măsurat de către celulele de cântărire.

În cazul în care sistemul de dozare computerizat stochează și un model al fazei de încheiere a alimentării depozitului cu material, precum și al curgerii materialului în situația în care dispozitivul de obturare este corect închis, atunci se pot detecta și erorile la alimentarea dozatorului, erori ce pot fi corectate automat sau prezentate operatorului.

## 5.8 Optimizarea funcționării dozatoarelor-cântar cu bandă transportoare

Dozatoarele-cântar cu bandă transportoare sunt utilizate la dozarea materialelor în vrac ce prezintă o curgere liberă. Măsurarea încărcării benzii cu material în vrac se realizează prin intermediul unei celule de cântărire, ce măsoară forța externă prin intermediul unei role aflate în contact cu banda transportoare. Precizia acestui sistem de măsurare este determinată în mod esențial de rigiditatea benzii transportoare, care poate induce erori de până la 100 de ori mai mari decât eroarea de măsurare a celulei de cântărire. Cu ajutorul unor sisteme cu microprocesor se poate realiza însă o compensare automată, în timp real, a perturbațiilor induse de banda transportoare, obținându-se astfel o dozare mult mai precisă [70].

Viteza de deplasare a benzii va fi determinată prin măsurarea turației motorului de antrenare al benzii. Astfel, prin reglarea turației motorului, se va obține modificarea debitului de material dozat, calculat ca și produs dintre încărcarea benzii per metru și viteza ei de deplasare.

Celula de cântărire furnizează un semnal compus din:

- încărcarea benzii cu material în vrac -  $\langle q_s \rangle$ ,
- influența benzii transportoare -  $\langle q_b \rangle$  și
- sarcina parazită (tara) -  $\langle q_t \rangle$ .

Semnalul indus de influența benzii transportoare este sursa cea mai importantă de erori. Acest semnal perturbator este cauzat în cea mai mare măsură de variația de rigiditate a benzii, rigiditate variabilă atât de-a lungul benzii, cât și cu temperatura mediului. De aceea, această perturbație trebuie urmărită continuu pe durata procesului.

Printr-un sistem de compensare a influenței benzii (*Belt Influence Compensation - BIC*), este posibilă extragerea în timp real a semnalului perturbator indus de bandă din semnalul furnizat de celula de cântărire. Aceasta se realizează printr-un așa-numit corelator, un sistem computerizat, care analizează din punct de vedere statistic semnalul furnizat de celula de cântărire. Corelatorul extrage semnalul perturbator produs de bandă - care este un semnal dependent de ciclul de deplasare al benzii - din semnalul produs de încărcarea benzii cu material în vrac - care este un semnal aleator - furnizând astfel semnalul corectat.

Pentru creșterea preciziei de dozare, se impune ca măsurarea cu celula de cântărire să se facă cât mai aproape de punctul de evacuare al materialului, utilizând tehnica *DAP* (*Dosierung am Abwurfpunkt*). În paralel, se utilizează și un dispozitiv magneto-inductiv de

sincronizare cu mișcarea benzii, pentru sesizarea și controlul alunecării benzii, respectiv pentru sesizarea păstrării limitelor laterale de deplasare.

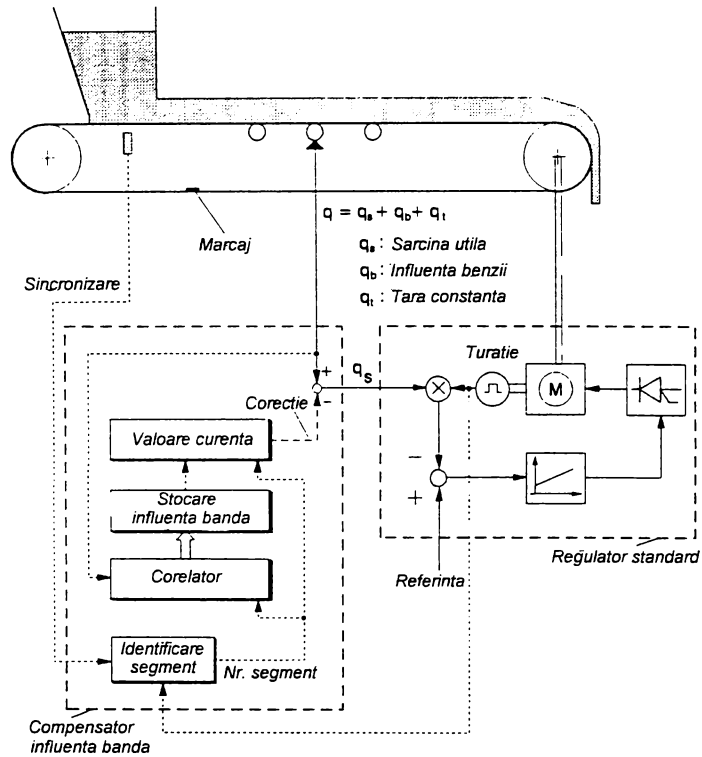


Fig. 5.10 - Dozator-cântar cu bandă transportoare cu sistem de compensare a influenței benzii

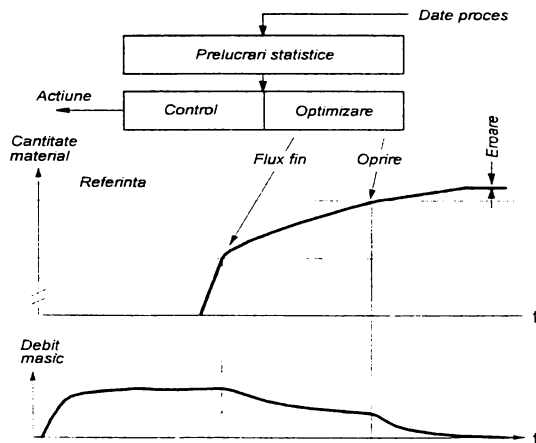


Fig. 5.11 - Variația cantității și a debitului de material la dozarea în șarje, în cazul utilizării sistemelor de control și optimizare a dozării discontinue

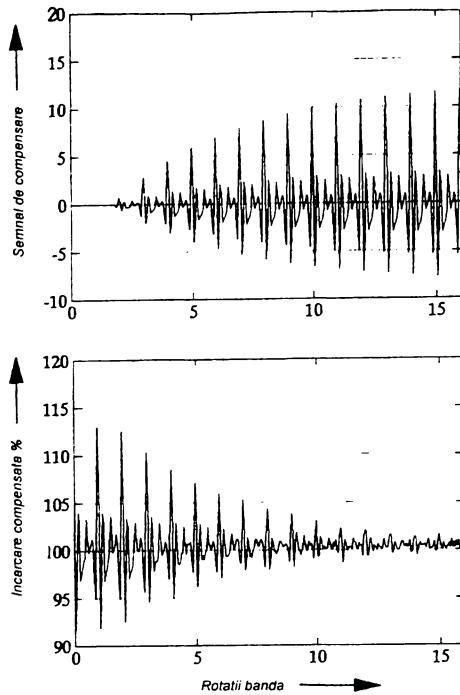


Fig. 5.12 - Compensarea semnalului perturbator indus de banda transportoare

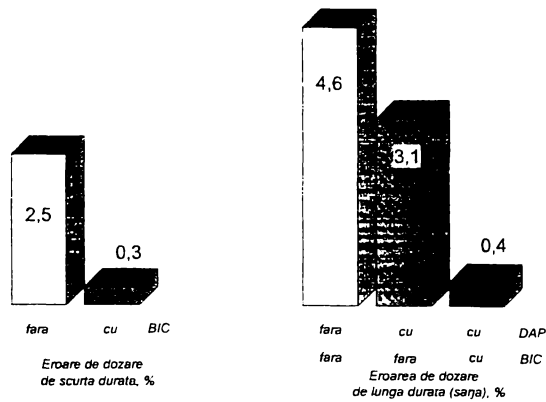


Fig. 5.13 - Influența sistemelor BIC (*Belt Influence Compensation*) și DAP (*Dosierung am Abwurfpunkt*) la creșterea preciziei de dozare la dozatoarele-cântar cu bandă transportoare

Prin asemenea metode, precizia de dozare pe durată scurtă ajunge la 0,3 - 0,5 %, față de un dozator uzual cu bandă transportoare, la care ea este de aproximativ 2,5%. Pe ansamblu, la dozatoarele cu bandă transportoare cu sisteme computerizate de compensare a perturbațiilor, precizia șarjelor realizate este de aproximativ 0,4 %, pe când la sistemele uzuale aceasta este de aproximativ 4 - 5%.

Prin această creștere a preciziei de dozare a șarjelor de material se îmbunătățește și reproductibilitatea amestecurilor de materiale realizate prin dozare și implicit calitatea produsului finit.

**Bibliografie:** [4], [5], [9], [12], [13], [18], [19], [20], [24], [25], [32], [35], [37], [38], [47], [48], [52], [54], [55], [59], [63], [64], [66], [70], [72], [75], [76], [82], [83], [88], [90].

## 6 Conducerea pe calculator a proceselor de dozare a materialelor în vrac

Cerințele tot mai înalte și mai diversificate stabilite pentru sistemele de conducere a producției au determinat impunerea în practica industrială a sistemelor computerizate, în raport cu sistemele de automatizare clasice, funcționând numai pe baza semnalelor analogice.

Componentele principale ale sistemelor computerizate de conducere a proceselor industriale sunt următoarele [12], [59], [70]:

- calculatorul de proces, la care sunt conectate și dispozitivele de comunicare cu operatorul uman,
- unitatea de achiziție a datelor pentru calculatorul de proces,
- dispozitive de tip microcontroler, pentru supravegherea independentă a activității subsistemelor de proces,
- sistemul de senzori, pentru măsurarea semnalelor de intrare,
- ansamblul elementelor de execuție,
- sistemul de comunicație între componentele sistemului și
- opțional, conexiunea la un sistem central de urmărire a producției.

În practică, este posibil ca funcțiile unora dintre componentele enumerate mai sus, să fie realizate de către subsistemele altor componente, ceea ce duce la o integrare și mai înaltă a sistemelor de conducere a proceselor.

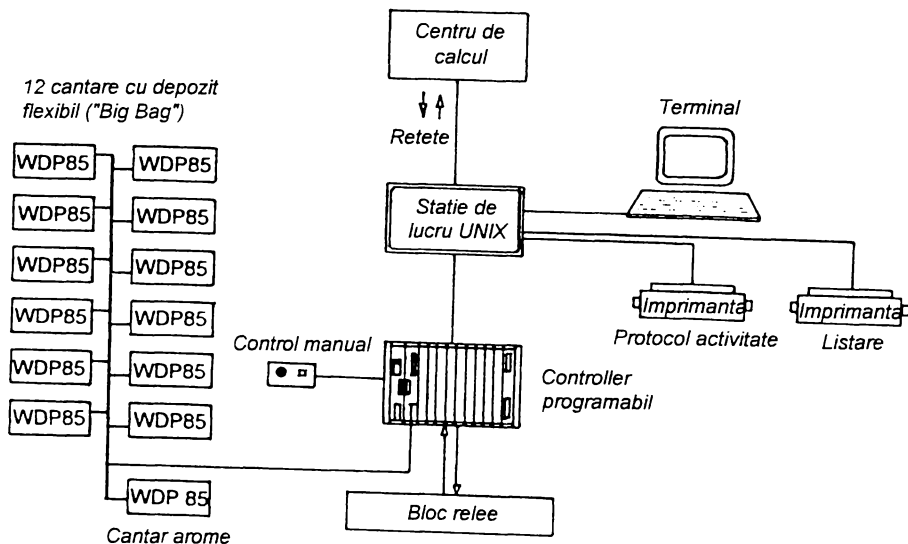


Fig. 6.1 - Sistem de dozare computerizat, utilizat la producerea de amestecuri de ceaiuri și realizat de către firma "Greif Maschinenfabrik" GmbH, Lübeck/Germania:

## Sistem WDP85 - Cântare diferențiale în construcție modulară, cu depozite flexibile (tip Big Bag)

Rolul unor asemenea sisteme computerizate este realizarea următoarelor funcții:

- supravegherea senzorilor,
- filtrarea semnalelor de intrare,
- reducerea și eliminarea perturbațiilor din semnalul măsurat,
- ajustarea și recalibrarea automată a sistemelor de măsurare,
- calcularea, în timp real, a mărimilor de conducere a procesului,
- controlul elementelor de execuție,
- asigurarea siguranței exploatarei instalației supravegheate,
- arhivarea valorilor mărimilor ce caracterizează evoluția procesului,
- asigurarea comunicației la distanță cu alte sisteme computerizate.

O parte din aceste funcții pot fi implementate în hardware (la sisteme cu microprocesoare de tip *ASIC - Application Specific Integrated Circuit*), ceea ce determină o viteză de execuție mărită, dar și circuite integrate mai complexe și prin urmare o reducere a flexibilității și creșterea costurilor sistemului. Dacă se optează pentru sisteme cu microprocesoare nespecializate și se implementează în software funcțiile descrise, sistemul de măsurare și reglare va avea o viteză de lucru ceva mai redusă, fiind însă mai flexibil și având un preț de cost mai redus.



## 6.1 Aspecte specifice ale utilizării calculatoarelor de tip PC la achiziția și prelucrarea datelor de proces

Tendința ultimului deceniu, de trecere la sisteme computerizate descentralizate, mai mici și mai flexibile - cunoscută sub termenul de *downsizing* - și apărută odată cu creșterea performanțelor și reducerea prețurilor calculatoarelor personale (PC), a impus calculatoarele de tip PC și în domeniul sistemelor industriale de control și reglare. Aceste sisteme permit îndeplinirea tuturor cerințelor puse unui sistem computerizat de reglare și control, în condițiile unei eficiențe economice și fiabilități mărite [24], [59]. Caracteristicile lor principale sunt următoarele:

- Flexibilitate mărită la schimbări în cadrul proceselor de producție supravegheate, prin modificări ale programului (software) de control și reglare sau prin extinderea sistemului.
- Viteze de lucru mari, procese executate în paralel și posibilitatea realizării unor reglaje complexe, greu de executat cu sisteme analogice clasice, ca intrări folosindu-se atât semnale analogice cât și digitale.
- Posibilitatea transmiterii datelor de proces la mare distanță, respectiv a controlului și reglării proceselor de la mare distanță.
- Arhivarea digitală a datelor de proces, pentru analize tehnice și manageriale ulterioare.
- Posibilitatea realizării unui control statistic al procesului (*SPC - Statistical Process Control*), control ce stă la baza sistemelor de asigurare a calității conform normelor europene ISO 9000 - 9004.
- Integrarea în sistemele informatice deja existente în unitatea de producție.

În aplicațiile practice se ține cont de necesitățile obiective și de posibilitățile tehnice și financiare, sistemele de reglare și control fiind realizate pe baza unui compromis între acești factori.

Sistemele de conducere a proceselor continue, bazate de PC-uri, pot supraveghea, funcție de echipare, până la 200 de canale de intrare/ieșire analogice sau digitale și pot realiza până la 80 de circuite de reglare. Sistemele bazate pe stații multi-procesor pot realiza, cu software-ul corespunzător, controlul a până la 1000 de canale de intrare/ieșire analogice sau digitale și pot calcula până la 200 de circuite de reglare.

PC-ul va fi integrat în sistem cu rol de supervisor, prin echiparea sa cu un modul suplimentar ce este practic un calculator de performanță, dedicat controlului și reglării proceselor, ansamblul fiind condus cu ajutorul unor programe specifice modulului adițional. Modulul integrat va opera în paralel cu procesorul PC-ului, permițând realizarea operațiilor de control și reglare în timp real. Într-o asemenea structură, PC-ul va putea gestiona și comunicația cu nivelele superioare ale sistemului informatic.

La nivelele superioare ale conducerii computerizate a procesului de dozare se realizează următoarele funcții:

⇒ Stabilirea, modificarea și stocarea parametrilor pentru rețetele produselor dozate.

- ⇒ Programarea operațiilor de curățare - operaționale sau preventive - a dozatoarelor utilizate în cadrul procesului.
- ⇒ Agregarea datelor de proces, astfel obținându-se informații sintetice necesare conducerii proceselor de producție și pentru asigurarea calității produselor.
- ⇒ Realizarea de rapoarte periodice privind situația și evoluția producției.

Software-ul sistemelor de control și reglare are următoarele funcții de bază:

- Afișarea parametrilor actuali ai procesului supravegheat și variația acestora în timp.
- Afișarea de mesaje de comunicație cu operatorul, inclusiv cele legate de atingerea unor valori limită, respectiv critice, în cadrul procesului supravegheat.
- Permite introducerea de către operator a comenzilor și a datelor privind desfășurarea procesului, inclusiv verificarea identității și autorizării acestuia.
- Analiza și afișarea grafică a datelor de proces, precum realizarea de rapoarte periodice și ad-hoc.
- Afișarea dinamică (animată) a desfășurării evenimentelor din procesul tehnologic.
- Protocolul evenimentelor de proces și arhivarea automată a datelor.
- Asistarea operatorului în executarea sarcinilor sale, cu ajutorul unor interfețe ergonomice și a sistemelor de asistență sensibile la context (*context-sensitive help*).

Protocolul evenimentelor de proces se realizează prin stocarea datelor pe suporturi magnetice (hard-disk, benzi magnetice) sau optice (discuri magneto-optice, CD-R/RW) și prin tipărirea la imprimante. Datele respective pot fi utilizate pentru: analiza situațiilor critice, rapoartele necesare managementului pentru conducerea proceselor de producție și la asigurarea calității produselor, etc. La unele produse din industria alimentară sau cea farmaceutică asemenea protocoale sunt impuse prin lege.

Pentru creșterea siguranței în exploatare, asemenea sisteme se realizează redunat, existând de regulă două calculatoare supervizoare. Dacă calculatorul principal de proces nu mai poate asigura funcționarea corespunzătoare a sistemului, fapt determinat prin auto-diagnoza sistemului, funcția sa este preluată automat de sistemul de rezervă. Și datele de proces istorice sunt stocate redundant, astfel încât pot fi recuperate relativ ușor, sistemul fiind astfel conceput încât să se evite întreruperea accidentală a procesului de producție, trecerea pe sistemul de rezervă fiind realizată transparent față de celelalte componente conectate la sistem.

### 6.1.1 Convertoare analog-digitale și digital-analogice

Comunicația dintre calculatoarele de tip PC și dispozitivele periferice se face prin intermediul unor circuite de comunicație digitale. În cazul în care dispozitivele periferice pot transfera numai semnale analogice, se vor utiliza convertoare analog-digitale (CAD), respectiv digital-analogice (CDA), în scopul compatibilizării cu semnalele prelucrate de PC.

O prezentare amplă a acestor dispozitive de conversie fiind foarte amplă, se face trimitere la literatura de specialitate [13], [59], respectiv la Lucrarea de Diplomă a autorului [72]. De regulă, furnizorul sistemului de dozare computerizat include în sistemul său PC-ul echipat cu

placa convertoare și programele necesare supravegherii procesului, utilizatorul nefiind confruntat cu probleme legate de teoria convertoarelor de semnale.

Ceea ce trebuie însă să analizeze utilizatorul sistemului computerizat de control și reglare sunt erorile induse pe lanțul de măsurare de aceste dispozitive de conversie, erori ce influențează în final desfășurarea procesului de producție și calitatea produselor obținute. Aici se impune corelarea erorilor tuturor componentelor sistemului, deoarece nu este eficientă, de exemplu, utilizarea unui convertor analog-digital de înaltă precizie într-un lanț de măsurare ce conține amplificatoare analogice de semnal cu zgomot de fond mare sau cu o rețea de transmisie a semnalelor folosind cabluri sau conectori insuficient protejați față de perturbațiile externe. În acest sens, în cele ce urmează se prezintă aspecte importante legate de utilizarea convertoarelor digitale.

Rezoluția convertorului analog-digital exprimă numărul treptelor de cuantizare (digitalizare) posibile. Ea este impusă de precizia de lucru în cadrul procesului, ținându-se cont însă și de costurile implicate de lucrul cu sisteme cu rezoluții ridicate. Convertoarele analog-digitale pe 12 biți au în momentul de față (iulie 1998) un raport preț/performanță optim, fiind de circa 4 ori mai ieftine decât convertoarele analog-digitale de înaltă performanță, pe 16 biți. Convertoarele moderne permit reglarea rezoluției de digitalizare, o rezoluție mai mică permițând o frecvență de eșantionare mai ridicată.

Totodată, trebuie ținut cont și de restricția impusă prin teorema digitalizării a lui Nyquist, conform căreia, pentru a obține un semnal digitalizat corect, frecvența de eșantionare a convertorului va trebui să fie cel puțin dublul frecvenței maxime a semnalului de măsurat. Pentru măsurători de înaltă precizie și pentru semnale peste 25 kHz, raportul dintre frecvența de eșantionare și frecvența maximă a semnalului de digitalizat se ia între 5 : 1 până la 10 : 1. Convertoarele analog-digitale oferite pe piață prezintă frecvențe de eșantionare între 100 Hz și 1 Ghz, prețul lor crescând odată cu creșterea frecvenței de eșantionare.

Eroarea sistematică la convertoarelor analog-digitale, numită eroare de cuantizare, este de +/- 1/2 LSB (*Least Significant Bit*), unde LSB - bitul cel mai puțin semnificativ - reflectă cea mai mică variație obținută la ieșirea convertorului. În tabelul de mai jos sunt prezentate erorile de cuantizare raportate la rezoluția de lucru a convertorului:

<i>Precizia/rezoluția convertorului: &lt;biți&gt;</i>	<i>Trepte de cuantizare:</i>	<i>Eroarea de cuantizare: 1 LSB, rotunjit - &lt;%&gt;</i>
8	256	0,4
10	1024	0,1
12	4096	0,024
14	16384	0,006
16	65536	0,0015

Tab. 6.1 - Tabel comparativ al preciziei convertoarelor analog-digitale

În scopul reducerii prețurilor și creșterii performanțelor, convertoarele analog-digitale și cele digital-analogice se integrează de regulă pe un același modul de extensie. Funcție de numărul dispozitivelor periferice controlate, respectiv reglate, se va alege un convertor cu un număr corespunzător de intrări/ieșiri analogice și digitale. În general, convertoarele oferite pe piață prezintă:

- ⇒ 2 - 16 intrări analogice (simple sau diferențiale),
- ⇒ 8 - 24 intrări/ieșiri digitale și
- ⇒ pâna la 4 ieșiri analogice.

În cazul în care trebuie măsurate mai multe semnale analogice se utilizează dispozitive multiplexoare, numărul de intrări/ieșiri digitale mărindu-se prin utilizarea unor module digitale de extensie.

Semnalele de intrare acceptate sunt în mod normal de tip tensiune, între 0 - 10 V sau +/- 5 V, sau de tip curent, între 0 - 20 mA. Convertoarele moderne dispun și de posibilitatea amplificării semnalului de intrare, în trepte de: 1 - 5 - 10 - 100 ori.

Dacă semnalul de intrare nu se încadrează în domeniile acceptate de convertor, se impune utilizarea unor dispozitive de condiționare a semnalului: convertoare curent-tensiune, amplificatoare, filtre, memorii intermediare rapide, etc. Canalele de ieșire analogice furnizează de regulă semnale de tip tensiune, între 0 - 10 V sau +/- 5 V, sau de tip curent: între 0 - 20 mA, respectiv 4 - 20 mA (compatibile cu sistemele analogice clasice).

La convertoarele digital-analogice (CDA), ce se utilizează pentru comanda elementelor de execuție analogice, erorile introduse în sistemul de control și reglare sunt descrise de mărimile caracteristice prezentate mai jos.

Timpul de stabilizare (*settling-time*), care exprimă perioada de timp necesară convertorului digital-analogic pentru a stabili la ieșire semnalul comandat, cu o toleranță corespunzând la +/- 1/2 LSB. Practic, se analizează timpul de stabilizare pentru o variație pe întreg domeniul a semnalului de ieșire (*full-scale range*), respectiv timpul de stabilizare pentru o variație corespunzând la 1 LSB, adică pentru cea mai mică variație posibilă a semnalului de ieșire. Valori tipice timpului de stabilizare pentru o variație pe întreg domeniul a semnalului de ieșire sunt: 35 ns pentru convertoarele digital-analogice rapide și 100 μs pentru cele lente.

Neliniaritatea statică reflectă abaterea semnalului de ieșire de la caracteristica de ieșire ideală, obținută prin unirea punctelor extreme ale semnalului de ieșire, corespunzând punctului de minim, respectiv de maxim. În mod normal ea este de +/- 1/2 LSB, convertoarele digital-analogice de înaltă precizie având eroarea de +/- 1/4 LSB. Neliniaritatea dinamică se referă la banda de toleranță a semnalului de ieșire analogic, când semnalul de referință digital se modifică cu o treaptă. Neliniaritatea dinamică este de regulă de +/- 1/2 LSB.

Deplasarea punctului de zero (originii) pentru semnalul analogic de ieșire este determinată de curenții paraziți, aflați sub influența temperaturii mediului. De regulă, această eroare este de 0,0001 - 0,0003 % per K.

O rezoluție prea mică a convertorului digital-analogic va determina un semnal de ieșire analogic ce variază în trepte și care va determina practic o comandă în pași, și nu continuă, a elementului de execuție controlat.

Funcție de caracteristicile dispozitivelor de execuție, se pot folosi convertoare digital-analogice ce furnizează la ieșire semnale cu polarități diferite:

Tip CDA:	Semnal digital de intrare*:	Polaritate semnal analogic:
Cu funcționare în 1 cadran	+	+
Cu funcționare în 2 cadrane	+	+ / -
Cu funcționare în 4 cadrane	+ / -	+ / -

Tab. 6.2 - Tipuri funcționale de convertoare digital-analogice

\*Observație: "+" reprezintă valoarea binară simplă, iar "-" complementul binar.

Convertoarele analog-digitale, respectiv digital-analogice de mare performanță, posedă procesoare proprii, speciale, așa-numitele procesoare digitale de semnal (*Digital Signal Processor - DSP*). Aceste procesoare sunt proiectate după arhitecturi orientate spre prelucrarea paralelă a instrucțiunilor, prin tehnica *pipeline*, posedând și mai multe busuri de date care să susțină acest mod de lucru. Totodată, o serie de operațiuni matematice superioare sunt implementate hardware în DSP, determinând creșterea vitezei de lucru de câteva ori, avantaj valorificat la procesarea în timp real a fluxurilor mari de date. Utilizarea unor sisteme de achiziție cu DSP determină și desconggestionarea procesorului principal, avantaj platit prin prețul relativ ridicat al unor asemenea convertoare.

Pentru reducerea costurilor și creșterea preciziei de control, respectiv de reglare, producătorii specializați au realizat o serie de senzori inteligenți și dispozitive de acționare ce folosesc semnalele digitale, conectarea făcându-se prin intermediul unor interfețe seriale (în mod uzual RS-485). Creșterea ponderii semnalelor digitale determină o creștere a stabilității față de perturbațiile externe și implică o creștere a preciziei globale și a flexibilității sistemului.

La achiziția unor convertoare digitale trebuie ținut cont și de costurile legate de programele de control și reglare necesare, fără de care utilizatorul va trebui să dezvolte singur întreaga structură software necesară conducerii procesului. Prețul unui pachet de aplicații specifice se ridică la nivelul prețului sistemului hardware, în plus fiind necesară și instruirea operatorilor, pentru a se asigura folosirea optimă a sistemului nou implementat.

## 6.2 Sisteme de comunicație utilizate la conducerea proceselor industriale

Procesul de măsurare este baza pentru analiza, controlul și reglarea proceselor de producție complexe ce integrează sisteme de dozare. Se impune astfel necesitatea ca datele de proces să fie transmise și prelucrate în timp real (*on-line*), utilizând sisteme de comunicație rapide și insensibile față de perturbațiile externe.

În cadrul proceselor de măsurare automatizate, mărimile fizice măsurate sunt transformate în mărimi electrice, ce vor fi amplificate și transferate la distanță unui dispozitiv de control și reglare. Aici va avea loc prelucrarea, analiza și stocarea, respectiv afișarea datelor ce vor fi utilizate la conducerea procesului de dozare, respectiv a procesului de producție [6], [44].

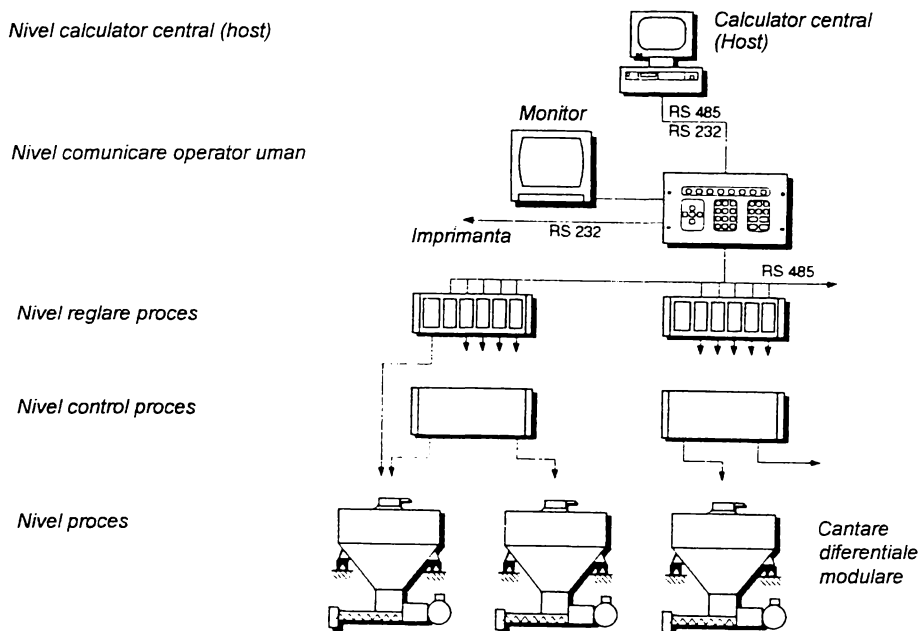


Fig. 6.2 - Nivelele structurale ale unei instalații de dozare cu sistem de conducere computerizat

O asemenea structură [70] permite introducerea parametrilor globali impuși procesului tehnologic, la calculatorul central sau la terminale, respectiv introducerea ad-hoc a parametrilor funcționali a dispozitivelor, la punctele de lucru. Între nivelele superioare (1 - 2 - 3) se utilizează de regulă sisteme de comunicația serială, folosind interfețe standardizate: RS-485 sau RS-232. Pentru comunicația între nivelele inferioare (3 - 4 - 5) se utilizează de regulă sisteme de comunicație speciale.

Nivelele structurale, între care are loc transmiterea datelor de proces, sunt materializate prin:

1	Nivelul calculatorului central de conducere a procesului ⇒ Calculatoare de proces (sub sisteme de operare Unix, OS/2 sau Windows NT), ce realizează prelucrarea în timp real a datelor de proces, arhivarea acestora pe suporturi magnetice sau optice, gestionarea informațiilor privind procesul tehnologic, etc.
2	Nivelul de comunicare cu operatorul uman ⇒ Dispozitive de introducere a datelor: panouri de comandă clasice, tastatură, mouse, scanner pentru coduri de bare. ⇒ Dispozitive de afișare a datelor de proces: monitor, imprimantă.
3	Nivelul de reglare al procesului ⇒ Dispozitive programabile cu microcontroler, ce realizează supravegherea independentă a diferitelor subsisteme de producție.
4	Nivelul de control al procesului ⇒ Dispozitive de măsurare și control: instrumente de măsurare analogice, convertoare analog-digitale și digital-analogice, sisteme de condiționare a semnalelor.
5	Nivelul procesului de dozare ⇒ Senzori și elemente de execuție.

Tab. 6.3 - Comunicația între componentele unei instalații de dozare condusă de calculator

Un bus este definit ca fiind un grup de conductoare ce interconectează componentele unui dispozitiv sau ale unei rețele. În sens largit, termenul de bus cuprinde și protocolul (normele) de comunicație definite pentru transferul de date pe acel bus. Busurile de proces au fost dezvoltate pentru a interconecta senzori, dispozitive de măsurare și de execuție în condiții industriale, asigurând transferul în timp real a informațiilor între elementele conectate.

Pe busurile de proces, informațiile pot fi transmise sub formă de:

- mărimi analogice: tensiune, curent sau frecvență și/sau
- mărimi digitale.

Un prim pas în direcția standardizării automatizărilor a fost făcut la sfârșitul anilor '60, când în practica industrială s-a generalizat utilizarea interfețelor de automatizare pe curenți de 0 - 20 mA, respectiv de 4 - 20 mA. În acest caz, mărimea furnizată de senzori era transformată într-un curent continuu, și transmisă prin cabluri la dispozitivele de control și la calculatorul de proces. Pe baza acestor interfețe standardizate se puteau reuni într-un sistem unitar senzori, aparate de măsură și elemente de execuție provenind de la diverși producători, utilizatorul având astfel acces la sisteme flexibile și o relativă independență față de producătorii de aparataj de măsură și control.

În perioada actuală însă, tendință este de utilizare pe scară largă a dispozitivelor digitale, urmărindu-se transformarea cât mai timpurie a mărimilor furnizate de senzori în formă

digitală. Se preferă lucrul cu semnale digitale, acestea fiind mai insensibile la perturbații și mai ușor de prelucrat cu module digitale bazate pe microprocesoare. Și frecvența poate fi relativ ușor convertită în formă digitală, fapt ce avantajează senzorii ce furnizează mărimi de tip frecvență. Tot mai des se integrează microprocesoare în senzorii propriu-ziși, realizându-se așa-numiți senzori 'inteligenți' (*smart*). Asemenea senzori pot realiza o liniarizare automată a caracteristicii senzorului, precum și atenuarea perturbațiilor ce se suprapun semnalului util.

Pentru exploatarea la maximum a sistemelor digitale, este necesară și utilizarea unui sistem de comunicații digital, bidirecțional, bazat un bus de comunicații standardizat. În domeniul busurilor situația este însă complexă, neexistând un standard general, fiecare producător sau grup de producători dorind să impună normele și produsele sale.

### 6.2.1 Sisteme de comunicații analogice

La aceste sisteme, numite și sisteme de comunicație convenționale (clasice), transmiterea informațiilor se face sub formă analogică, prin curenți de 0 - 20 mA, respectiv 4 - 20 mA, utilizând cabluri individuale cu conductor dublu. Între dispozitivul de conducere al procesului și senzori, respectiv elementele de execuție există legături directe, punct-cu-punct.

Caracteristicile principale ale sistemelor de comunicații convenționale sunt următoarele:

- Transferul de informație se face întotdeauna într-un singur sens, de la senzor la dispozitivul de conducere al procesului și de la acesta la elementul de execuție.
- De la dispozitivul de conducere a procesului sau de la calculatorul central pleacă unul sau mai multe cabluri spre fiecare din dispozitivele de măsurare sau de execuție, rezultând astfel o cablare foarte complexă, scumpă și greu de întreținut.
- Mărimile analogice transferate au un nivel de informații redus și trebuie să fie prezente în mod continuu, necesitând astfel o funcționare permanentă a sistemului de control.
- Există posibilitatea alimentării de siguranță a dispozitivelor de măsurare și de execuție, prin intermediul dispozitivului central de control.

Transformarea mărimilor analogice în formă digitală, compatibilă cu sistemele cu microprocesoare, impune utilizarea mai multor convertoare analog-digitale precum și a unor dispozitive multiplexoare. Un pas în direcția standardizării a fost realizat prin adoptarea de către mai mulți producători a tehnicii *SMART* (bazată pe protocolul Hart), aceasta tehnică fiind compatibilă cu standardul clasic bazat pe curenți de 0(4) - 20 mA, care utilizează cabluri cu 2 conductori. Legarea componentelor se face în sistem punct-cu-punct la dispozitivul central de control, comunicația cu dispozitivele conectate putând fi realizată prin intermediul calculatoare de tip PC sau cu stații de lucru portabile (*Hand Held Communicator*), ce se leagă la dispozitivul central de control sau direct la cablul cu care se conectează dispozitivele periferice.

În tehnica *SMART*, peste semnalul analogic se pot suprapune semnale de control digitale, fiind astfel posibil un dialog cu dispozitivele conectate. Pe această cale se pot transmite semnale de stare dispozitivelor conectate, se pot modifica domenii de măsurare, etc.

Cum în ultima perioadă s-a generalizat utilizarea senzorilor 'inteligenți', cu microprocesor integrat, care furnizează mărimi de ieșire digitale, folosirea unui sistem de comunicații convențional, bazat pe mărimi analogice, este o soluție tehnic depășită.



## 6.2.2 Sisteme de comunicații digitale

Aceste sisteme utilizează exclusiv mărimi digitale, ce sunt transmise pe busurile la care sunt legate dispozitivele ce alcătuiesc sistemul de control și reglare [6]. Pentru ca datele transmise între diferitele dispozitive să nu interfere, este necesar ca fiecare dispozitiv să fie adresabil în mod individual. Prin folosirea de unități de conectare standardizate (interfețe), se pot integra în sistem diferite dispozitive, de la diverși producători, obținându-se astfel un sistem scalabil și flexibil. Din motive de performanță, numărul de dispozitive ce se pot lega la un asemenea bus este de regulă limitat, de la câteva zeci până la peste o sută de dispozitive.

Există două categorii principale de busuri:

1. Busuri seriale, la care datele se transmit bit cu bit, viteza de transmitere fiind mai redusă, dar cablarea mai simplă, fiind suficient și un cablu cu 2 conductori. Rezistența la perturbații a busurilor seriale este foarte bună, putându-se realiza legături fiabile pe o distanță de până la 1500 de metri.
2. Busuri paralele, la care datele se transmit simultan în grupuri de câte 8 biți (*byte*) sau mai mari, rezultând o viteză de transmitere mărită. Aceste busuri necesită însă și o cablare mai complexă, astfel crescând și influența perturbațiilor asupra semnalelor transmise.

Comunicația pe busuri poate fi realizată în următoarele moduri:

- simplex sau unidirecțional, când datele pot circula numai într-un singur sens,
- semi-duplex, când datele pot circula în ambele sensuri, dar nu simultan,
- duplex sau full-duplex, când datele pot circula simultan în ambele sensuri.

Topologiile (structurile) utilizate la realizarea acestor busuri pot fi:

- topologia liniară, când toate dispozitivele se conectează la un trunchi comun,
- topologia stea, când toate dispozitivele se conectează la un dispozitiv central de control,
- topologia inel, când dispozitivele se conectează unul după celalalt, unindu-se capetele.

Din punct de vedere al distanțelor pe care se pot extinde asemenea busuri, avem:

1. Rețele locale (*Local Area Network - LAN*), atunci când rețeaua se întinde pe domeniul unității de producție, de la câțiva metri până la câțiva kilometri.
2. Rețele globale (*Wide Area Network - WAN*), atunci când rețeaua se întinde pe domenii largi, la scară națională sau internațională (de exemplu: rețeaua telefonică).

Pentru rețelele locale utilizate în tehnica măsurării s-au dezvoltat o serie de busuri, ce se deosebesc prin:

- structura hardware de bază,
- protocoalele de comunicație și
- serviciile oferite.

O serie de busuri utilizate în prezent în domeniul achiziției și prelucrării datelor în domeniul industrial sau de laborator au fost dezvoltate inițial pentru aplicații de birotică, ca de exemplu Ethernet și Token Ring, acestea busuri având astăzi o aplicabilitate generalizată.

În cele ce urmează se va face o scurtă prezentare a busurilor ce au fost dezvoltate în mod special pentru achiziția și prelucrarea datelor în domeniul industrial, busuri utilizate și în cadrul SDMV cu control și reglare computerizată.

### 6.2.3 Sisteme de comunicații de proces (Field-Bus)

În timp, funcția busului de proces a evoluat, de la simpla conectare a senzorilor și elementelor de acționare, la o funcție de comunicare complexă în timp real, între senzori, elementele de execuție și nivelele superioare ale sistemului de conducere a procesului.

Cerințele cele mai importante impuse unui bus de proces sunt:

- Asigurarea unei comunicații bidirecționale în timp real între elementele conectate, caracterizate de:
  - ⇒ Numărul maxim de dispozitive conectate simultan la bus,
  - ⇒ Rata maximă de transfer a informațiilor pe bus (în <bit/s>),
  - ⇒ Timpul maxim de răspuns la apelul unui dispozitiv (în <ms>).
- Un efort de cablare redus, prin utilizarea pe cât posibil a unor legături seriale, prin cabluri cu 2 conductori.
- Utilizarea unor elemente de conectare standardizate, care să permită legarea la bus a dispozitivelor de la diferiți producători.
- Dispozitivele să fie legate în mod individual la bus și deconectate galvanic de acesta.
- Legarea unor noi dispozitive să nu influențeze negativ funcționarea dispozitivelor deja conectate la bus.
- Ieșirea din uz a unui dispozitiv să nu influențeze funcționarea celorlalte dispozitive.
- Posibilitatea alimentării unor dispozitive periferice prin intermediul busului.

În continuare se vor prezenta pe scurt cele mai răspândite busuri de proces industriale [12], [50], [70]:

Denumire:	Caracteristici:	Observații:
CAN-Bus	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bus serial în sistem Multi-Master, accesul la bus bazându-se pe nivele de prioritate.</li> <li>- Există și variante cu Master unic și sisteme la care accesul la bus este realizat prin metoda Token-Passing.</li> <li>- Rata de transfer maximă: 1000 Kbit/s pe distanțe de până la 40 m, respectiv 50 Kbit/s pe distanța maximă de 1000 m.</li> <li>- Numărul de dispozitive conectate simultan poate fi între 32 și 128, în funcție de rata de transfer maximă.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CAN (Control Area Network) a fost dezvoltat în colaborare de firmele "Bosch" și "Intel".</li> <li>- Utilizat în principal la automobile, fiind proiectat pentru funcționarea în condiții de mediu dificile, precum și pentru conducerea proceselor tehnologice.</li> </ul>
Profibus	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bus <i>Multi-Master</i>, utilizând 2 nivele de priorități: la nivelul central al dispozitivelor Master se utilizează metoda <i>Token-Passing</i>, iar la nivelul inferior se aplică principiul <i>Master-Slave</i>.</li> <li>- Rata de transfer maximă: 500 Kbit/s pe distanțe de până la 200 m, respectiv 93 Kbit/s pe distanța maximă de 1200 m.</li> <li>- Permite conectarea a maxim 32 de dispozitive la un Master, accesul la bus fiind de tip determinist, timpul de ocupare al busului de către un dispozitiv fiind predeterminat (optimizat).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizat cu preponderență în conducerea proceselor tehnologice, la conectarea dispozitivelor microcontroler și a altor dispozitive complexe.</li> </ul>
Interbus-S	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bus cu topologie inelară, în sistem Master-Slave.</li> <li>- Master-ul poate realiza conexiunea la un alt bus de același tip, astfel încât se poate genera un bus cu lungimea maximă de 13 km, din segmente de până la 400 m lungime.</li> <li>- Rata de transfer maximă: 500 Kbit/s constant, indiferent de lungimea busului.</li> <li>- Acceptă până la 256 de componente conectate la un segment, accesul la bus fiind de tip determinist, timpul de ocupare al busului de către un dispozitiv de tip Slave fiind stabilit de Master-ul central.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bus foarte rapid, ce poate utiliza și conductori din fibră optică.</li> <li>- Utilizat cu preponderență la sisteme de reglarea turăției, la conectarea dispozitivelor microcontroler și a altor dispozitive complexe.</li> </ul>
IEC-Bus sau IEC-625, respectiv GPIB, după standardul american IEEE-488	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistem cu un singur Master, care poate fi un calculator de tip PC cu interfață și software de control corespunzător.</li> <li>- Bus paralel, având o rată de transfer maximă de 12 Mbit/s.</li> <li>(Vezi și prezentarea de mai jos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IEC (<i>International Electrotechnical Commission</i>) caută să realizeze și să impună un standard pentru busurile de proces.</li> </ul>

Tab. 6.4 - Busuri de comunicație uzuale în domeniul industrial

Observații:

- La busurile de tip Master-Slave, dispozitivul Master (stăpân) controlează procesele pe bus, determinând când și în ce condiții dispozitivele de tip Slave (sclav) pot prelua sau depune date pe bus. Sistemele Multi-Master au mai multe dispozitive de tip Master, care își împart controlul busului.
- Dacă se utilizează metoda *Token-Passing* sau *Delegated Token*, dreptul de control asupra busului este transferat succesiv dispozitivelor conectate. Conform acestor metode, un *Master*, respectiv un *Slave* are acces la bus numai dacă este în posesia cheii de acces (*Token*). Metoda de control a busului este în acest caz deterministă, deoarece durata controlului busului de către un dispozitiv este predeterminată. Dacă accesul la bus este stabilit după nivele de prioritate, un dispozitiv (Master sau Slave) primește controlul asupra busului, dacă are o prioritate superioară celorlalte dispozitive cu care împarte accesul la bus. De regulă, și în acest caz se impune o durată maximă de control a busului de către un dispozitiv, dar perioada de timp cât un dispozitiv controlează busul nu este determinată în mod exact.

### 6.2.4 IEC-Bus (GPIB)

Cea mai mare răspândire în Europa a găsit-o IEC-busul (sau IEC-625), un bus paralel ce realizează rate de transfer uzuale de 1,5 Mbytes/s și utilizează 16 linii de comunicație: 8 de date, 3 pentru protocolul de transfer și 5 pentru controlul interfeței.

Caracteristicile IEC-busului coincid cu cele ale busului GPIB (*General Purpose Interface Bus*), dezvoltat pe baza standardului american IEEE-488, excepție făcând numai conectorii de legătura. Busul poate deservi în mod normal 15 dispozitive dispuse la o distanță de până la 20 m. Prin folosirea cablurilor cu fibră optică și a unor dispozitive de tip *extender* se pot obține rate de transfer de până la 8 Mbytes/s și segmente de maxim 2 km lungime.

Dispozitivele conectate la IEC-bus au funcții specifice, și anume: *talker* - care poate transmite date, *listener* - care poate recepționa date și *controller* - care controlează accesul la bus.

Unele dispozitive pot realiza toate aceste funcții, în mod succesiv, calculatorul de proces cumulând de regulă toate cele 3 funcții. Procesele pe acest bus se bazează pe 3 reguli de principale:

1. Busul poate fi controlat la un moment dat de către un singur dispozitiv de tip *controller* ce reglementează accesul pe bus.
2. La un moment dat, pe bus poate fi activ un singur dispozitiv de tip *talker*, dar este permisă existența mai multor dispozitive de tip *listener*.
3. *Controller*-ul stabilește funcțiile tuturor dispozitivelor conectate la bus.

Busul în sine este un cablu pasiv, logica de control și comunicație fiind integrată în dispozitivele conectate.

Producătorii oferă pe piață o serie de dispozitive compatibile cu acest bus, ca de exemplu: multimetre digitale, surse de tensiune și de curent programabile, generatoare de funcții, osciloscopae, etc. Funcția de *controller*-ul este asigurată de regulă de un calculator de tip PC, dotat cu interfața și software-ul aferent.

## 6.2.5 Sisteme de supraveghere la mare distanță a proceselor de dozare

Prin utilizarea echipamentelor digitale, se deschide calea controlului și a reglării sistemelor de producție la mare distanță. Astfel, punctele de lucru îndepărtate pot fi conectate prin intermediul unui modem la rețeaua telefonică, analiza și evaluarea datelor de proces făcându-se la un calculator central, care recepționează și stochează datele transmise. În urma analizei datelor cu un sistem-expert (software), se poate realiza comanda - tot de la distanță - a elementelor de execuție ce reglează efectiv parametrii procesului supravegheat.

Parametrii de proces		
Corecția parametrilor de proces prin comandă de la distanță	Funcționare de avarie, prin supraveghere de la distanță	Expertiza și remedierea instalației la fața locului, prin operator uman

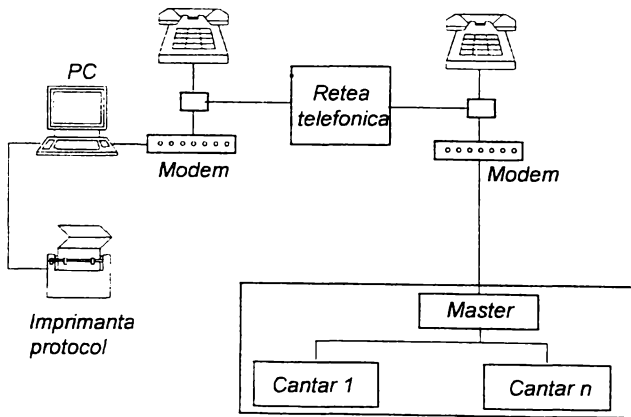


Fig. 6.3 - Structura și schema de principiu a unui sistem de supraveghere de la mare distanță

Pe baza fișelor de calitate generate de sistemul-expert, inginerul de proces poate evalua funcționarea dispozitivelor de dozare, sesizând eventualele erori de funcționare. După caz, acestea pot fi eliminate automat sau prin acțiunea unui tehnician la fața locului.

## 6.2.6 Interfețe de comunicație standard utilizate în aplicațiile industriale

Pentru a putea conecta calculatoarele de proces la busurile de comunicație, acestea trebuie să fie echipate cu interfețe standardizate. Interfețele digitale standard utilizate pentru transferul de date la procesele industriale sunt prezentate sintetic în tabelul de mai jos:

<i>Interfață/ Transmisie:</i>	<i>Rata de transfer: &lt;MBit/s&gt;</i>	<i>Număr de emițători- receptori:</i>	<i>Distanța conexiunii: &lt;m&gt;</i>	<i>Utilizare:</i>	<i>Caracteristici și avantaje:</i>
Centronics (ECP/EPP) - paralelă	max. 10	1 - 8	2 - 4	Imprimante, dispozitive de măsurare/ execuție	Rapidă, prin transmisie paralelă a datelor
PC-Card (PCMCIA) - paralelă	max. 10	1 - 8	2 - 4	Diverse dispozitive periferice	Rapidă (paralelă), fiind utilizată la calculatoarele portabile
RS-232 - serială	max. 0,115	1 - 1	10 - 15	Terminale, imprimante, dispozitive de măsurare/ execuție	Sensibilitate redușă la perturbații
RS-422 - serială	max. 10	1 - 10	1200 -1500	Dispozitive de control și de reglare	Stabilitate foarte mare la perturbații
RS-485 - serială	max. 10	32 - 32	1200 - 1500	Dispozitive de control și de reglare	Stabilitate foarte mare la perturbații
GPIB (IEC) - paralelă	max. 64	1 - 15	20 (2000 cu amplificare)	Dispozitive de control și de reglare	Rapidă, prin transmisie paralelă a datelor

Tab. 6.5 - Interfețe de comunicație standard

Este recomandat ca la achiziția unui sistem de control și reglare să se pună accent pe flexibilitatea și scalabilitatea sistemului, pe baza interfețelor standardizate utilizate. Unii producători prezintă soluții proprietare, ce pot fi de performanță ridicată, dar ele determină ca sistemele realizate să fie de tip închis, extinderea lor fiind posibilă numai cu produsele firmelor respective, ceea ce implică de regulă și costuri mai ridicate.

## 6.3 Influența perturbațiilor electro-magnetice asupra sistemelor de conducere a proceselor industriale

Trecerea de la sistemele de control și reglare mecanice și hidro-pneumatice, la sistemele moderne bazate pe componente electronice, a determinat și o creștere a sensibilității sistemelor de conducere a proceselor față de perturbațiile electro-magnetice din mediul industrial. Astfel au crescut și eforturile în direcția atenuării, respectiv a eliminării semnalelor parazite suprapuse semnalelor utile. Neexistând însă soluții general aplicabile, soluțiile optime sunt specifice fiecărui caz, fiind bazate în special pe experiență practică [12], [44].

Orice problema legată de perturbații electro-magnetice trebuie analizată pe trei nivele:

1. Sursa, respectiv cauzele perturbațiilor: motoare electrice, comutatoare, relee, transformatoare, rețele electrice de înaltă tensiune, comutatoare cu tiristori, emițătoare de înaltă frecvență, descărcări electrice, fulgere, vârfuri de curent și/sau de tensiune în rețelele de alimentare cu energie electrică.
2. Călea de transmitere a perturbațiilor, ce poate fi influențată de:
  - ⇒ câmpuri electrice (cuplare capacitivă),
  - ⇒ câmpuri magnetice (cuplare inductivă),
  - ⇒ câmpuri electro-magnetice (cuplare de înaltă frecvență),
  - ⇒ conductoare electrice (cuplare galvanică).
3. Receptorul perturbațiilor: amplificatoare, receptoare radio sau TV, calculatoare, dispozitive digitale de control și/sau reglare.

Semnalele perturbatoare sunt clasificate în 2 grupe principale:

- Semnale perturbatoare în fază cu semnalul-sursă, având frecvențe între 1 - 20 MHz. Ele sunt cele mai des întâlnite în practică și apar prin cuplarea capacitivă a conductoarelor electrice cu trasee paralele.
- Semnale perturbatoare în opoziție de fază cu semnalul-sursă, având frecvențe între 0,1 - 2 MHz.

### 6.3.1 Măsuri de protecție aplicate surselor de perturbații

Aceste măsuri sunt cele mai eficiente, dar și cele mai dificile de realizat, deoarece sursele perturbațiilor pot fi greu de localizat, în special în cazul rețelelor electrice de alimentare. O soluție ideală ar fi ecranarea sursei de perturbații într-o cușcă Faraday.

La motoarele electrice, se recomandă legarea în paralel cu circuitul de alimentare a unor filtre capacitive și/sau inserierea unor filtre combinate de tip LC. În cazul introducerii filtrelor inductive apar însă circuite oscilante, a căror frecvență proprie va trebuie să fie în afara domeniului de lucru al dispozitivelor de măsurare utilizate.

La controlul dispozitivelor cu proprietăți inductive, pentru limitarea vârfurilor de tensiune ce apar la cuplare/decuplare, se vor utiliza diode semiconductoare ce elimină (taie) tensiunea perturbatoare de la un anumit prag în sus.

La dispozitivele cu relee electrice se recomandă legarea în paralel cu circuitul de comutare a unui filtru de tip RC.

Stabilirea valorii optime a capacităților, inductivităților și rezistențelor utilizate în asemenea filtre este posibilă numai pe cale experimentală, necesitând astfel eforturi de implementare suplimentare.

### 6.3.2 Măsurile de protecție aplicate canalului de transmitere a perturbației

De regulă, se apelează la ecranarea conductorilor electrici, deoarece propagarea perturbațiilor se face cel mai des prin cuplarea capacitivă a cablurilor electrice. În acest caz se va realiza și o pământare a conductorului de ecranare, dar aceasta numai într-un singur punct, pentru a nu crea circuite parazite. Excepție face transmiterea semnalelor de înaltă frecvență, care pot fi legate la o masă comună. Dacă există mai multe surse de semnal, fiecare dintre ele va fi ecranată și legată separat la masă.

Pentru transmiterea semnalelor de frecvențe de până la 1 MHz se recomandă utilizarea cablurilor torsadate, care mai pot fi ecranate suplimentar. În cazul frecvențelor foarte înalte, până la 1 GHz, soluția ideală este folosirea cablului coaxial. La aceste două tipuri de cabluri, câmpurile magnetice se atenuează, respectiv se anihilează reciproc, protecția față de perturbații fiind realizată în mod eficient.

Se va evita legarea cablurilor într-un trunchi comun, aceasta crescând posibilitatea apariției cuplajelor capacitivă. Se recomandă folosirea cablurilor plate, la care între două conductoare active este plasat un conductor legat la masă. Dacă distanța de transmitere a semnalului digital este mare, se vor utiliza circuite de amplificare digitale pentru recondiționarea semnalului.

La circuitele imprimate, între căile active se vor stabili căi legate la masă, astfel reducându-se capacitățile parazite (până la 80%). Zonele cu folie conductoare se recomandă a fi cât mai mari posibil și ele legându-se la masă.

Pentru reducerea perturbațiilor produse de câmpurile magnetice, se recomandă următoarele măsuri generale:

- poziționarea receptorului de semnal cât mai departe de surse de câmp magnetic,
- poziționarea conductorilor electrici paralel cu liniile de câmp magnetic,
- minimizarea ariei închise de circuitele realizate de conductorii electrici și
- evitarea circuitelor parazite prin împământare în mai multe puncte.

În cazul perturbațiilor transmise prin cuplaj galvanic între conductorii electrici, la care perturbațiile sunt induse de regulă prin circuitul de alimentare, este esențială eliminarea vârfurilor de tensiune. Aceasta se face cel mai eficient prin filtre electronice (de tip  $\pi$ ) sau prin legarea în paralel cu circuitul de alimentare a unor condensatoare ceramice sau de tantal.

Pământarea se recomandă a se face separat pentru fiecare dispozitiv conectat, folosindu-se o structură în stea a cablurilor de pământare, iar dacă numărul de dispozitive e mare, se va adopta o soluție intermediară, prin pământarea în stea a trunchiurilor de cablu, la care sunt la rândul lor legate în serie dispozitivele electrice.

Cea mai sigură decuplare galvanică se realizează cu ajutorul dispozitivelor opto-cuploare, la care transmiterea semnalului este preluată de un cuplu format cu o foto-diodă și un foto-tranzistor. În unele cazuri se mai utilizează și relee electro-magnetice, care sunt însă mai puțin fiabile.



### 6.3.3 Măsurile de protecție aplicate receptorului de semnal

Măsurile ce se pot lua la receptorul de semnal perturbator sunt relativ puține. Practic aceste măsuri se reflectă în:

1. Ecranarea față de câmpurile electrice, prin realizarea unor carcase din material conductor sau prin utilizarea unor folii sau straturi conductoare (de aluminiu sau de cupru), ce se depun pe interiorul carcaselor.
2. Ecranarea față de câmpurile magnetice, utilizând la construcția carcaselor materiale cu permeabilitatea ridicată (oțel sau aliaje de oțel).
3. Aplicarea la intrarea receptorului a unor filtre de tip "trece-jos", care atenuează perturbațiile de frecvență ridicată. Deoarece, conform teoremei lui Nyquist, pentru o digitalizare corectă este necesar ca frecvența de eșantionare să fie cel puțin egală cu dublul frecvenței semnalului de măsurat, rezultă că filtrul "trece-jos" utilizat trebuie să atenueze substanțial semnalele cu frecvență dublă față de cea a semnalului de măsurat. Acest tip de filtru se numește filtru *anti-aliasing*, el împiedicând apariția fenomenului de *aliasing*, adică obținerea unui semnal digitalizat de formă diferită de semnalul de intrare, prin prelucrarea eșantioanelor de semnal provenind de la semnalele perturbatoare suprapuse semnalului util.

În aplicațiile practice s-au impus filtrele pasive de tip RC, filtre de ordinul I. Ieftine și ușor de executat, și care asigură o amortizare a semnalelor perturbatoare la un nivel de aproximativ 1% din valoarea inițială. Dimensionarea unui asemenea filtru se face cu relația:

$$f_{\text{lim}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}, \quad \text{unde:}$$

$\langle f_{\text{lim}} \rangle$  este frecvența limită (de tăiere) a filtrului,

$\langle R \rangle$  este rezistența (pasivă) a filtrului și

$\langle C \rangle$  este capacitatea condensatorului filtrului pasiv.

Practic, determinând  $\langle f_{\text{lim}} \rangle$  ca fiind dublul frecvenței maxime a semnalului de măsurat și stabilind valoarea rezistenței  $\langle R \rangle$  la aproximativ 10% din rezistența de intrare a plăcii de achiziție, pe baza formulei de mai sus, se calculează valoarea pentru capacitatea condensatorului din filtrul RC.

Deoarece în cazul filtrării semnalului de intrare, în special cu filtre de ordinul I., este atenuat și semnalul util, se impune recondiționarea semnalului după trecerea prin filtru, de regulă cu ajutorul unor circuite de tip *trigger Schmidt*. În unele cazuri se utilizează și filtre active, bazate pe amplificatoare operaționale, acestea fiind însă mai scumpe și producând și un zgomot de fond ce se suprapune semnalului util.

**Bibliografie:** [6], [12], [13], [20], [23], [25], [30], [32], [35], [36], [37], [38], [40], [41], [44], [47], [50], [51], [55], [56], [59], [63], [64], [69], [70], [72], [76], [80].

## **7 Asigurarea calității la procesele de dozare**

Prin utilizarea de sisteme computerizate pentru prelucrarea digitală a semnalelor de măsurare, sistemul de dozare devine 'inteligent', realizând conducerea proceselor de dozare cu precizie și siguranță mărită. Prin conectarea acestor dozatoare 'inteligente' la sistemul informatic al unității industriale, devine posibilă gestiunea în timp real a producției, precum și urmărirea și controlul permanent al calității produselor realizate.

Normele ISO 9000 - 9004, care stabilesc structura unui sistem de asigurarea a calității, au standardizat cerințele de calitate la nivelul unei firme [29], [70]. Astfel, pentru unitățile cu activități de producție, circuitul de asigurare a calității include următoarele domenii:

- marketingul și cercetarea pieții,
- specificațiile de produs și proiectarea,
- aprovizionarea cu materiale și materii prime,
- planificarea și proiectarea proceselor tehnologice,
- producția,
- controlul de calitate,
- ambalarea și depozitarea produselor,
- vânzarea și distribuția,
- montajul și utilizarea produselor,
- operațiunile de service și reparații,
- reciclarea și casarea produsului (integrală sau pe componente).

Definirea și aplicarea măsurilor de managementul calității se va face de către producător, pe baza principiilor stabilite prin respectivele norme, ținând cont și de aspectul economic al măsurilor de implementat.

În cadrul procesele industriale, dozarea materialelor în vrac poate avea loc în mod continuu sau discontinuu, criteriile de calitate fiind stabilite de unitatea producătoare sau, în multe cazuri, fiind impusă prin lege (de exemplu: în industria alimentară și cea farmaceutică). În condițiile în care sistemele de dozare volumetrice nu sunt suficient de precise, în practica industrială s-au impus dozatoarele cu cântar diferențial și dozatoarele-cântar cu bandă transportoare, datorită preciziei, fiabilității și a costurilor implicate de exploatarea lor.

Aspectele legate de asigurarea calității se regăsesc în toate domeniile procesului de producție, conform structurii de mai jos:

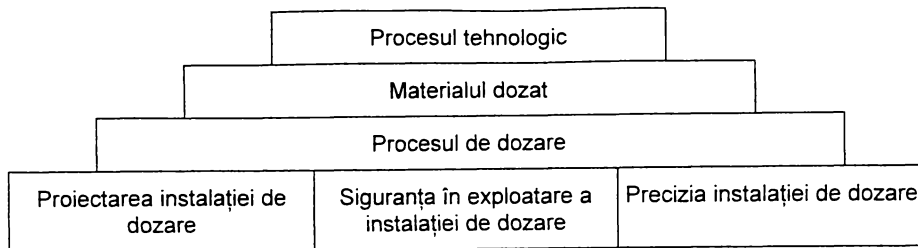


Fig. 7.1 - Nivelele de aplicare a controlului de calitate la procese de dozare

La nivelele inferioare, precizia este determinată în special de construcția mecanică și de dispozitivele electronice de control și reglare incluse în dozator, iar la nivelele superioare, calitatea este influențată de calculatorul de proces și programele utilizate.

### 7.1 Importanța etapei de proiectare în asigurarea calității procesului de dozare

De primă importanță la proiectarea instalațiilor de dozare este eliminarea, pe cât posibil, a perturbațiilor, ce pot fi transmise sistemului de măsurare prin mediul în care este amplasat acesta, precum și a perturbațiilor ce pot apărea datorită uzurilor din cadrul sistemului de dozare. În acest sens, etapele principale în proiectarea sistemelor de dozare sunt următoarele:

1. Analiza perturbațiilor posibile.
2. Eliminarea, respectiv compensarea, perturbațiilor prin măsuri constructive.
3. Detectarea perturbațiilor ce nu pot fi evitate.
4. Eliminarea cauzelor perturbațiilor.
5. Realizarea unei documentații complete pentru utilizatori.

Totodată, trebuie planificate și implementate măsurile de verificare a sistemului de dozare, măsuri stabilite pe baza necesităților obiective ale utilizatorilor sistemului de dozare, în funcție de cerințele impuse de procesul tehnologic și de costurile implicate. În unele cazuri sunt necesare încercări de laborator, pentru determinarea preciziei de dozare în situațiile specifice procesului de dozare analizat.

Pentru evitarea erorilor la deservirea sistemului de dozare, este necesar ca programele-aplicație utilizate la dispozitivele de comandă și pe calculatorul de proces să cuprindă:

- verificarea corectitudinii comenzilor și a datelor introduse de operator,
- sisteme de protecție față de utilizatori neavizați și/sau neautorizați,
- sisteme de asistență pentru operatorii sistemului și
- o proiectare ergonomică a interfeței om-mașină, care să simplifice înțelegerea și utilizarea sistemului.

Proiectarea ergonomică a interfeței om-mașină este foarte importantă, deoarece, din studiile efectuate rezultă că, aproximativ 60% din erorile de proces au la bază operarea greșită a sistemului de conducere a procesului.

## 7.2 Precizia de dozare

Precizia de dozare este determinată de cea mai mare abatere admisă a valorii reale a fluxului, respectiv a cantității de substanță dozată, în raport cu valoarea impusă. Precizia este o caracteristică calitativă a SDM, precum și o problemă de garanție a producătorului și a utilizatorului sistemului [70]. În tehnica de măsurare se definesc de regulă limitele de toleranță ale dispozitivelor, respectiv incertitudinea de măsurare a acestora.

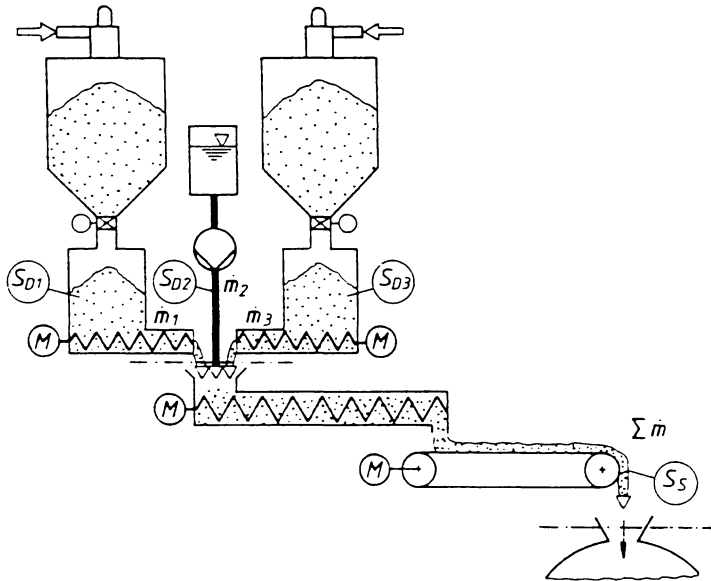


Fig. 7.2 - Localizarea erorilor într-un sistem de dozare

Notații:

< $S_{di}$ > - Erorile introduse de dozatoarele individuale ( $i = 1, 2, 3$ )

< $S_s$ > - Eroarea de dozare însumată (globală) a sistemului

Precizia de dozare se determină pe baza debitului masic la procesele de dozare continue și pe baza masei de substanță la procesele de dozare discontinue. Formulele de calcul ale preciziei de dozare relative sunt:

$$s_r = \frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}_0} \cdot 100\%, \quad \text{respectiv:} \quad s_r = \frac{\Delta m}{m_0} \cdot 100\%, \quad \text{unde:}$$

< $\dot{m}_0$ > reprezintă valoarea impusă pentru debitul masic de substanță dozată, iar

< $\Delta \dot{m}$ > este abaterea de la valoarea impusă a debitului masic de substanță dozată, respectiv:

< $m_0$ > reprezintă valoarea impusă pentru masa de substanță dozată, iar

< $\Delta m$ > este abaterea de la valoarea impusă a masei de substanță dozată.

Cauzele abaterilor de la valoarea impusă la dozare pot fi de diferite origini. Astfel, la instalațiile de dozare cu circuit de reglare, valoarea impusă se prescrie la dispozitivul de reglare sau de control. Eroarea globală ce poate apărea va fi determinată de:

- erori de măsurare,
- erori de reglare (prescriere) a valorii impuse,
- erori de transfer a datelor sau
- erori de funcționare ale dispozitivelor de reglare și control.

La instalațiile de dozare prin delimitare volumetrică, valoarea impusă este fixată pe baza liniilor caracteristice de calibrare ale instalației, ceea ce se poate realiza manual sau pe baza structurii hardware sau software a sistemului de automatizare. Ca urmare, cea mai mare pondere o are eroarea indusă de linia caracteristică de calibrare, urmată de eroarea de reglare a valorii impuse.

Pentru compararea preciziei de dozare sunt necesare normative, care să definească exact erorile și metodele lor de determinare. Deasemenea, trebuie ținut cont și de condițiile reale de producție și durata de realizare a măsurărilor.

Funcție de domeniul de reglare al dispozitivului de dozare, precizia se poate exprima în raport cu valoarea impusă corespunzătoare sau în raport cu valoarea maximă a domeniului de reglare, ceea ce poate determina deosebiri semnificative pentru precizia de dozare

Precizia de dozare se referă în mod normal la IDMV în sine, delimitarea făcându-se la zona de evacuare a materialului dozat. Cum însă la SDMV complexe apar și surse de erori externe ce influențează procesul de dozare, de interes practic este eroarea de dozare globală a sistemului utilizat.

### 7.2.1 Valoarea instantanee și valoarea medie

Fluxul de substanță dozată variază în timp, aleatoriu sau periodic. (De exemplu, la instalațiile de dozare bazate pe delimitarea volumetrică, variația fluxului de dozare este periodică, determinată funcțional.)

Practic, valoarea medie pentru debitul, respectiv cantitatea de material dozat, se obține prin însumarea valorilor instantanee măsurate într-un interval de timp prestabilit ( $\Delta t = t_1 - t_2$ ), după următoarea formulă:

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^z \dot{m}_i}{z}, \quad \text{unde:}$$

$\bar{m}$  reprezintă valoarea medie a debitului masic pe intervalul de timp considerat,

$\dot{m}_i$  reprezintă valorile instantanee pentru debitul masic, iar

$z$  reprezintă numărul de măsurători efectuate în intervalul de timp considerat, cu:  $i = 1, z$ .

Astfel, valoarea medie este dependentă de intervalul de timp stabilit pentru desfășurarea procesului de măsurare. Cu cât acest interval de timp este mai mic, cu atât valoarea medie este mai apropiată de valoarea instantanee, valoare ce la unele dispozitive de dozare poate varia de la zero la valoarea maximă (de exemplu: la dozatoarele cu piston). Peste variațiile periodice ale debitului masic se vor suprapune variații aleatorii. De aceea, mai ales la

procedeele de dozare cu caracter discontinuu, pentru măsurători se va alege o bază de timp suficient de mare.

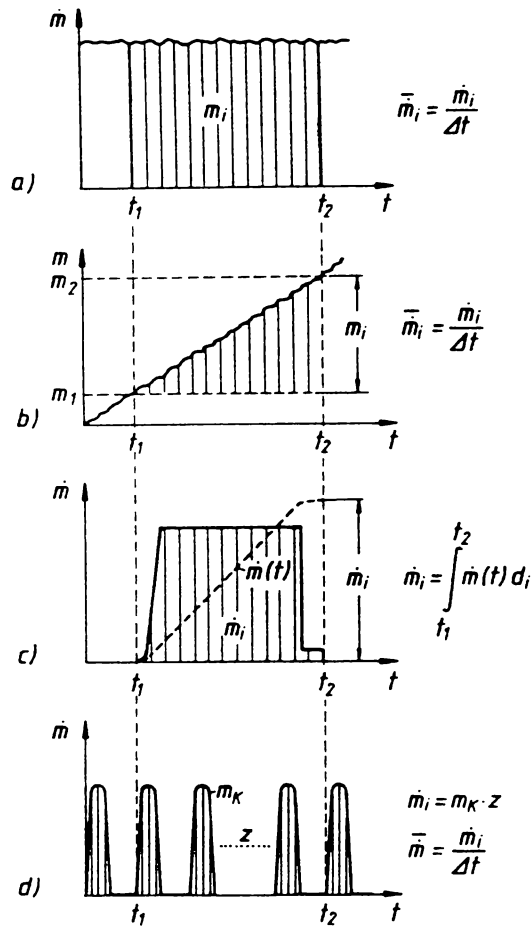


Fig. 7.3 - Delimitarea măsurătorilor individuale pentru calculul valorii medii a cantității, respectiv a fluxului de material dozat:

- a.) Delimitare prin procedee mecanice
- b.) Delimitare programată (automatizată)
- c.) Delimitare pe șarjă, în mod discontinuu
- d.) Delimitare temporală, prin controlul șarjelor

### 7.2.2 Surse de eroare la dozare

Pentru a se putea efectua comparații relevante între performanțele diferitelor sisteme de dozare, este necesar a se stabili metode unitare de verificare a acestora.

Eroarea de dozare - în formă absolută sau relativă - exprimă abaterea cantității, respectiv a debitului de material dozat de la valoarea impusă, în timp ce constanța dozării reprezintă abaterea față de valoarea medie reală a cantității, respectiv a debitului de material dozat.

Factorul decisiv într-un proces de dozare - eroarea de dozare sau constanța dozării - este determinat de scopul procesului de dozare, care în final va determina calitatea produsului obținut. Dacă procesul de dozare servește la obținerea unor amestecuri de substanțe sau la reacții stoichiometrice, atunci esențială este precizia de dozare, determinată de eroarea de dozare. Dacă în schimb procesul de dozare servește unui proces tehnologic, care necesită fluxuri de substanță constante în timp, atunci esențială este constanța dozării, abaterile de la valoarea medie fiind compensate printr-o reglare corespunzătoare.

La instalațiile de dozare prin delimitare volumetrică fără măsurare, eroarea de dozarea se determină pe baza liniei caracteristice de calibrare.

Trebuie ținut cont însă și de eroarea de reglare a valorii impuse, care intră și ea în componența erorii de dozare globale a sistemului. Și modul de stabilire a mărimii de reglare, (exprimată prin: turație, deplasare, numărul de cicluri sau un interval de timp) poate fi o sursă de erori [70], [82]. Eroarea de reglare se determină pe baza reproductibilității proceselor de dozare, verificându-se constanța dozării prin încercări în condiții identice, la care însă valoarea impusă este reglată din nou, la fiecare încercare.

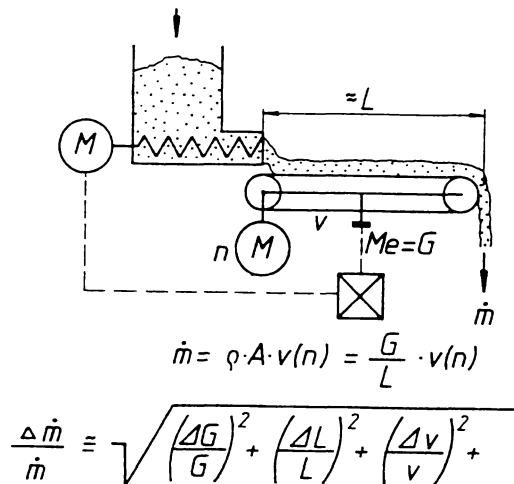


Fig. 7.4 - Surse de eroare la dozare, în cazul dozatoarelor-cântar cu bandă transportoare  
Notății:

- <G> - Greutatea benzii transportoare încărcate cu material în vrac
- <L> - Lungimea benzii încărcate cu material în vrac
- <A> - Aria secțiunii stratului de material în vrac
- <n> - Turația motorului de antrenare
- <v> - Viteza de deplasare a benzii transportoare
- <ρ> - Densitatea (reală) a materialului în vrac

Eroarea de dozare va fi determinată preponderent de:

- ⇒ eroarea de cântărire a materialului în vrac,
- ⇒ eroarea de stabilire a lungimii de încărcare a benzii și
- ⇒ eroarea de măsurare a vitezei reale de deplasare a benzii transportoare.

Dacă instalația de dozare cuprinde și dispozitive și echipamente conexe (de exemplu: tuburi și dispozitive de transport), care pot fi sursa unor erori suplimentare, atunci se va calcula

eroarea globală a sistemului de dozare, eroare ce va fi diferită de eroarea de dozare a dispozitivului de dozare propriu-zis.

După ce toate sursele de eroare au fost analizate într-un anumit interval de timp, se va determina eroarea globală a SDM pe acel interval de timp și se va nota ca atare, precizându-se baza de timp aleasă la verificare.

În general, intervalul de timp în care se execută măsurătorile de verificare va fi ales suficient de lung, respectiv conform cerințelor impuse de procesul tehnologic analizat. Influențele de lungă durată, precum cele determinate de fenomenele de uzură și de oboseală, nu pot fi însă determinate prin asemenea experimente.

### **7.2.3 Baza de timp și determinarea erorilor de dozare**

Baza de timp, aleasă pentru verificarea proceselor de dozare continue, este determinată atât de condițiile impuse de procesul tehnologic, cât și de metodele de măsurare ale fluxului de substanță.

Majoritatea proceselor de dozare permit baze de timp de 1 - 10 minute, respectiv de 100 - 1000 de impulsuri ale fluxului de dozare. Procesele rapide, cu timpi de stabilizare mici, impun însă baze de timp reduse: 15 secunde sau chiar mai puțin.

De exemplu, pentru un dozator cu bandă transportoare, baza de timp va fi minim egală cu o perioadă de rotire a benzii. Dacă fluxul de substanță dozată, după o anumită rețetă, variază periodic, atunci eroarea de dozare determinată va crește odată cu scăderea bazei de timp. Dacă pulsația fluxului este determinată funcțional, pentru creșterea preciziei de realizare a amestecurilor de substanță se impune sincronizarea bazei de timp cu aceste pulsații.

Metoda de verificare aleasă influențează și ea baza de timp, deoarece măsurarea masei, respectiv a volumului de substanță dozată, precum însăși determinarea bazei de timp sunt supuse unor anumite precizii de măsurare, care trebuie să fie superioare preciziei dispozitivului de dozare verificat.

La măsurătorile de verificare, delimitarea masei de substanță din fluxul dozat poate fi realizată discontinuu, utilizând elemente de control ca de exemplu ventile sau canale de deviere a fluxului sau continuu, pe baza unor programe de control utilizând procese de umplere sau de extragere automate. La procesele discontinue baza de timp va corespunde cu durata procesului de dozare verificat.

Determinarea bazei de timp poate fi realizată simplu și precis, dacă se utilizează dispozitive de măsurare electronice având frecvențe de măsurare ridicate (de aproximativ 50 ms). În comparație, sistemele mecanice de determinare a bazei de timp introduc erori de până la de 10 ori mai mari.

Determinarea erorii de dozare necesită dispozitive și instalații de verificare, a căror amplasare și funcționare trebuie avută în vedere deja din faza de proiectare a sistemului de dozare. În general, pentru materiale în vrac se utilizează cântare aditive (sumatoare) sau buncăre de verificare. Pentru lichide se mai folosesc suplimentar și dispozitive de măsurare a nivelului de lichid sau dispozitive calibrate de măsurare comparativă a debitului.

Dacă baza de timp este mică, se impune stocarea substanței dozate pe benzi, urmând a se face ulterior delimitarea și verificarea cantităților de substanță dozată. Metoda presupune eforturi suplimentare, dar duce la obținerea unor date exacte privind eroarea de măsurare pe intervale de timp scurte.



La procedeele de dozare discontinue, dispozitivul de control al dozării stabilește durata șarjei de dozare, precizia de dozare fiind determinată de precizia etapelor de dozare brută și fină. În acest caz, modul de delimitare al verificărilor individuale este esențial pentru stabilirea erorii de dozare globale.

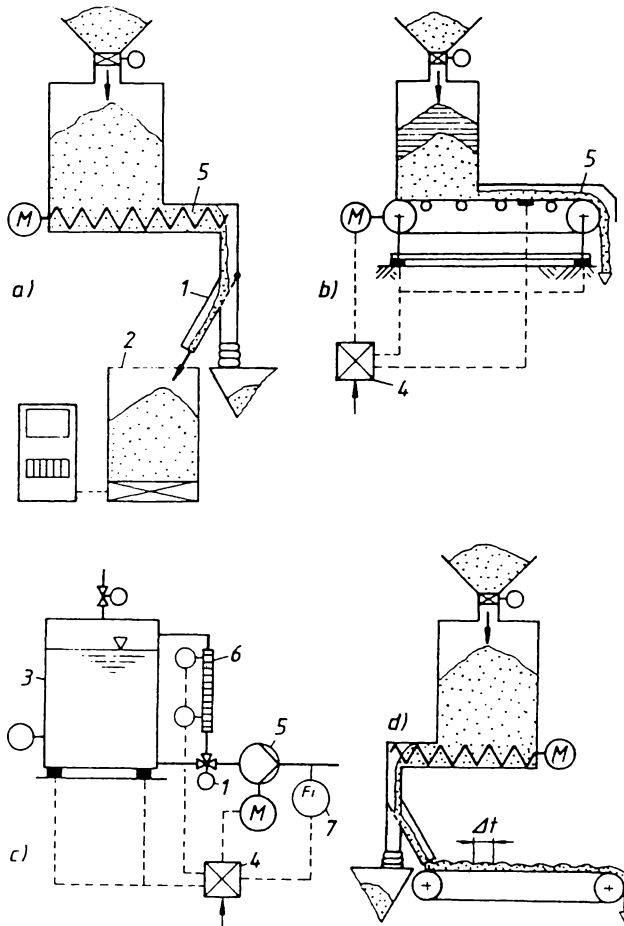


Fig. 7.5 - Instalații de măsurare și verificare pentru procesele de dozare:

a.) Dozator cu melc și cântar de verificare aditiv

b.) Dozator cu bandă transportoare și depozit de verificare

c.) Dozator pentru fluide, cu verificarea volumului, debitului și cântărirea masei de fluid dozat

d.) Dozator cu melc și bandă de verificare a materialului dozat

Notații:

1 - Derivație/Ventil

2 - Recipient de stocare

3 - Rezervor/Depozit

4 - Regulator

5 - Element de dozare

6 - Control volum

7 - Control flux

## 7.2.4 Analiza și evaluarea erorilor de dozare

Prin observații practice s-a constatat că, eșantionul de valori măsurate are o distribuție aproximativ normală [70]. Astfel, pentru calculul erorilor se pot utiliza metodele statistice folosite pentru distribuția normală.

Abaterile de la distribuția normală sunt determinate de erori sistematice suplimentare ale SDM. De exemplu, dacă fluxul de dozare variază în intervalul de observare între două valori medii (datorită unor neregularități în curgerea materialului), atunci și distribuția valorilor măsurate va prezenta două vârfuri. Dacă la MDMV cu melc apar pulsații periodice la dozare, peste distribuția normală se va suprapune o oscilație. Deformarea distribuției normale este un indiciu pentru existența unor erori în sistemul de dozare, deci un semnal pentru pornirea unor analize ale surselor de eroare și corectarea acestora.

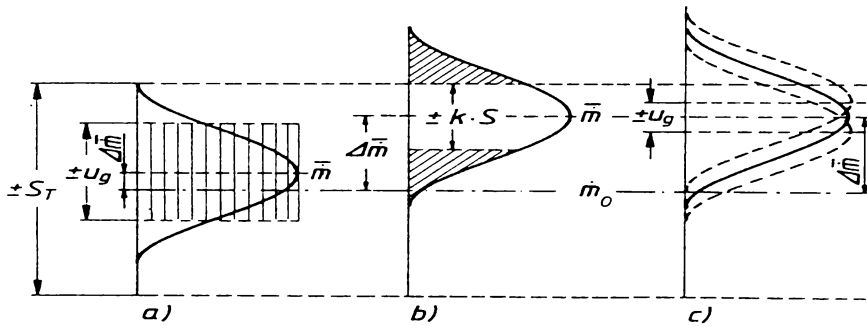


Fig. 7.6 - Precizia și constanța de dozare în cadrul procesele de dozare:

a.) Domeniul de siguranță  $\langle \pm U_g \rangle$ , al valorii medii a fluxului de material dozat, este cuprins între limitele de toleranță  $\langle \pm S_T \rangle$ , impune preciziei de dozare. În acest caz, operațiunile de calibrare și ajustare a dispozitivelor de măsurare trebuie efectuate odată pentru întreg domeniul de lucru.

b.) Constanța dozării este factorul principal, abaterile de la valoarea medie a fluxului de material dozat fiind eliminate prin intermediul unor circuite de reglare automate. În asemenea cazuri, probabilitatea statistică  $\langle P \rangle$  se alege între 68 - 95% (corespunzând la una, respectiv două abateri standard). Se vor efectua cel puțin 10 măsurători pentru ca valorile statistice calculate să reflecte cât mai fidel realitatea.

c.) Valorile determinate pentru fluxul mediu de material dozat se regăsesc între limitele de toleranță corespunzătoare probabilității statistice alese.

## 7.2.5 Precizia de dozare și durata proceselor tehnologice

Datele privind precizia de dozare nu includ de regulă determinări legate de funcționarea pe durată îndelungată a SDM, verificările făcându-se pe durate de ordinul a câtorva ore. SDM sunt supuse însă, în timp, uzurii și fenomenelor de oboseală, ceea ce determină creșterea erorii de dozare, eroare ce va trebui determinată și corectată periodic.

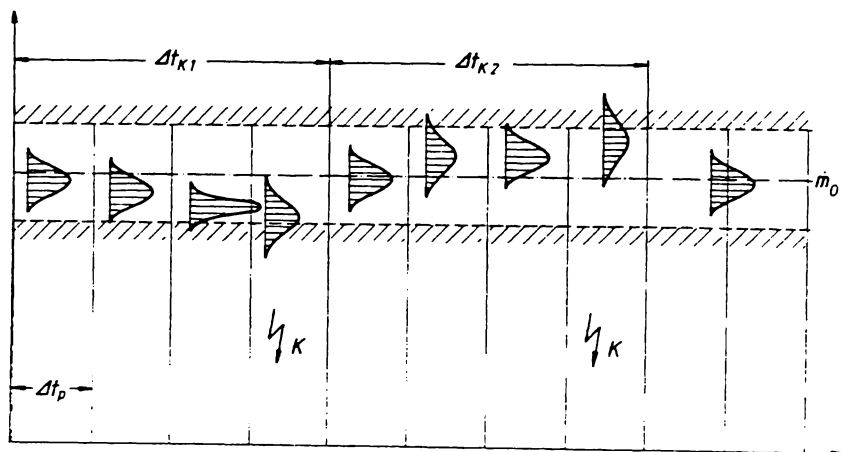


Fig. 7.7 - Evoluția în timp a erorilor de dozare și ciclurile de calibrare:

Notații:

$\langle \Delta t_p \rangle$  - Perioada de timp între două verificări periodice

$\langle \Delta t_{K_i} \rangle$  - Perioada de timp între două calibrări ale dozatorului

$\langle K \rangle$  - Operațiune de calibrare

## 7.3 Metode practice de creșterea siguranței în exploatare și a calității produselor la SDMV conduse de calculator

### 1. Sisteme redundante

Cazul clasic la sistemele redundante este utilizarea mai multor surse de furnizare a semnalelor de intrare. Aceste semnale sunt apoi comparate, făcându-se analize de plauzibilitate a valorilor măsurate, pe această cale stabilindu-se valoarea corectă pentru semnalul de intrare. Totodată, periodic se va efectua calibrarea, respectiv ajustarea sistemelor de dozare cu mase etalon sau cu fluxuri determinate de material.

### 2. Prognoza întreținerii sistemului de dozare

La SDMV controlate de calculator, pe baza datelor de proces istorice, se poate realiza o diagnoză monocausală a posibilelor surse de perturbații, pe această cale fiind posibilă și prognoza operațiunilor de service. Metoda este eficientă în special la diagnoza comportamentului elementelor mecanice ale unui SDMV, acestea fiind cele mai predispuse la uzură.

### 3. Supravegherea dispozitivelor conexe dozatorului

Abaterile de la funcționarea normală ale dispozitivelor conexe dozatorului, precum și ale dispozitivele de alimentare cu material în vrac, pot fi supravegheate în mod eficient de către sistemul de control și reglare al dozatorului, fiind astfel posibilă compensarea acestor abateri și prognoza operațiunilor de întreținere și de reparații.

Situația cea mai des întâlnită este supravegherea deschiderii, respectiv a închiderii corecte a clapetei de obturare a depozitului de material situat de-asupra depozitului-cântar. În caz că această clapetă nu funcționează corect, semnalul furnizat de celulele de cântărire va fi alterat. De aceea se controlează atingerea de către clapetă a pozițiilor extreme impuse și staționarea în aceste poziții pe perioadele de timp prestabilite.

### 7.3.1 Conducerea statistică a proceselor de dozare

Prin tehnica Statistical Process Control (SPC), care analizează datele de intrare după modele statistice, se pot obține precizii de dozare mai bune de 0,5%.

În acest scop, se calculează valoarea medie a debitului masic a fluxului de material dozat pe un interval de timp prestabilit, precum și diferențele acestei medii față de limita superioară, respectiv inferioară stabilită pentru acel proces de dozare. Limitele superioară și inferioară ale benzii de siguranță sunt stabilite independent de natura procesului de dozare, pe baza calității impuse produsului de obținut. Dacă valoarea medie pentru debitul masic părăsește intervalul de siguranță stabilit, atunci se consideră că a apărut o perturbație majoră în funcționarea SDMV, perturbație ce va fi identificată ca atare și eliminată automat sau cu ajutorul operatorului uman.

Pe baza valorilor măsurate se realizează o fișă de calitate a dozatorului, care, împreună cu informațiile obținute la fața locului de către un verficator (*auditor*) în sistemul de calitate, sunt utilizate în analiza procesului de producție. Astfel se pot identifica și elimina cauzele eventualelor abateri semnalate.

Această metodă de analiză statistică a fost utilizată deja cu ani în urmă la dozatoarele-cântar, pentru stabilirea preciziei și constanței dozării, fiind impusă în ramurile industriale în

care procesul de dozare era supus normativelor legale (industria alimentară și cea farmaceutică).

Verificarea dozatoarelor se poate face:

- a.) On-line, atunci când măsurătorile de verificare au loc în timpul desfășurării procesului. (Metoda aplicată de regulă în cazul dozatoarelor-cântar cu bandă transportoare.)
- b.) Off-line, atunci când măsurătorile de verificare au loc în condițiile în care procesul de dozare propriu-zis este oprit. (Metoda aplicată de regulă în cazul dozatoarelor-cântar.)

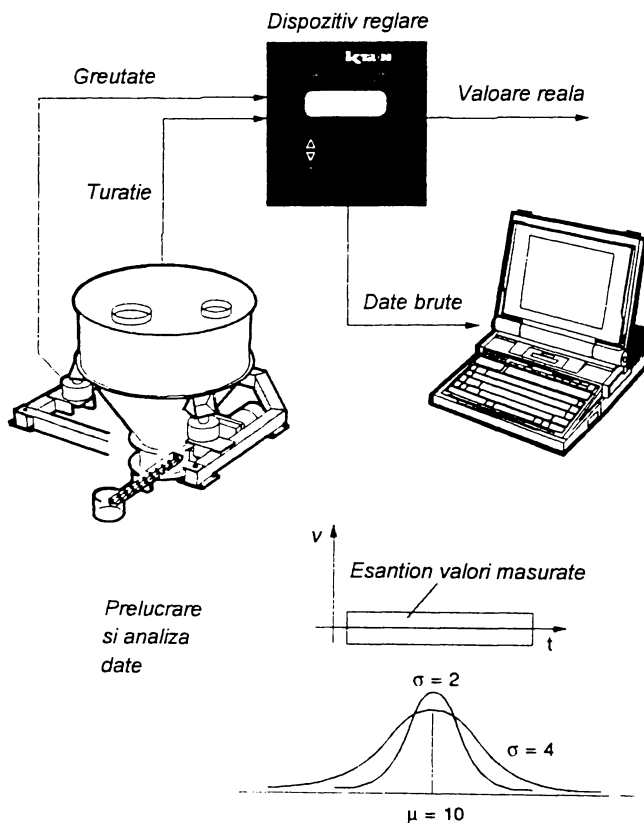


Fig. 7.8 - Sistem de verificare on-line a unui sistem de dozare

Deoarece cântarul este considerat instrument de verificare conform normelor ISO-9000, cântarele de verificare trebuie la rândul lor controlate cu greutateți etalon, pentru ca rezultatele procesului de auditare (verificare) să fie acceptate.

**Bibliografie:** [5], [12], [13], [29], [30], [37], [35], [48], [52], [55], [63], [70], [72], [75], [76].

## **8 Implementarea conducerii optimizate a SDMV cu ajutorul limbajelor de programare de nivel înalt**

Limbajele de programare de nivel înalt, bazate pe Pascal/Delphi, C/C++ sau Basic, permit elaborarea aplicațiilor în cadrul unor medii de dezvoltare integrate (*Integrated Development Environment*). Asemenea medii de dezvoltare includ în mod uzual următoarele componente:

- Un editor de text (*editor*), cu modul de corecție a erorilor de sintaxă, în care se scrie programul-sursă.
- Biblioteci de variabile predefinite, constante, funcții și proceduri 'prefabricate' (*libraries*), ce se pot integra în propriile programe.
- Un asistent de testare a aplicațiilor realizate (*debugger*), pentru localizarea și corectarea erorilor programului realizat.
- Un compilator (*compiler*), care generează programul executabil din programul-sursă și integrând bibliotecile utilizate.
- Un organizator de proiecte (*project manager*), pentru supravegherea componentelor aplicației realizate.
- Un sistem de ajutor (*online help*) și un tutorial de instruire a utilizatorilor.
- Un modul pentru realizarea automatizată copiilor de distribuție a aplicației realizate.

Avantajul major al realizării aplicațiilor cu limbaje de nivel înalt îl reprezintă activitatea de programare mai flexibilă și mai rapidă. Totodată, utilizând limbaje de nivel înalt ce au versiuni implementate pe diferite platforme hardware, se poate obține și o importantă economie de timp și de forță de muncă, la portarea aplicației pe sisteme bazate pe un alte tipuri de procesoare, facilitate inexistentă în cazul programării aplicației exclusiv în limbaj de asamblare.

Dezavantajele principale, de care trebuie ținut cont la utilizarea limbajelor de nivel înalt, sunt următoarele:

- Executabilul obținut este relativ mai lent și necesită mai multă memorie de lucru decât cel obținut prin programarea în limbaj de asamblare.
- Unele funcții speciale ale procesoarelor nu pot fi accesate direct, deci nu pot fi utilizate în mod optim, decât prin intermediul limbajului de programare nativ al procesorului.

Aceste dezavantaje se regăsesc în special în cazul programelor de control a dispozitivelor periferice (*driver*), respectiv ale microcontrolerelor. Limbajele de nivel înalt moderne au însă integrate compilatoare performante, care diminuează ponderea acestor dezavantaje în raport cu programele realizate exclusiv în limbaj de asamblare (soluție rar utilizată în prezent).

La aplicațiile la care timpul de execuție este elementul critic, precum și la cele de control ale dispozitivelor periferice, deci și în domeniul achizițiilor de date, soluția de compromis utilizată constă în integrarea de subprograme scrise în limbaj de asamblare în programele realizate cu limbaje de programare de nivel înalt.

## 8.1 Integrarea de subprograme în limbaj de asamblare în aplicații realizate cu limbaje de nivel înalt

Deoarece scrierea programelor în limbaj de asamblare este complexă și necesită mult timp, în special în cazul implementării unor operații matematice complexe, limbajele de asamblare se utilizează de regulă numai pentru realizarea secvențelor de program ce trebuie să fie executate cu viteză maximă, în speță pentru transferul datelor de la și spre dispozitivele periferice. Operațiunile de prelucrare a datelor, analiza lor, procesele de decizie și afișarea informațiilor în cadrul sistemelor de control și reglare computerizată se realizează de regulă în limbaje de nivel înalt.

Subprogramele în limbaj de asamblare astfel integrate pot executa operații prestabilite, cu sau fără returnare de parametri către programul apelant. Returnarea parametrilor este o operațiune mai complexă, deoarece trebuie ținut cont de compatibilitatea tipurilor de date transferate între limbajul de asamblare și limbajul de nivel înalt.

Transferul datelor între programul apelant și subprogramul apelat se poate face prin:

1. Transferul datelor prin intermediul regiștrilor procesorului (metoda mai rar utilizată).
2. Transferul datelor prin intermediul stivei (*stack*), care se poate realiza prin [2]:
  - ⇒ Transferul datelor prin valoare (*call by value*), la care depunerea, respectiv extragerea parametrilor transferați se face direct în și respectiv din stivă. În acest caz, parametrii transferați se vor numi parametri de tip valoare.
  - ⇒ Transferul datelor prin referință la acestea (*call by reference*), când pe stivă se depun, respectiv se extrag adresele de memorie la care se găsesc parametrii de transferat. În acest caz, parametrii transferați se vor numi parametri de tip variabilă.

La prima metodă, mărimea datelor (în biți) variază funcție de tipul acestora, în cel de al doilea caz, mărimea datelor din stivă fiind constantă și egală cu mărimea adresei de memorie transferate.

Subprogramele scrise în limbaj de asamblare pot fi realizate sub forma unei proceduri (*procedure*) sau direct în cod mașină (*inline*), soluție practică numai în cazul secvențelor scurte de limbaj de asamblare.

Limbajele de nivel înalt precum (Turbo) Pascal și Visual Basic permit și realizarea unor subprograme numite funcții (*function*), care returnează un singur parametru de tip valoare. Aceste funcții pot fi utilizate la citirea datelor obținute de la dispozitivele periferice, care de regulă furnizează date în format de 8 sau 16 biți.

## 8.2 Programarea comunicației cu dispozitivele periferice

Programele de comunicație cu dispozitivele periferice, numite *driver*, asigură transferul informațiilor de control și a datelor între procesorul central și respectivele dispozitive [78]. De regulă, acest transfer de informații se face prin intermediul unor interfețe software standardizate, permițându-se astfel utilizarea dispozitivului de către mai multe aplicații, în mod succesiv sau simultan. În unele cazuri, din motive de mărire a performanței, driverele se pot integra direct în programele globale de control și reglare.

Comunicația dintre procesorul calculatorului și dispozitivele periferice se face prin intermediul unor așa-numite *porturi*, care sunt zone de memorie cu o adresă specifică (diferită de zonele memoriei de lucru a sistemului). De aceea, pentru adresarea unui port corespunzând unui

anumit dispozitiv există instrucțiuni specifice, atât în limbajul de asamblare, cât și în limbajele de nivel înalt.

La instalarea unei plăci de achiziție a datelor într-un calculator, trebuie verificat faptul, ca zona de adrese a portului de comunicație să nu se suprapună cu zona de adrese a altor dispozitive periferice, în caz contrar sistemul funcționând incorect sau blocându-se. În cazul unui potențial conflict, se vor modifica adresele porturilor dispozitivelor, astfel încât acestea să nu se suprapună. Această operațiune se efectuează prin intermediul unor microcomutatoare (*jumper*) prezente pe plăcile de interfață a dispozitivelor sau prin intermediul programelor de instalare furnizate de producătorii dispozitivelor periferice.

Determinarea adresei porturilor și analiza potențialelor conflicte se face pe baza documentației furnizate de producătorii dispozitivelor periferice, cu tabele de comparație sau utilizând programe speciale de control și analiză a hardwareului, care verifică și situația liniilor de întrerupere (IRQ) și a canalelor de transfer direct la memorie (DMA).

### 8.3 Programarea porturilor în limbaj de asamblare la procesoarele compatibile Intel 80x86

În limbajul de asamblare al procesoarelor compatibile 80x86, comunicația cu porturile se face direct, prin adresele cuprinse între 000H și 0FFH. În acest scop se folosesc instrucțiunile <IN> și <OUT>, specifice mărimii datelor transferate (8 sau 16 biți) și în funcție de adresa portului, după cum se prezintă în continuare [1], [13], [40].

Observație: Toate adresele porturilor se vor exprima în cod hexazecimal.

adresa_port + 1	adresa_port
Registru AH (8 biți)	Registru AL (8 biți)
Registru AX (16 biți)	

Tab. 8.1 - Structura unui registru de 16 biți (<AX>) la un procesor de tipul 80x86

- Citire byte la un port:  
IN AL,adresa\_port  
unde <AL> este registrul ce va stoca valoarea pe 8 biți citită de la adresa <adresa\_port>, după executarea instrucțiunii <IN>.
- Citire cuvânt (word) la un port:  
IN AX,adresa\_port  
unde <AX> este registrul ce va stoca valoarea pe 16 biți citită de la adresele <adresa\_port> (stocată în <AL>) și respectiv <adresa\_port + 1> (stocată în <AH>), după executarea instrucțiunii <IN>.
- Scriere byte la un port:  
OUT adresa\_port,AL  
unde <AL> este registrul ce stochează valoarea pe 8 biți ce va fi scrisă la portul cu adresa <adresa\_port>, după executarea instrucțiunii <OUT>.
- Scriere cuvânt (word) la un port:  
OUT adresa\_port,AX



unde <AX> este registrul ce stochează valoarea pe 16 biți ce va fi scrisă la port după executarea instrucțiunii <OUT>. La adresa <adresa\_port> se scrie valoarea din <AL>, iar la <adresa\_port + 1> valoarea din <AH>.

Deoarece procesoarele 80x86 pot accesa prin instrucțiunile <IN> și <OUT> numai porturi având adresa de 8 biți, pentru dispozitivele periferice ce au adresele porturilor în spațiul cuprins între 100H și 3FFH este necesar un artificiu de programare. Adresa portului ce se accesează se va scrie mai întâi în registrul <DX>, după care se execută instrucțiunea <IN> respectiv <OUT>, în locul adresei portului înscriindu-se denumirea registrului ce conține adresa, respectiv <DX>. Aceasta metodă de comunicație cu porturile se numește apel prin referință (*call by reference*).

- Citire byte de la un port cu adresa de bază peste 100H:

```
MOV DX,adresa_port
IN AL,DX
```

unde <DX> este registrul ce stochează adresa pe 16 biți a portului accesat, iar <AL> este registrul pe 8 biți ce va conține valoarea de la adresa portului, după executarea instrucțiunii <IN>.

- Scriere byte la un port cu adresa de bază peste 100H:

```
MOV DX,adresa_port
MOV AL,valoare_byte
OUT DX,AL
```

unde <DX> este registrul ce stochează adresa pe 16 biți a portului accesat, iar <AL> este registrul pe 8 biți ce memorează valoarea ce va fi scrisă la adresa portului, după executarea instrucțiunii <OUT>.

- Scriere cuvânt (word) la un port cu adresa de baza peste 100H:

```
MOV DX,adresa_port
MOV AX,valoare_word
OUT DX,AL
```

unde <DX> este registrul ce stochează adresa pe 16 biți a portului accesat, iar <AX> este registrul pe 16 biți ce memorează valoarea ce va fi scrisă la adresa portului. După executarea instrucțiunii <OUT>, la adresa <adresa\_port> se regăsește valoarea din primii 8 biți (inferiori) ai registrului <DX>, iar la adresa <adresa\_port + 1> se regăsește valoarea din ultimii 8 biți (superiori) ai registrului <DX>.

Procesoarele din clasa 80386 sau mai mare permit lucrul cu cuvinte duble (*double word*), pe 32 de biți, prin intermediul regiștrilor extinși (de exemplu <EAX>). Programarea comunicației pe 32 de biți se face în mod similar exemplurilor de mai sus, fiind însă mai rar folosită în cazul dispozitivelor de achiziție a datelor, care utilizează de regulă comunicația pe 16 biți.

## 8.4 Soluții de comunicare directă cu porturile în Pascal

Operațiile de citire, respectiv de scriere a unui port se fac cu instrucțiuni specifice tipului de date transferat (8 sau 16 biți), prin specificarea adresei sale în cod hexazecimal. Variabila ce va stoca datele citite, respectiv scrise trebuie declarată de un tip corespunzător portului accesat, care poate furniza, respectiv cere date pe 8 sau 16 biți.

Operațiunile ce se pot realiza asupra unui port în Turbo Pascal sunt specificate de instrucțiunile (nedocumentate) prezentate mai jos:

- Citire byte la un port:  
 conținut\_port\_byte := Port[\$adresa\_port];  
 unde <conținut\_port\_byte> este variabila ce va stoca valoarea pe 8 biți citită de la adresa <\$adresa\_port>, după executarea instrucțiunii <Port[ ]>.
- Citire cuvânt (word) la un port:  
 conținut\_port\_word := PortW[\$adresa\_port];  
 unde <conținut\_port\_word> este variabila ce va stoca valoarea pe 16 biți citită de la adresele <\$adresa\_port> și respectiv <\$adresa\_port + 1>, după executarea instrucțiunii <PortW[ ]>.
- Scriere byte la un port:  
 Port[\$adresa\_port] := conținut\_port\_byte;  
 unde <conținut\_port\_byte> este variabila ce stochează valoarea pe 8 biți ce va fi scrisă la adresa <\$adresa\_port>, după executarea instrucțiunii <Port[ ]>.
- Scriere cuvânt (word) la un port:  
 PortW[\$adresa\_port] := conținut\_port\_byte;  
 unde <conținut\_port\_byte> este variabila ce stochează valoarea pe 16 biți ce va fi scrisă la adresele <\$adresa\_port> și <\$adresa\_port + 1>, după executarea instrucțiunii <PortW[ ]>.

## 8.5 Exemplu de programare a achiziției de date de la game-port

*Game-portul* realizează interfața hardware spre un convertor analog-digital intern al calculatorului, fiind prezent în configurația majorității calculatoarelor compatibile IBM-PC (tip AT sau mai nou). Convertorul dispune de 4 canale analogice și 4 canale digitale, accesibile prin portul cu adresa 201H.

Un exemplu de programare a achiziției de date prin game-port [72], [73], scris în limbajul de asamblare al procesoarelor 80x86 și integrat într-o procedură Turbo Pascal, este prezentat mai jos:

...

```

var    v: integer;                (* declarație globală pentru variabila ce va stoca cea
                                  mai recentă valoare achiziționată *)

procedure achiziție_date;near;
label ag;
begin
    asm                            (* începutul secvenței de program în limbaj de
                                  asamblare *)
        mov dx,201h                (* inițializarea comunicației cu game-portul *)
        out dx,al
        in al,dx
        mov cx,-1                  (* inițializare contor *)
        cli                        (* dezactivare întreruperi *)
    ag:  in al,dx                   (* citire port, în buclă de program *)
        inc cx                      (* incrementare contor *)
        test al,1                  (* verificarea modificării valorii nou citite...*)
        jnz ag                     (* ... dacă valoarea citită nu s-a modificat, se reia
                                  execuția buclei *)

```

```
sti (* reactivare întreruperi *)
mov [v],cx (* scrierea valorii contorului în locația de memorie a
variabilei <v> *)
end; (* încheierea secvenței de program în limbaj de
asamblare *)
```

end;

În mod similar se poate programa achiziția datelor și pentru celelalte canale. Pentru informații suplimentare pe aceasta temă se face trimitere la *Lucrarea de Diplomă [72]* a autorului.

## 8.6 Programarea aplicațiilor de control și reglare a proceselor prin tehnica instrumentelor virtuale

Tehnica instrumentelor virtuale (*Virtual Instrument - VI*) a fost prezentată de către firma americană "National Instruments" în 1986, având la bază programul-aplicație "LabVIEW" [50].

Prin introducerea acestui concept a fost posibil ca specialiști din diferite domenii, fără cunoștințe profunde de programare, să poată realiza sisteme performante de control și reglare a unor procese complexe. Cu ajutorul așa-numite instrumente virtuale se pot dezvolta sisteme flexibile și ergonomice, bazate pe dispozitive de proces realizate pe cale software.

Proiectarea unui sistem de control și reglare cu instrumente virtuale presupune realizarea, în mediul de dezvoltare "LabVIEW", a diagramei de flux informațional a sistemului dorit. Prin poziționarea pe suprafața de lucru unor ideograme reprezentând diverse instrumente și dispozitive virtuale sau blocuri de operații matematice, se definesc componentele sistemului virtual, iar prin trasarea unor legături ce combină aceste elemente se va stabili fluxul informațional în cadrul sistemului.

Pe baza acestei scheme, "LabVIEW" va genera programul propriu-zis (în limbajul C), ce va controla placa de achiziție a datelor, efortul depus de specialist fiind cu mult redus, el orientându-se spre analiza procesului, și mai puțin spre programarea aplicației, respectiv a interfeței prin intermediul căreia se va realiza supravegherea procesului tehnologic. "LabVIEW" dispune și de puternice instrumente de testare a aplicațiilor realizate și de simulare a diferitelor procese de control și reglare.

Utilizatorului îi sunt puse la dispoziție o serie de biblioteci software, cu diverse instrumente și dispozitive virtuale, respectiv de operații matematice pe care le poate integra în propriile diagrame de flux informațional. Aceste biblioteci pot fi modificate sau extinse cu ajutorul programului-aplicație "LabWindows", care este un instrument eficient pentru programatorii ce dezvoltă aplicații pentru controlul și reglarea proceselor. "LabWindows" este bazat pe limbajul C și dispune de biblioteci de proceduri speciale pentru achiziția de date, controlul și reglarea proceselor, precum și pentru analiza și reprezentare datelor.

Programele-aplicație "LabVIEW" și "LabWindows" sunt disponibile pentru diferite platforme hardware, inclusiv pentru calculatoarele compatibile IBM-PC, rulând sistemele de operare DOS, Windows 3.x sau Windows 95. Plăcile de achiziție a datelor și dispozitivele periferice sprijinite de aceste aplicații pot proveni de la diverși producători, recomandate fiind cele ale firmei "National Instruments". Pe această bază se pot realiza în timp scurt sisteme complexe, 'la cheie', aceasta presupunând însă o investiție inițială substanțială pentru achiziția unui asemenea instrument de dezvoltare.

## 8.7 Tehnici de programare folosite la achiziția de date cu calculatoare de tip PC

Un criteriu deosebit de important pentru o analiză corectă a șirurilor de valori obținute prin achiziția datelor de proces, este păstrarea unui interval de timp constant între eșantioanele prelevate din semnalul analogic. În acest scop s-au dezvoltat două tehnici de programare:

- citirea porturilor dispozitivelor periferice în bucla de program - metoda *polling*, respectiv
- citirea porturilor prin intermediul unor proceduri de tip întrerupere - metoda *interrupt*.

De regulă, producătorul dispozitivului de achiziție furnizează și programele necesare achiziției și prelucrării datelor, uneori chiar și în format sursă. În paragrafele următoare se furnizează o serie de informații necesare pentru scrierea sau modificarea programelor de achiziție a datelor, respectiv modalități de optimizare a performanțelor acestora.

### 8.7.1 Programare prin metoda polling

Aceasta este o metodă simplă de a asigura un interval de timp prestabilit și constant între citirile succesive ale porturilor dispozitivelor periferice. Practic, citirea porturilor se va realiza în cadrul unei bucle de program, ce va fi parăsită în cazul îndeplinirii unei condiții impuse inițial (de exemplu: atingerea unui număr prestabilit de valori citite).

Este important a se asigura execuția buclei de citire a portului, fără ca aceasta să fie întreruptă de execuția unor alte programe sau întreruperi (software), situație critică îndeosebi sub sistemul de operare Windows, care gestionează timpul de lucru partajat al procesorului. Pentru a preveni modificarea intervalului de timp între 2 citiri consecutive de date, se poate utiliza un semnal de tact (*timer*) hardware sau software, care să inițieze citirea portului la intervale de timp prestabilite (cât mai exacte) sau se poate executa aplicația în mod *monotask*, de pildă sub sistemul de operare DOS.

Un exemplu în acest sens este următoarea secvența de program, scrisă în Turbo Pascal, pentru sistemul de operare DOS:

```
var    i: integer;
       valori :array[1..100] of integer;      (*matrice de valori întregi *)
begin
...
i := 0;
repeat
    valoare[i] := citire;
    i := i + 1;
until i >= 100;
writeln ("S-au citit 100 de valori.");
end;
```

În acest exemplu, se achiziționează 100 de valori prin procedura <citire> (specifică dispozitivului de achiziție a datelor), valori ce se stochează în matricea <valoare>, verificarea încheierii operației de achiziție fiind făcută prin compararea contorului <i> cu numărul prestabilit de citiri, contor ce este incrementat la fiecare parcurgere a buclei.

O varianta mai rapidă a acestei tehnici este programarea buclei de citire a porturilor în limbaj de asamblare, secvența de program urmând a fi integrată în programul general. În Turbo Pascal (versiunea 5 sau mai mare) aceasta se poate realiza în mai multe moduri, de exemplu prin:

- Programarea buclei de citire a porturilor în limbaj de asamblare și încadrarea acesteia între o declarație <asm> la început și una <end> la sfârșitul secvenței de citire. (Vezi exemplul de achiziție de date de la game-port.)
- Programarea buclei de citire a porturilor în limbaj de asamblare, compilarea acestui program într-un modul-obiect extern și apelarea sa prin intermediul unei proceduri Turbo Pascal de tip extern:  
procedure citire\_asm(var valori: array[1..100] of integer); external;
- Programarea buclei de citire a porturilor în cod mașină și integrarea acesteia în programul principal printr-o instrucțiune de tip <inline()>, soluție mai rar folosită, programarea în cod mașină fiind susceptibilă de a introduce erori.

### 8.7.2 Programare prin metoda întreruperilor

În acest caz trebuie realizată o procedura de deservire a întreruperii, ce va executa citirea valorilor de la porturile dispozitivului de achiziție și stocarea acestora în memoria calculatorului. În Turbo Pascal (versiunea 5 sau mai mare), aceasta se realizează prin declararea procedurii respective ca fiind de tipul <interrupt>.

Pentru ca procedura de deservire a întreruperii să poată fi executată de sistemul de operare, este necesar să se aleagă o întrerupere liberă (care nu este folosită de o altă componentă a sistemului), iar adresa de start a acesteia trebuie înscrisă în tabela vectorilor de întrerupere, memorată în primii 1024 octeți (bytes) ai memoriei de lucru.

Adresa unei proceduri de întrerupere în sistemul de operare DOS este stocată în 4 bytes. De exemplu, pentru întreruperea numărul 13, adresa procedurii de deservire a întreruperii se va stoca de la adresa 0:0034h (13 x 4 = 52, care este 34h) până la 0:0037h. În Turbo Pascal, scrierea la o adresa dată din memoria de lucru se poate face cu instrucțiunea <MemW>:

```
⇒ MemW[0:0034] := adresa_offset;  
⇒ MemW[0:0036] := adresa_segment;
```

unde <adresa\_segment> și <adresa\_offset> reprezintă adresa segmentului de memorie și adresa relativă în cadrul segmentului respectiv, la care este stocată procedura de tip <interrupt>. Aceste adrese se pot determina [2], [15] cu instrucțiunile <CSeg> și <Ofs> aplicate procedurii de întrerupere, respectiv cu ajutorul operatorului <@>, aplicat astfel:

```
⇒ @procedura_interrupt
```

și care va returna adresa procedurii respective sub forma unui variabile de tip pointer.

Este posibilă și deturnarea unei întreruperi de sistem existente, caz în care se va salva temporar pointerul întreruperii inițiale cu instrucțiunea:

```
getintvec(nr_întrerupere, variabila_pointer_salvat)
```

Activarea noii proceduri de deservire a întreruperii se va realiza cu instrucțiunea:

```
setintvec(nr_întrerupere, @procedura_interrupt)
```

Pe perioada de timp cât este activă noua procedură de deservirea întreruperii (pentru achiziția de date), procedura de întrerupere inițială nu mai poate fi apelată prin intermediul

cunoscutei instrucțiunii Pascal <int>. Procedura de întrerupere inițială poate fi apelată însă cu ajutorul unei secvențe de instrucțiuni în limbaj de asamblare, integrată în programul Pascal:

```
asm
    pushf
    call dword ptr variabila_pointer_salvat
end;
```

Chiar dacă întreruperea utilizată este liberă, o programare preventivă impune ca întotdeauna înainte de modificarea adresei procedurii de deservire a unei întreruperi, să se salveze adresa inițială de segment și de offset, iar la încheierea procedurii acestea să fie restabilite. Astfel pot fi prevenite eventuale blocări ale sistemului, ca urmare a unui conflict legat de sistemul de întreruperi.

Activarea procedurii de citire de tip <interrupt> se poate face utilizând tactul furnizat de ceasul intern al calculatorului, prin intermediul întreruperii 1Ch. Datorită rotunjirii numerelor reale la operațiile de stabilire a perioadei de timp de citire a porturilor, apar însă erori a căror pondere crește odată cu creșterea frecvenței citirilor. Unele plăci de achiziție a datelor dispun de ceasuri proprii, foarte precise, a căror tact poate fi citit și utilizat în scopul inițierii procedurilor de citire a porturilor.

Pentru ca procedura de citire a porturilor să nu fie întreruptă de alte întreruperi cu prioritate superioară, este necesar să se dezactiveze celelalte întreruperi (software) pe durata citirii portului respectiv, după care aceste întreruperi trebuie reactivate. În Turbo Pascal aceasta se poate realiza prin intermediul unor instrucțiuni în limbaj de asamblare, ce pot fi integrate prin instrucțiuni de tip <inline>. Astfel:

- ⇒ inline(\$fa); - dezactivează întreruperile (<CLI> în limbaj de asamblare), iar
- ⇒ inline(\$fb); - reactivează întreruperile (<STI> în limbaj de asamblare).

Trebuie ținut cont și de faptul că, apelarea în cadrul unei întreruperi de citire a porturilor a unei alte proceduri ce utilizează BIOS-ul sistemului de calcul (de exemplu: accesul la alte dispozitivele periferice), poate duce la blocarea calculatorului, deoarece apelul BIOS-ului calculatoarelor compatibile IBM-PC nu este de tip reentrant.

## 8.8 Aspecte specifice ale prelucrării și analizei datelor de proces cu sisteme computerizate

Prin achiziția datelor de proces se obțin valorile unor mărimi fizice (tensiune, intensitate de curent, frecvență, etc.), ce caracterizează procesul tehnologic supravegheat. Prin prelucrarea acestor date brute și transformarea lor în valori ale mărimilor derivate, ce urmează a fi puse la dispoziția utilizatorilor, se introduc însă erori de calcul prin operațiile de rotunjire ale numerelor reale și se pierd datele brute, originale. Pentru a evita pe cât posibil această situație, în scopul reducerii erorilor și a creșterii vitezei de lucru a sistemului computerizat, se recomandă stocarea datelor în forma brută în memoria de lucru a calculatorului, ca numere întregi, în forma în care sunt furnizate de dispozitivele de achiziție.

După încheierea procesului de măsurare, datele brute vor fi stocate în memorii nevolatile, într-un fișier de format general (de pildă, în format text-ASCII), pentru prelucrări ulterioare cu programe-aplicație specifice. Prezentarea datelor prelucrate se recomandă a se face și în mod grafic, diagramele color fiind mult mai ușor de analizat decât tabelele de valori. Desigur că se va include și posibilitatea ca utilizatorul să poată tipări datele prelucrate, sub formă de diagrame, cât și sub forma tabelară, valorile exacte fiind necesare unor analize precise ale procesului supravegheat.

În paragrafele următoare se vor prezenta metode de prelucrare a datelor achiziționate, în scopul determinării parametrilor ce caracterizează eșantioanele de date măsurate și permit analiza procesului supravegheat, precum și pentru determinarea și corectarea erorilor de măsurare și a perturbațiilor ce pot apărea.

## 8.9 Particularități ale achiziției și prelucrării datelor la SDMV

Eșantioanele de date, provenite de la senzorii ce supraveghează SDMV, pot fi supuse unor erori sistematice, cât și unor erori aleatorii.

De exemplu, senzorii ce măsoară greutatea depozitului de material la cântarele diferențiale sunt supuși:

- unor erori sistematice, în cazul în care în sistemul de dozare se induc vibrații generate de utilaje amplasate în mediul de lucru, respectiv
- unor erori aleatorii, induse de apariția unor șocuri rezultate din contactul cu operatorii umani, curenți de aer sau datorită curgerii necorespunzătoare a materialului în vrac.

Și pentru soluția originală propusă, de măsurare a presiunii coloanei de material în vrac în depozitul de material, trebuie analizate cauzele ce pot determina erori de măsurare și trebuie luate măsuri optime de diminuare, respectiv de eliminare a abaterilor generate.

În acest sens, trebuie asigurată în primul rând o curgere cât mai uniformă a materialului în vrac, ceea ce va determina și o dozare de calitate ridicată. Pentru aceasta, se va verifica geometria depozitului de material în vrac, astfel încât să se favorizeze curgerea naturală a materialului și reducerea la minim a posibilității de formare a podurilor de material. Dacă va fi necesar, se vor utiliza amestecătoare de material, a căror geometrie și turație va asigura o curgere uniformă a materialului și o umplere completă a elementului de dozare.

Având asigurate aceste condiții inițiale, datele de măsurare obținute trebuie supuse unei filtrări, care va elimina valorile ce prezintă erori grosolane de măsurare. Acestea ar putea fi cauzate de: șocuri mecanice externe de scurtă durată, neregularități de curgere ce se pot forma în masa de material sau la realimentarea depozitului cu material, respectiv de



puternice câmpuri electro-magnetice variabile din mediul industrial, ce induc perturbații în circuitul electric de măsurare.

Valorile eșantionului astfel corectat vor trebui analizate - în timp real - în raport cu probabilitatea de a reflecta tendința reală de variație a presiunii exercitate de coloana de material asupra senzorului. La acest punct trebuie ținut cont de faptul că, sunt posibile mici variații datorate curgerii neuniforme a materialului în elemente de volum mici, respectiv a apariției unor variații mici de presiune generate de mișcarea neuniformă a materialului sub acțiunea brațelor amestecătorului. Erorile induse de acești factori sunt greu de localizat - de aceea ele trebuie diminuate prin intermediul unui filtru dinamic, care urmărește tendința reală de variație a semnalului măsurat.

În unele situații speciale, când se efectuează dozarea unor materiale în vrac aflate la temperaturi ridicate (în unele cazuri până la 400 °C), trebuie asigurată și compensarea termică pe întreg domeniul de măsurare. Aceasta se realizează în mod uzual prin folosirea unor senzori cu compensare termică integrată, respectiv prin compensarea pe cale software a curbei caracteristice a senzorului.

Având prelucrate astfel datele de intrare, se poate determina cu precizie ridicată coeficientul de compensare al turației elementului de dozare, respectiv turația elementului de comandă (motorul de antrenare) al MDMV, în scopul obținerii unei dozării constante și precise.

## **8.10 Valoarea medie a unui eșantion de valori - aplicații și exemple**

Valoarea medie este parametrul cel mai des utilizat în analizarea unui eșantion de valori [13], [14], [40]. Acest parametru poate fi determinat în mai multe moduri, funcție și de analizele ce urmează a se efectua asupra procesului supraveheat.

### **8.10.1 Programarea calculului static al valorii medii liniare**

Calculul mediei liniare este cea mai simplă și rapidă metodă utilizată pentru filtrarea semnalelor măsurate, perturbațiile aleatorii fiind atenuate. Acest parametru se utilizează de regulă la caracterizarea proceselor de lungă durată, cu modificări lente ale mărimilor caracteristice.

Un exemplu în acest sens ar fi măsurarea temperaturii mediului ambiant, caz în care se efectuează măsurători la intervale de timp prestabilite, de ordinul zecilor de minute. La momentul prestabilit se efectuează o serie de 10 până la 30 de măsurători, din valorile achiziționate calculându-se media liniară, care dă o imagine suficient de corectă asupra temperaturii mediului, eventualele erori de măsurare sau perturbații fiind atenuate.

În cazul în care semnalul de măsurat variază foarte puțin în jurul punctului de zero stabilit pentru sistemul de măsurare, acesta va furniza valori de 0, respectiv 1 unitate, eroarea relativă putând fi astfel aproape de 100%. Prin calculul valorii medii liniare a unui eșantion de valori măsurate consecutiv, se va reduce semnificativ eroarea relativă de măsurare, obținându-se o valoare măsurată apropiată de valoarea reală.

În scopul realizării unei prezentări complete, mai jos se prezintă și un exemplu în acest sens, scris în Turbo Pascal:

```
var    i, n: integer;
        s, medie: real;
        valoare: array [1..10] of real;
```

```

begin
...                               (* ...achiziția datelor, stocate în vectorul de valori *)
n := 10;                           (* număr de valori de prelucrat *)
s := 0;                             (* inițializare sumă *)
for i := 1 to 10 do
    s := s + valoare[i];
medie := s/n;
Writeln("Media liniară a eșantionului de valori este: "; medie);

```

### 8.10.2 Programarea calculului dinamic al valorii medii liniare

În cazul în care mărimea măsurată are o variație rapidă, se impune calcularea mediei liniare pe baza unui număr prestabilit de valori istorice, valoarea obținută modificându-se după fiecare recalculare, fiind o medie dinamică. Calculul acestei medii aritmetice se poate realiza prin 2 metode, ce sunt prezentate în paragrafele următoare.

### 8.10.3 Metoda nerecursivă

La aceasta metodă, media liniară se determină pe baza tuturor valorilor măsurat până la momentul calculului, fiecare nouă valoare introdusă în calcul influențând astfel valoarea medie. Datorită acestui mod de calcul, valoarea medie calculată urmărește numai lent variația în timp a semnalului măsurat, corectitudinea reprezentării variației reale a mediei semnalului fiind determinată de forma de variație în timp a acestuia.

Programare mediei liniare după metoda nerecursivă se realizează foarte asemănător cu calculul clasic al mediei liniare (vezi exemplul de mai sus), cu diferența că valorile măsurate nu trebuie stocate într-o matrice, la suma <s> adăugându-se întotdeauna ultima valoare citită, ce poate fi stocată astfel într-o singură variabilă.

### 8.10.4 Metoda recursivă

Aceasta metodă recalculează permanent valoarea medie, pe baza unui număr prestabilit de valori stocate temporar într-un vector. Citirea unei noi valori determină eliminarea valorii celei mai vechi (metoda *LIFO - Last In, First Out*), media liniară recalculându-se cu noul vector de valori.

Un exemplu pentru metoda recursivă, realizat în Turbo Pascal, este următoarea secvența de program:

```

var    i: integer;
        medie: real;
        valoare: array [1..11] of real;
begin
...                               (* achiziția noii valori *)
valoare[11] := 0;                 (* inițializare sumă *)
for i:= 1 to 9 do
begin
    valoare[i] := valoare[i+1];
    valoare[11] := valoare[11] + valoare[i];

```

```

end;
valoare[10] := valoare_noua;      (* scrierea noii valori în vectorul de valori *)
valoare[11] := valoare[11] + valoare[10];
medie := valoare[11]/10;
Writeln("Media liniară a eșantionului de valori este: "; medie);

```

Reprezentarea unei mărimi prin intermediul mediei liniare dinamice, calculată după metoda recursivă, este cea mai elocventă pentru analiza unei mărimi, fiind un bun compromis între atenuarea perturbațiilor și menținerea formei de variație a semnalului în timp.

Această metodă dă rezultate foarte bune în special la mărimi cu variație mai lentă, fără salturi bruște de valoare (de exemplu: temperatura unui cuptor), precizia reproducerii semnalului real neperturbat crescând odată cu mărirea numărului de valori luate în calcul, ceea ce determină însă și o creștere a timpului necesar prelucrării datelor.

### Valoarea medie dinamică ponderată

A fost dezvoltată și o variantă a acestei metode, care calculează valoarea medie a semnalului măsurat la un moment dat, pe baza unui număr de  $\langle n \rangle$  valori situate temporal înaintea, cât și după momentul de referință. Această metodă ia în calcul  $\langle 2n + 1 \rangle$  valori, poziționate simetric față de valoarea de referință, ea putându-se aplica însă numai după încheierea seriei de măsurători.

Se poate introduce și o ponderare a valorilor luate în calculul mediei. În funcție de variația coeficienților utilizați, s-au definit mai multe funcții de ponderare:

1. Funcția de ponderare de tip dreptunghi, când toți coeficienții de ponderare sunt egali (de regulă cu unitatea).
2. Funcția de ponderare de tip triunghi, când coeficienții de ponderare au o variație liniară, după un triunghi simetric.
3. Funcția de ponderare de tip sinus, când coeficienții de ponderare au o variație ce urmărește perioada pozitivă a unei funcții sinusoidale.
4. Funcția de ponderare de tip exponențial, când coeficienții de ponderare au o variație ce urmărește o curbă simetrică de tip exponențial (cu baza  $\langle e \rangle$ ).

Coeficienții de ponderare au valori egale pentru valorile măsurate ce sunt poziționate simetric față de valoarea corespunzând momentului de referință. De exemplu, pentru funcția de ponderare triunghiulară acești coeficienți se calculează după relația:

$$k_i = 1 - \frac{|i|}{x}, \quad \text{unde: } x = \frac{4 \cdot \sum_{i=1}^n i}{2 \cdot n + 1}, \quad \text{unde:}$$

$\langle n \rangle$  este numărul de valori situate înainte, respectiv după valoarea de referință, iar

$\langle i \rangle$  reprezintă indicele ce ia valori naturale, între 1 și  $\langle n \rangle$ .

La calculul mediei prin asemenea metode, funcția de ponderare se alege după specificul procesului supravegheat, respectiv după cerințele impuse de analiza ulterioară a valorilor

achiziționate. Un exemplu de program de calcul a mediei ponderate, scris în Turbo Pascal, este prezentat mai jos:

```

var   i, j: integer;           (* <i> reprezintă indexul valorii la momentul de
                                referință, iar <j> numărul de valori (7) considerate
                                înaintea, respectiv după momentul de referință *)

      medie: real;
      valori: array[1..100] of real; (* declararea matricii pentru stocarea a 100 de valori
                                        măsurate *)
      coef: array[0..7] of real;

begin
                                (* citirea valorilor într-un vector și calculul coeficienților
                                de ponderare după funcția aleasă *)

i := 25;                        (* ... exemplu *)
medie := 0;
for j := 0 to 7 do
    medie := medie + coef[j]*valori[i+j];
for j := 1 to 7 do
    medie := medie + coef[j]*valori[i-j];
medie := medie/15;
Writeln("Media liniară ponderată a șirului de valori este: "; medie);
end.

```

### 8.10.5 Programarea calculului abaterii medii standard

Abaterea medie standard (*Root Mean Square - RMS*) este și ea des utilizată în analiza șirurilor de valori de măsurare, fiind calculată cu formula:

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (U_k - U_m)^2}{n}}, \quad \text{unde:}$$

$\langle U_m \rangle$  reprezintă valoarea medie a eșantionului de valori,

$\langle U_k \rangle$  sunt valorile eșantionului măsurat, iar

$\langle k \rangle$  este indicele ce ia valori între 1 și  $\langle n \rangle$ .

Considerând valoarea medie pentru șirul de valori ca fiind calculată după una din metodele prezentate mai sus, programarea calculului abaterii medii standard, în Turbo Pascal, se poate realiza simplu, conform următoarei secvențe de program:

```

...
var   ams: real;
...
for i := 1 to n do
    ams := ams + Sqr(valori[i] - medie);
ams := Sqrt(ams/n);
Writeln("Abaterea medie standard a șirului de valori este: "; ams);

```

unde  $\langle ams \rangle$  va fi abaterea medie standard pentru șirul de  $\langle n \rangle$  valori memorate în vectorul  $\langle \text{valori}[ ] \rangle$  și având media aritmetică  $\langle \text{medie} \rangle$ .

Pentru ca abaterea medie standard să fie corect calculată, este necesar ca valorile eșantionului luat în calcul să fi fost măsurate la intervale de timp egale, iar frecvența de eșantionare să fi fost stabilită la aproximativ de 10 ori mai mare decât frecvența maximă a semnalului măsurat.

## 8.11 Filtre digitale software

Avantajul realizării unor filtre digitale pe cale software este marea flexibilitate ce se obține în prelucrarea datelor, precum și costurile reduse în raport cu filtrele clasice, realizate cu ajutorul componentelor electronice, a căror complexitate crește odată cu creșterea ordinului filtrului și a benzii de frecvențe prelucrate [13], [14], [40].

Condiția esențială a utilizării cu succes a filtrelor digitale este ca datele prelucrate să fi fost măsurate la intervale de timp egale. Această cerință se îndeplinește în etapa de achiziție a procesului de măsurare, așa cum s-a prezentat în paragrafele dedicate tehnicilor de programare folosite la achiziția de date.

În principiu, simularea software a filtrelor clasice se face prin înlocuirea celulelor de tip RC cu o variabilă prin care se trec succesiv valorile măsurate, bucla de corecție (*feedback*) fiind realizată prin transferarea unei părți din valoarea de ieșire la intrarea filtrului.

### 8.11.1 Filtre software de ordinul I.

Ecuția generală ce definește un filtru de ordinul I. este dată de relația:

$$y(i+1) = (1 - k) \cdot y(i) + k \cdot x(i), \quad \text{unde:}$$

<y(i)> reprezintă șirul valorilor de ieșire în filtru,

<x(i)> reprezintă șirul valorilor de intrare în filtru și

<k> este coeficientul de atenuare al filtrului, el stabilindu-se de regulă empiric, pe baza relației de aproximare:

$$k \cong 6 \cdot f_{lim} \cdot t_{estm}, \quad \text{unde:}$$

< $f_{lim}$ > este frecvența limită (de tăiere) a filtrului, exprimată în <Hz>, iar

< $t_{estm}$ > este timpul de eșantionare maxim, exprimat în <s>.

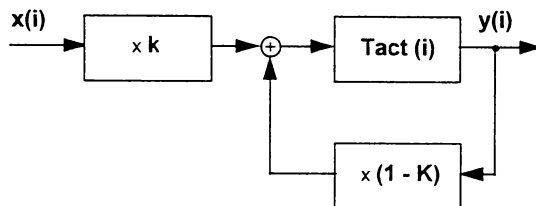


Fig. 8.1 - Diagrama de calcul pentru un filtru de ordinul I.

Implementarea software a unui asemenea filtru se va face printr-un calculul recursiv al valorilor de ieșire. În cele ce urmează se prezintă o secvență de program, scrisă în Turbo Pascal, ce simulează un filtru "trece-jos" de ordinul I.:

...

```
type matrice = array[0..99] of real; (* definire globală *)
var x, y: matrice;
```

```

i, n: integer;
k: real;
begin
(* achiziția datelor și scrierea valorilor de intrare
în vectorul <x[i]>; calculul coeficientului de
atenuare <k> *)
y[0] := 0; (* inițializare pentru calculul recursiv *)
for i := 0 to n do
y[i+1] := y[i] + k * (x[i] - y[i]); (* calculul recursiv al valorilor de ieșire <y[i]> din
filtrul de ordinul l., pe baza valorilor măsurate
<x[i]> și a coeficientului de atenuare <k> al
filtrului *)
end.

```

Acest tip de filtru se comportă asemănător filtrului RC real, realizând o atenuare de 20 dB/decadă și o defazare de 45° a semnalului de ieșire față de cel de intrare la frecvența limită. Aceste valori se pot verifica prin stabilirea la intrarea sistemului de măsurare a unui semnal de formă sinusoidală, de frecvență și amplitudine cunoscută. Abaterile de la curbele teoretice pentru un filtru de ordinul l scad pe măsura creșterii frecvenței semnalului de intrare.

O particularitate a filtrelor software de tip "trece-jos" este faptul că, spre deosebire de filtrele analogice reale, semnalele de intrare cu frecvența mai mare decât jumătate din frecvența de eșantionare maximă sunt amplificate în loc să fie atenuate. Acest fapt poate fi evitat dacă, la procesul de achiziție a datelor se respectă teorema lui Nyquist, după care frecvența de eșantionare trebuie să fie cel puțin dublă față de frecvența semnalului măsurat.

Similar cu filtrul digital de tip "trece-jos" se poate programa și un filtrul digital de tip "trece-sus", în acest caz pentru calculul valorilor de ieșire utilizându-se relația:

$$y(i+1) = y(i) + [x(i) - x(i-1)] - k \cdot y(i).$$

Determinarea coeficientului de atenuare <k> se face ca și la filtrul de tip "trece-jos". Acest tip de filtru este însă mai rar utilizat la analiza digitală a semnalelor.

### 8.11.2 Filtre software de ordine superioare

Deoarece practic se urmărește realizarea unor filtre cu flancul de tăiere cât mai înclinat, în mod uzual se lucrează cu filtre digitale de ordine superioare, obținute prin înserierea unor filtre digitale de ordinul l.

Fiindcă prin înserierea unor filtre identice de ordinul l s-ar tot reduce frecvența de tăiere, se impune stabilirea unor valori diferite pentru coeficienții de atenuare în treptele succesive de filtrare. În acest scop s-a stabilit regula, ca atenuarea semnalului pe o treaptă de filtrare să fie egală cu <20 x n> dB/decadă, <n> fiind ordinul filtrului respectiv.

În cele ce urmează se prezintă o procedură, scrisă în Turbo Pascal, ce implementează un filtru de ordin superior (maxim 10) de tip Butterworth:

```

type matrice = array[0..99] of real; (* definire globală *)
procedure filtru_n(tip, nr, ord: integer; (* filtru de ordin: 2 x ord *)

```

```

        flim, test: real;
        x: matrice;
        var y: matrice);

var    i, j, k: integer;
        h1, h2, h3, h4, hq: real;
        a, b, c: array[0..5] of real;
        d: array[0..6, 0..3] of real;

begin
                                                    (* calculul coeficienților de atenuare *)

h1 := flim*pi*test;
h2 := sin(h1)/cos(h1);
hq := h2*h2;
for i:= 1 to ord do
begin
    h3 := cos((2*(i + ord) - 1)*pi/(4*ord));
    h4 := 1/(1 + hq - 2*h2*h3);
    if tip = 1 then
        a[i] := hq * h4
    else
        a[i] := h4;
    b[i] := 2*(hq - 1)*h4;
    c[i] := (1 + hq + 2*h2*h3)*h4;
end;
                                                    (* filtrarea *)

for i := 1 to (ord + 1) do
begin
    for j:= 0 to 3 do
        d[i,j] := 0.0;
    end;
    for i:= 1 to nr do
begin
    d[1,3] := x[i];
    for j:=1 to ord do
begin
        if tip := 1 then
            h1 := a[i]*(d[j,3] + 2*d[j,2] + d[j,1]);
        else
            h1 := a[j]*(d[j,3] - 2*d[j,2] + d[j,1]);
            d[j+1,3] := h1 - b[j]*d[j+1,2] - c[j]*d[j+1,1];
        end;
    for j := 1 to (ord + 1) do
begin
        for k := 1 to 2 do
            d[j,k] := d[j,k+1];

```



```

end;
y[i] := d[ord+1,3];          (* valoarea de ieșire după trecerea prin
                             filtru *)
end;
end;

```

Apelul procedurii de filtrare se face cu următorii parametrii:

```

filtru_n(1,          (* tipul filtrului: 1 pentru filtru de tip "trece-jos" *)
         50,         (* numărul de valori măsurate, de filtrat *)
         5,          (* numărul de trepte de filtrare; ordinul filtrului: 2 x numărul de trepte *)
         1.5,        (* frecvența limită a filtrului, în <Hz> *)
         0.010,      (* timpul de eșantionare, în <s> *)
         x,          (* vectorul conținând valorile de intrare *)
         y);         (*vectorul conținând valorile de ieșire, după trecerea prin filtru *)

```

## 8.12 Filtrarea semnalelor în timp real (online)

Filtrarea semnalelor în timp real presupune ca semnalul de ieșire să fie pus la dispoziție aproape instantaneu. La filtrele digitale, timpul de prelucrare este determinat de timpul necesar executării procedurii de filtrare. Deoarece acțiunea factorilor de influență poate fi foarte complexă, stabilirea valorii maxime a frecvenței de eșantionare pentru care mai este posibilă filtrarea în timp real este realizată de regulă experimental.

În acest scop se poate folosi un program similar cu cel prezentat la paragraful de determinare a vitezei reale maxime de eșantionare, în acest caz incluzându-se și procedura de filtrare. Asupra vitezei maxime obținute se poate aplica un coeficient de siguranță (între 0,8 - 0,9), acceptând o viteză de prelucrare reală mai redusă, datorită faptului că sistemul de calcul poate fi solicitat aleator și pentru execuția altor procese (de exemplu: deservirea unor întreruperi de sistem).

### 8.12.1 Filtrarea semnalelor în timp real pe baza transformatelor Fourier rapide

Metoda se bazează pe teoria transformatei Fourier rapide (*Fast Fourier Transformer - FFT*), după care orice funcție periodică  $y = f(x)$ , deci și orice semnal periodic, poate fi reprezentat printr-o funcție de forma:

$$f(x) = k + \sum_{i=1}^{\infty} [a_i \cdot \cos(i \cdot \omega_0 \cdot x) + b_i \cdot \sin(i \cdot \omega_0 \cdot x)], \text{ unde:}$$

<k> corespunde valorii medii aritmetice a funcției  $f(x)$ ,

< $a_i$ > și < $b_i$ > fiind coeficienți ce se obțin prin integrarea funcțiilor:

$f(x) \cdot \cos(i \cdot \omega_0 \cdot x)$ , respectiv:

$f(x) \cdot \sin(i \cdot \omega_0 \cdot x)$ .

Pentru obținerea funcției originale ar fi necesară determinarea coeficienților pentru < $i$ > variind între unu și infinit, ceea ce ar determina un efort de calcul prea mare chiar și pentru calculatoare performante. La transformata Fourier rapidă (FFT), coeficienți < $a_i$ > și < $b_i$ > se calculează pentru un număr finit de valori discrete ale funcțiilor de mai sus, funcția rezultată urmărind cu o abatere determinată funcția originală.

Avantajul ce se obține prin reprezentarea Fourier a semnalelor măsurate este analiza și filtrarea mult simplificată a funcțiilor de semnal astfel exprimate [13], [40].

Reprezentând grafic valoarea coeficienților (< $a_i$ >, respectiv < $b_i$ >), în raport cu ordinul armonicilor (după componenta sinus, respectiv cosinus), de la frecvența fundamentală la armonicile superioare, se obține spectrul semnalului măsurat. Acest spectru este baza pe care se sprijină analiza și filtrarea semnalului, respectiv eliminarea perturbațiilor suprapuse semnalului util.

Spectrul FFT al unei funcții periodice (neperturbate) trebuie să urmeze forma unei funcții exponențiale descrescătoare (baza < $e$ >). Orice neregularitate față de această formă este cauzată de un semnal perturbator suprapus semnalului util.

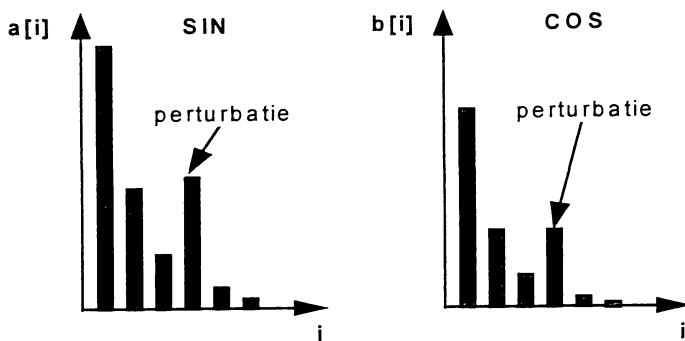


Fig. 8.2 - Spectrul FFT al unui semnal perturbat

Dacă pentru corectarea unei perturbații găsite în semnalul de prelucrat se va utiliza un filtru software, care pune la zero toți coeficienții corespunzători frecvenței semnalului perturbator, atunci va fi modificat și semnalul original pentru armonicile cu frecvențele egale cu cea a semnalului perturbator. Soluția constă în corectarea individuală a coeficienților și exprimarea funcției originale cu ajutorul coeficienților armonicilor semnalului original, neperturbat.

Trebuie avut în vedere faptul că, realizarea unor asemenea aplicații necesită un efort de programare mare, precum și un sistem de calcul performant, cu memorie de lucru suficient de mare pentru a fi posibilă calcularea și stocarea cantităților mari de date rezultate la analiza în timp real a semnalelor prin transformata Fourier rapidă.

Dacă analiza semnalelor măsurate se poate efectua după încheierea măsurătorii - offline - calculul FFT și analiza spectrului semnalului se poate realiza utilizând programe-aplicație matematice, ca de exemplu "MathCAD", efortul de programare și cerințele sistemului de calcul fiind în acest caz mult mai reduse.

### 8.12.2 Programarea filtrelor digitale bazate pe FFT

Deoarece metoda FFT se poate aplica doar semnalelor periodice, se va considera că numărul de măsurători efectuate corespunde exact unei perioade, următoarele valori măsurate fiind identice primelor. Astfel, timpul total de măsurare va corespunde oscilației fundamentale. Pe aceste considerente se poate calcula frecvența, în <Hz>, a unei armonici superioare ca fiind:

$$f_i = \frac{i}{n \cdot t_{est}}, \quad \text{unde:}$$

<i> este ordinul armonicii superioare,

<n> este numărul total de măsurători efectuate, iar

<t<sub>est</sub>> este timpul de eșantionare, în <s>.

Conform teoremei de eșantionare, frecvența maximă a semnalului măsurat nu are voie să fie mai mare decât jumătatea frecvenței maxime de eșantionare. Cum frecvența fundamentală a semnalului măsurat este determinată de numărul total de măsurători efectuate, rezultă că reprezentarea semnalului original prin FFT va lua în considerare numai coeficienții <a<sub>i</sub>> și <b<sub>i</sub>> până la armonica superioară corespunzând la jumătate din numărul total de măsurători.

Celelalte valori ale coeficienților  $\langle a_i \rangle$  și  $\langle b_i \rangle$  nu se mai iau în considerare, ele corespunzând unor semnale perturbatoare ce trebuie de fapt eliminate, astfel realizându-se și o economie de timp de calcul.

Programarea calculului numărului de armonici superioare, ce se iau în considerare pentru realizarea unui filtru digital, se va face cu expresia:

$i := \text{round}(\text{flim} * \text{nr} * \text{test});$       unde:

$\langle \text{flim} \rangle$  este frecvența limită (de tăiere), în  $\langle \text{Hz} \rangle$ ,

$\langle \text{nr} \rangle$  este numărul total de valori măsurate,

$\langle \text{test} \rangle$  este timpul de eșantionare, în  $\langle s \rangle$ .

Folosind metoda bazată pe FFT, se pot crea filtre digitale cu panta de tăierea foarte înclinată, eliminându-se și defazajul caracteristic între semnalul de ieșire și cel de intrare. Un exemplu pentru modul de calcul al coeficienților FFT pentru o funcție considerată periodică, este procedura de mai jos, scrisă în Turbo Pascal:

```
type matrice = array[0..1024] of real;      (* declarație globală; numărul de valori de
                                           intrare este: nr = 1024 *)
```

```
procedure fft(var x, y: matrice, nr: integer);
```

```
var a, b, c, i, j, k, l, m, n, ow: integer;
```

```
hc, hs: real;
```

```
sinus: array[0..1279] of real;      (* dimensiunea matricii coeficienților= nr + nr/4 *)
```

```
procedure schimb(var v1, v2: real);
```

```
var v3: real;
```

```
begin
```

```
    v3 := v1;
```

```
    v1 := v2;
```

```
    v2 := v3;
```

```
end;
```

```
begin
```

```
    (* program principal *)
```

```
    (* scriere <sin> și <cos> în matrice *)
```

```
    hs := 2*pi/nr;
```

```
    for i := 0 to (nr + nr/4) do
```

```
        sinus[i] := sin(hs*i);
```

```
    j := 0;
```

```
    ow := round(nr/2);
```

```
    for i := 0 to (nr-2) do
```

```
        (* sortarea valorilor de intrare *)
```

```
    begin
```

```
        if i < j then
```

```
            schimb(x[i],x[j]);
```

```
        k := nr div 2;
```

```
        while k <= j do
```

```
            begin
```

```

        j := j - k;
        k := k div 2;
    end;
    j := j + k;
end;
a := 2;
b := 1;
c := nr div 4;
for j := 1 to round(ln(nr)/ln(2)) do          (* determinarea puterii maxime în baza 2 *)
begin
    l := nr div a;
    m := 0;
    for k := 0 to (b-1) do
    begin
        i := k;
        while i < nr do
        begin
            n := i + b;
            if k := 0 then
            begin
                hc := x[n];
                hs := y[n];
            end
            else
            begin
                hc := x[n]*sinus[m+c] - y[n]*sinus[m];
                hs := x[n]*sinus[m] + y[n]*sinus[m+c];
            end;
            x[n] := x[i] - hc;
            y[n] := y[i] - hs;
            x[i] := x[i] + hc;
            y[i] := y[i] + hs;
            i := i + a;
        end;
        m := m + 1;
    end;
    a := a shl 1;
    b := b shl 1;                                (* înmulțire rapidă cu 2, în sistem binar *)
end;
for i := 0 to ow
begin
    x[i] := x[i]/ow;
    y[i] := y[i]/ow;
end;

```

end;

Apelul procedurii se va face astfel:

```
fft(a,          (* vectorul conținând valorile măsurate, de intrare; după executarea
                procedurii, vectorul <a> va conține coeficienții funcțiilor cosinus, iar *)
      b,          (* ... va conține coeficienții funcțiilor sinus din forma FFT a funcției *)
      512);      (* numărul de valori ce va fi prelucrat; dacă acesta depășește 1024,
                dimensiunea vectorului <matrice> trebuie modificată corespunzător *)
```

Având calculați coeficienții FFT, se poate trece la realizarea filtrelor digitale:

1. Pentru a simula un filtru de tip "trece-jos" este suficient să reconstruim semnalul original utilizând pentru aceasta numai coeficienții armonicilor ce au frecvența mai mică decât frecvența de tăiere. Aceasta se programează cu ajutorul unei bucle al cărei contor ia valori de la unu la ordinul ultimei armonici ce va mai trece prin filtru, refăcându-se astfel semnalul până la armonică superioară maximă, a cărei frecvență este mai mică decât frecvența limită a filtrului "trece-jos".
2. În mod similar, pentru simularea unui filtru de tip "trece-sus" vom reface semnalul original utilizând numai coeficienții armonicilor ce au frecvența mai mare decât frecvența limită. Pentru aceasta se utilizează o buclă al cărei contor ia valori începând de la ordinul primei armonici ce va trece prin filtru, refăcându-se astfel semnalul de la acea armonică minimă până la armonică maximă considerată.
3. Un filtru de tip "trece-bandă" se poate realiza prin combinarea secvențelor de program utilizate pentru filtrul "trece-jos", respectiv "trece-sus", fiind posibilă și realizarea unor filtre cu benzi de trecere multiple.

Reconstruirea semnalului original până la o armonică de un anumit ordin și reprezentarea sa grafică se poate face pe baza următoarei secvențe de program (bazate pe programul din exemplul anterior):

```
const  x0 = 50;
        ymax = 500;          (* constante definite pentru poziționarea graficului pe ecranul
                              monitorului *)
var    test, zp: real;       (* <test> reprezintă timpul de eșantionare *)

begin
  zp := 2*pi/test;
  af := 512;                (* numărul de valori măsurate, corespunzând unei perioade
                              complete a semnalului de intrare *)

  for i := 1 to af do
    begin
      h := 0;              (* inițializare *)
      for j := 1 to 256 do
        h := h + a[j]*cos(zp*i*j/af) + b[j]*sin(zp*i*j/af);
        putpixel(i+x0, ymax-round(h*100), 15)
      end
    end
end
```

În acest exemplu, pentru reconstruirea semnalului original s-au utilizat numai primele 256 de armonici superioare, simulându-se astfel acțiunea unui filtru de tip "trece-jos" asupra semnalului de original.

Dacă metoda FFT nu se aplică întregului lot de date măsurate, ci numai unei anumit cadru de valori extrase din acest lot, atunci se va considera ponderarea valorilor ce sunt luate în calcul, utilizând funcții de ponderare corespunzătoare. Valorile ce vor fi luate în calcul sunt înmulțite cu factorii de ponderare calculați conform funcției de ponderare aleasă, FFT aplicându-se apoi asupra șirului de valori astfel obținut. Pe această cale se va obține o atenuare a amplitudinii semnalului original, atenuare ce va fi mai puternică la începutul și sfârșitul cadrului de valori analizat.

### 8.12.3 Analiza spectrală cu FFT

Pentru analiza unui semnal măsurat din punct de vedere al ponderii cantitative al frecvențelor conținute, se utilizează reprezentarea amplitudinilor normate a armonicilor în raport cu faza acestora. Amplitudinea totală normată a unei armonici de ordinul <i> se determină cu formula:

$$|A_{\text{norm}}| = \frac{\sqrt{a_i^2 + b_i^2}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n a_i)^2 + (\sum_{i=1}^n b_i)^2}}, \quad \text{unde:}$$

<a<sub>i</sub>> și <b<sub>i</sub>> sunt coeficienții FFT calculați pentru funcția respectivă.

În cele ce urmează, se prezintă o secvență de program în Turbo Pascal ce calculează amplitudinile normate și fazele armonicilor componente ale unei funcții reprezentate pe baza FFT:

```

type  matrice = array[1..256] of real;
var   n, i: integer;
       sa, sb, a_tot: real;
       a, b, d, a_norm, fz: matrice;
begin
n := 256;                                (* calcul pentru un șir de 256 de valori *)
sa := 0;                                  (* inițializare sumă coeficienți *)
sb := 0;
for i := 1 to n do
begin
    d[i] := sqrt(a[i]* a[i] + b[i]* b[i]);  (* amplitudine armonică <i> *)
    sa := sa + a[i];                       (* sumă coeficienți *)
    sb := sb + b[i];
end;
a_tot := sqrt(sa*sa + sb*sb)              (* amplitudine totală *)
for i := 1 to n do
    a_norm[i] := d[i]/ a_tot;             (* amplitudine normată a unei armonici *)
for i := 1 to n do

```

begin

(\* calculul fazei armonicii și verificarea acesteia  
în raport cu zero, aproximat cu  $10^{-4}$ , pentru  
calculul funcției <arctan> \*)

```
if abs(b[i]) > 1e-4 then
    fz[i] := arctan(a[i]/ b[i])*180/pi
else
begin
    if a[i] < 0 then
        fz[i] := -90;
    else
        fz[i] := 90;
    end;
    if fz[i] < 0 then
begin
    if b[i] < 0 then
        fz[i] := fz[i] + 180;
    end
    else
begin
    if b[i] < 0 then
        fz[i] := fz[i] - 180;
    end;
end;
end;
```

Pe baza reprezentării grafice a valorilor amplitudinii normate în raport cu faza fiecărei armonici, se poate efectua analiza cantitativă a semnalului măsurat, precum și a perturbațiilor ce se suprapun acestuia.



### 8.13 Liniarizarea pe cale software a curbelor caracteristice a sistemelor de măsurare

Cele mai multe dispozitive de măsurare prezintă curbe caracteristice neliniare. Pentru corectarea curbei caracteristice se pot utiliza elemente de compensare introduse în circuitele de măsurare sau se poate recalcula curba caracteristică în scopul liniarizării ei. Această ultimă variantă se poate implementa foarte ușor în cazul în care sistemul de achiziție a datelor este controlat de un calculator.

Metoda software de liniarizare a caracteristicilor de măsurare este foarte flexibilă, permițând integrarea rapidă și cu eforturi relativ reduse a diferitelor dispozitive de măsurare în sistem, costurile legate de achiziționarea și instalarea unor elemente compensatoare de tip clasic (mecanice, electro-mecanice sau electronice) fiind astfel reduse sau chiar eliminate.

La liniarizarea pe cale software a curbei caracteristice, calea uzuală constă în determinarea unui tabel de conversie, sub forma unei matrici unidimensionale. În acest scop se va proceda la măsurarea unui semnal, ce produce la ieșirea sistemului de măsurare verificat valori succesiv crescătoare și întregi. Aceleași semnale sunt măsurate în paralel și cu un sistem de măsurare considerat etalon. Valorile furnizate de sistemul de măsurare etalon fiind considerate cele reale de referință, vor fi stocate într-o matrice unidimensională, a cărei indice va corespunde valorilor furnizate de sistemul de măsurare verificat.

Deoarece realizarea tabelului de conversie presupune un efort ce crește proporțional cu numărul de elemente stocate, pentru curbe ce nu prezintă abateri de liniaritate mari se apelează la matrici cu maxim 256 de elemente (pe 8 biți), valorile ce nu sunt memorate efectiv fiind calculate prin interpolare. Astfel se optimizează viteza de procesare, utilizarea memoriei și precizia rezultatelor obținute.

De exemplu, în cazul în care se stochează valorile reale într-un pas  $\langle p \rangle$ , valoarea reală  $\langle vr \rangle$  (corectată), corespunzând unei valori măsurate  $\langle vm \rangle$ , se va calcula în Turbo Pascal cu expresia:

$vr := val[i] + (val[i+1] - val[i]) / p * (vm - 4*i);$                       unde:  $val[i] \leq vm \leq val[i+1]$ .

Unii producători integrează în senzorii 'inteligenti' module de memorie ce conțin tabelele de conversie ale valorilor reale, astfel că, după prelucrarea semnalelor de intrare de către microprocesorul senzorului, acesta va prezenta o caracteristică liniară, fapt ce simplifică și accelerează semnificativ prelucrările ulterioare ale semnalului.

Există și alte metode de liniarizare cu precizie ridicată a curbelor caracteristice, ca de pildă metoda polinomului de liniarizare, care necesită însă calcule complexe, specifice tipului de senzor utilizat. Metoda polinomului de liniarizare stabilește însă corecții numai pentru elementul analizat și nu pentru întreg lanțul de măsurare, ca și metoda tabelului de conversie.

## 8.14 Programarea reguletoarelor de proces pe calculatoare de tip PC

Realizarea circuitelor de reglare automată pe cale software trebuie să țină cont de timpii necesari execuției secvențelor de program ce realizează reglarea automată. Deși acești timpi sunt foarte mici, de regulă de ordinul a zeci până la sute de ms, în cazul proceselor foarte rapide (cu frecvențe de zeci până la sute de kHz) acest factor trebuie luat în considerare, el acționând în sensul limitării performanțelor circuitului de reglare.

În timpul executării rutinelor de reglare, procesorul calculatorului nu poate citi noi date de proces. Pentru a preîntâmpina pierderea unor date de proces, ceea ce ar influența negativ calitatea operațiilor de reglare automată, este necesar ca placa de achiziție să dispună de memorii-tampon (de ordinul KB-lor), care poată stoca temporar datele achiziționate. Această soluție este aplicabilă însă numai în cazul în care procesorul calculatorului este indisponibil pe durate scurte de timp.

Soluția ideală este utilizarea unor plăci de achiziție ce dispun de memorie proprie mare (de ordinul MB-lor) și de un procesor propriu, de preferință un procesor specializat de tipul *DSP (Digital Signal Processor)*. Numai în acest mod procesorul calculatorului dispune de timp suficient pentru executarea rutinelor de reglare în cazul proceselor foarte rapide, cu frecvențe de zeci până la sute de kHz. Desigur că o asemenea soluție este și mai scumpă, fiind utilizată numai la aplicațiile ce solicită performanțe deosebite sistemului de calcul.

În cele ce urmează se prezintă modul de programare, în Turbo Pascal, a unor circuite de reglare ce simulează funcționarea reguletoarelor reale [13], [14], [40].

În aceste exemple se consideră că achiziția datelor de proces se face prin intermediul procedurilor `<ad( )>` pentru convertorul analog-digital, respectiv cu procedura `<da( )>` pentru convertorul digital-analog, pentru comanda dispozitivelor periferice de execuție. Aceste proceduri sunt specifice convertoarelor folosite, fiind realizate pe baza documentației și programelor-sursă furnizate de firmele producătoare ale convertoarelor.

### 8.14.1 Programarea unui regulator proporțional - tip P

Cel mai simplu tip de regulator este cel proporțional, de tip P. Reglarea la acest tip de regulator se face pe baza relației prezentate mai jos:

$$y = k_p \cdot (v - x), \quad \text{unde:}$$

`<x>` este valoarea mărimii de intrare, valoare achiziționată din procesul supravegheat,

`<v>` este valoarea de referință a mărimii controlate, fiind o valoare prestabilită,

`<y>` este valoarea mărimii ieșire, transmisă elementului de execuție și

`<kp>` este coeficientul de proporționalitate al regulatorului, determinat pentru o funcționare stabilă a circuitului de reglare.

Secvența de program următoare realizează simularea funcționării unui regulator proporțional, considerând că se lucrează cu o rezoluție uzuală de 12 biți (4096 de valori posibile):

```
var    v, x, y: integer;
        kp: real;
```

```

begin
repeat
    x := ad(0); (* achiziție date de proces *)
    y := 2048 + round(kp*(v - x)); (* calculul valorii de comandă *)
    if y > 4095 then (* limitarea valorilor de ieșire pe 12 biți *)
        y := 4095;
    if y < 0 then
        y := 0;
    da(y); (* comanda elementului de execuție *)
until keypressed; (* ... sau o altă condiție de ieșire din buclă *)
end;

```

În exemplul de mai sus s-a considerat constanta <2048> la mijlocul intervalului de valori posibile pentru mărimea de reglare. Practic, această deplasament se alege astfel încât să se asigure o funcționare cât mai stabilă a circuitului de reglare.

### 8.14.2 Programarea unui regulator complex - tip PID

Ecuția ce descrie un regulator de tip PID este o ecuație diferențială [24]:

$$y = k_p \cdot \left[ (v - x) + k_i \cdot \int (v - x) \cdot dt + k_d \cdot \frac{d(v - x)}{dt} \right], \quad \text{unde:}$$

- <x> este valoarea mărimii de intrare,
- <v> este valoarea de referință a mărimii reglate,
- <y> este valoarea mărimii de ieșire,
- <k<sub>p</sub>> este coeficientul componentei proporționale a regulatorului,
- <k<sub>i</sub>> este coeficientul componentei integrative a regulatorului,
- <k<sub>d</sub>> este coeficientul componentei derivate a regulatorului.

Pentru programarea calculului mărimii de ieșire <y>, se consideră <dt> ca fiind timpul de eșantionare, intervalul de timp finit și constant dintre două achiziții succesive ale valorii de intrare <x>. Astfel se poate transforma integrala într-o sumă, iar derivata într-o diferență, programarea calculului valorii de ieșire <y> fiind relativ ușor de realizat.

Pentru ca reglarea software să decurgă corect, este necesar ca intervalul de timp <dt> între două citiri succesive ale valorii de intrare să fie menținut constant. Aceasta se face prin apelarea procedurii de reglare, ce cuprinde achiziția valorii de intrare <x>, calcul valorii de ieșire <y> și comanda dispozitivului extern, la intervale de timp fixe.

Condiția aceasta de izocronism poate fi îndeplinită, dacă procedura de reglare se declară de tipul <interrupt>, apelul ei fiind comandat pe baza ceasului de sistem (întreruperea 1Ch) sau printr-un ceas extern, de precizie ridicată, disponibil pe majoritatea plăcilor de achiziție performante. Un avantaj suplimentar al metodei este și faptul că intervalul de timp la achiziția datelor poate fi stabilit precis și în limite largi.

Exemplul de programare al regulatorului de tip PID, prezentat în cele ce urmează, se bazează pe calculul succesiv al erorilor dintre valoarea reală a mărimii de intrare și mărimea de referință, folosind următoarea schematizare:

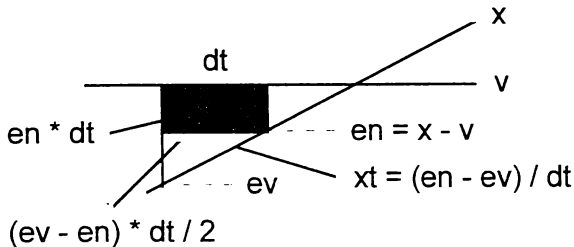


Fig. 8.3 - Reprezentare grafică a erorilor utilizate în procesul de reglare PID

Notății:

<x> - Mărimea reală, de intrare

<v> - Mărimea de referință

<en> - Eroarea nouă:  $en = x - v$

<ev> - Eroarea veche, corespunzând citirii anterioare

<xt> - Viteza de variație a erorilor:  $xt = (en - ev) / dt$

<dt> - Intervalul de timp dintre 2 citiri consecutive ale mărimii de intrare

Eroarea însumată, <es>, este egală cu aria suprafeței cuprinse între curba de variație pentru <x>, considerată o dreapta pe un interval de timp mic, și dreapta reprezentând mărimea de referință <v>.

Pe baza considerațiilor de mai sus, se poate programa procedura de reglare de tip PID (pentru un regulator uzual pe 12 biți) după cum urmează:

procedure pid; interrupt;

begin;

x := ad(0); (\* achiziție date \*)

ev := en;

en := x - v; (\* calculul componentei proporționale \*)

es := es + en\*dt + (ev - en)/2\*dt; (\* calculul componentei integrative \*)

xt := (en - ev)/dt; (\* calculul componentei derivate \*)

pid := 2048 + round(kp\*(en + ki\*es + kd\*xt));

if pid > 4095 then (\* limitarea valorilor de ieșire, pe 12 biți \*)

pid := 4095;

if pid < 0 then

pid := 0;

da(pid); (\* comanda elementului de execuție \*)

end;

În cazul prezentat, variabilele folosite vor fi declarate global (în programul principal), pentru a se păstra valoarea lor cea mai recentă, necesară la următorul apel al procedurii <pid>.

Valorile optime pentru coeficienții <k<sub>p</sub>>, <k<sub>i</sub>> și <k<sub>d</sub>> ale celor trei componente ale regulatorului de tip PID, se determină de regulă empiric.

Valori aproximative pentru acești coeficienți se pot determina prin metoda limitei de stabilitate, după cum urmează: pentru determinarea valorii coeficientului <k<sub>p</sub>>, se consideră

ceilalți doi coeficienți ca fiind egali cu zero. Se aplică la intrarea circuitului de reglare o mărime perturbatoare având o variație bruscă și se crește valoarea coeficientului  $\langle k_p \rangle$  până ce circuitul de reglare începe să oscileze periodic.

Astfel se determină valoare critică  $\langle k_{pcr} \rangle$  pentru coeficientul de proporționalitate. Se va stabili și perioada de oscilație critică,  $\langle T_{pcr} \rangle$ , în cazul oscilațiilor lente ea putând fi măsurată cu ajutorul unui cronometru. Dacă însă apar oscilații de frecvență ridicată, este necesar a se realiza un program, similar cu cel utilizat la determinarea vitezei reale maxime de achiziție, prin care să se stabilească  $\langle T_{cr} \rangle$ .

Cu valorile stabilite pentru  $\langle k_{pcr} \rangle$  și  $\langle T_{pcr} \rangle$ , se pot determina cu aproximație coeficienții  $\langle k_i \rangle$  și  $\langle k_d \rangle$ , pentru fiecare tip de regulator. Valorile aproximative [40] pentru acești coeficienți sunt prezentate în tabelul de mai jos:

Tip regulator:	Valoarea coeficienților:
Tip P	$k_p \cong 0,5 \cdot k_{pcr}$
Tip PI	$k_p \cong 0,45 \cdot k_{pcr}$ $k_i \cong 1/(0,85 \cdot T_{pcr})$
Tip PID	$k_p \cong 0,59 \cdot k_{pcr}$ $k_i \cong 1/(0,5 \cdot T_{pcr})$ $k_d \cong 0,12 \cdot T_{pcr}$

Tab. 8.2 - Valori de referință pentru coeficienții reguletoarelor

În cazul în care reglarea procesului nu necesită toate componentele unui regulator PID, pentru creșterea vitezei de lucru a regulatorului software, se recomandă excluderea din program a secvențele respective, simpla punere la zero a coeficienților componentelor neutilizate ale regulatorului determinând executarea unor calcule inutile.

### 8.14.3 Reglarea adaptativă

În unele aplicații practice apar și situații, când este necesară o reglare adaptativă a procesului tehnologic, cu parametrii de reglare specifici, funcție de caracteristicile de variație ale mărimilor fizice controlate.

Dacă, de exemplu, eroarea nouă  $\langle en \rangle$  crește peste o anumită valoare prestabilită, atunci se va modifica ponderea unei componente a regulatorului, ceea ce determină un comportament optimizat al circuitului de reglare. În cele ce urmează este prezentată o secvență de program pentru reglarea adaptativă, secvență ce ar putea fi integrată în procedura  $\langle pid \rangle$  prezentată mai sus:

...

if en > 5 then

    es := 0.8\*es;

(\* creșterea erorii: en = x - v, determină scăderea ponderii componentei integrative a regulatorului \*)

Asemenea optimizări ale circuitului de reglare sunt însă specifice fiecărei aplicații în parte, fiind realizate pe baza observării comportamentului practic al circuitului de reglare utilizat.

Un avantaj deosebit al realizării software a reglatoarelor, constă și în posibilitatea simulării funcționării întregului circuit de reglare, fiind astfel posibilă analizarea funcționării circuitului și detectarea eventualelor erori, fără a se recurge la componentele externe ale circuitului de reglare. Pe această cale se pot reduce costurile și timpii de proiectare, în special în cazul instalațiilor complexe.

## 8.15 Înlocuirea componentelor hardware ale sistemelor de măsurare și control cu module software

Principalele avantaje ale soluțiilor software sunt cuprinse în următoarele aspecte:

- Flexibilitate mărită, prin posibilitatea modificării și/sau extinderii programelor utilizate, cu eforturi relativ reduse în comparație cu modificarea structurilor hardware.
- Reducerea costurilor legate de achiziția și întreținerea sistemelor, prin eliminarea unor componente hardware: mecanice, electrice sau electronice.
- Posibilitatea utilizării unor senzori neliniari, mai ieftini, curba caracteristică fiind liniarizată pe cale software, obținându-se astfel sisteme cu prețuri mai competitive.

Soluția software prezintă desigur și dezavantaje, a căror reducere stă în seama programatorilor aplicațiilor, dar și în cea a utilizatorilor, care trebuie să cunoască și să exploateze corect sistemul. Dezavantajele principale sunt determinate de:

- Viteza de lucru mai redusă decât în cazul utilizării unor componente hardware specializate pe achiziția de date. Viteza poate fi însă crescută prin programarea în limbaje de nivel înalt având compilatoare performante, respectiv programarea secvențelor critice în limbaj de asamblare.
- Timpii de elaborare și de testare relativi mari ai aplicațiilor complexe.
- Necesitatea utilizării unor sisteme de calcul cu resurse de memorie mărite; deoarece în ultima perioadă de timp prețurile de achiziție a memoriilor de lucru (RAM), precum și a memoriilor externe (harddiskuri) au scăzut foarte mult, acest dezavantaj nu mai are o pondere deosebită.

Tendința de înlocuire a componentelor hardware prin software este sprijinită și de apariția pe piață a unor procesoare de uz general tot mai performante și mai ieftine, procesoare care accelerează execuția modulelor software, permițând achiziții și prelucrări de date în timp real la costuri scăzute.

**Bibliografie:** [1], [2], [6], [7], [9], [10], [11], [13], [15], [16], [17], [22], [24], [27], [28], [31], [33], [37], [40], [50], [51], [58], [59], [60], [61], [63], [64], [67], [68], [72], [73], [74], [77], [78], [79], [81], [86].

## 9 Studii experimentale și aplicații originale privind optimizarea funcționării MDMV

### 9.1 Compensarea dinamică a densității materialului în vrac

La capitoul de determinare al caracteristicilor funcționale pentru dozatoarele cu melc, s-a utilizat ca bază formula generalizată a debitului masic pentru dozatoarele volumice [70]:

$$\dot{m} = A_{ef} \cdot v_{ax} \cdot \rho_r \cdot \varepsilon, \quad \text{unde:}$$

$\langle A_{ef} \rangle$  este aria secțiunii efective de transport a materialului în vrac,

$\langle v_{ax} \rangle$  este viteza axială de deplasare a materialului în vrac (dependentă de turația elementului de dozare),

$\langle \rho_r \rangle$  este densitatea reală a materialului în vrac (la nivelul elementului de dozare), iar

$\langle \varepsilon \rangle$  este gradul de umplere al elementului de dozare (care este unitar în cazul umplerii complete).

Prin explicitarea și analiza mărimilor prezente în relația debitului de material dozat a rezultat că, la dozarea unui același material, debitul de material se poate modifica doar datorită variațiilor de densitate ale materialului, ca urmare a compresibilității sale, respectiv prin modificarea turației de antrenare a elementului de dozare, care este de fapt mărirea de reglare a dozatorului.

Această concluzie se oglindește în egalitatea rapoartelor:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad \text{unde:}$$

$\langle \rho_1 \rangle$  și  $\langle \rho_2 \rangle$  reprezintă densitățile materialului în vrac, determinate pe baza presiunii măsurate la momentele  $\langle t_1 \rangle$  și respectiv  $\langle t_2 \rangle$ , iar

$\langle n_1 \rangle$  și  $\langle n_2 \rangle$  reprezintă turația elementului de dozare, la momentele  $\langle t_1 \rangle$  și respectiv  $\langle t_2 \rangle$ .

Explicitând densitatea materialului în vrac, pe baza relației lui Kawakita, s-a calculat un coeficient de compensare de turație, coeficient ce exprimă modificarea necesară de turație a elementului de dozare, pentru compensarea variației densității materialului în vrac:

$$C_{cn} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} = \frac{a^* \cdot b^* \cdot (p_1 - p_2)}{(1 + b^* \cdot p_2)(1 + b^* \cdot p_1 - a^* \cdot b^* \cdot p_1)}, \quad \text{unde:}$$

$\langle a^* \rangle$  și  $\langle b^* \rangle$  reprezintă constantele lui Kawakita ale materialului în vrac.

Cu ajutorul acestui coeficient de compensare de turație, și pe baza raportului de transmitere al mișcării între elementul motor și cel de dozare, se poate determina în timp real mărirea de comandă a MDMV, în scopul menținerii constante a debitului de material dozat:

$$n_{m2} = i \cdot n_2, \quad \text{unde:}$$

$\langle n_{m2} \rangle$  este turația motorului de antrenare, la momentul  $\langle t_2 \rangle$ , iar

$\langle n_2 \rangle$  este turația de compensare a elementului de dozare (melc), la momentul  $\langle t_2 \rangle$ .

Față de modelul matematic clasic, de la care s-a pornit prin acceptarea ca bază a formulei generalizate a debitului masic pentru dozatoarele volumice, cu ipotezele simplificatoare aferente, metoda de compensare dinamică a variației de densitate a materialului în vrac introduce corecția în timp real a caracteristicilor procesului de dozare. Astfel este posibilă optimizarea mărimii de comandă a MDMV; funcție de mărimile real măsurate în procesul de dozare, ceea ce duce la îmbunătățirea preciziei și constanței dozării.

## 9.2 Implementarea sistemului de măsurare și control al MDMV

Implementând soluțiile descrise la capitolul de prezentare a metodei de compensare dinamică a densității de material în vrac, achiziția de date realizată experimental s-a bazat pe utilizarea unor senzori rezistivi de forță (tip FSR - Force Sensing Resistor), cu care s-a măsurat variația de presiune a coloanei de material în vrac.

Prin utilizarea unui senzor de tip FSR, s-a putut genera o mărime de ieșire liniară, cu un domeniu de variație foarte larg, între  $1 \text{ k}\Omega$  și  $2 \text{ M}\Omega$ , corespunzând unor forțe de  $98,1 \text{ N}$ , respectiv  $0,0981 \text{ N}$ , aplicate normal pe o suprafață activă circulară cu diametrul de  $7,56 \text{ mm}$ . (Mărimi medii pentru clasa de calitate a senzorilor utilizați, ce permite abateri de până la  $3 \%$ .) Erorile termice de măsurare la senzorii de tip FSR sunt neglijabile, dacă domeniul de lucru se găsește în intervalul  $0 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Folosirea senzorului de tip FSR, cu domeniu de variație mare, a permis obținerea de erori de măsurare relative mici, chiar și cu convertoare analog-digitale mai puțin performante (de  $8 - 10$  biți), fără a fi necesară utilizarea unor trepte de amplificare, care ar fi introdus erori suplimentare în lanțul de măsurare.

Datorită proprietăților senzorilor de tip FSR s-a diminuat și influența vibrațiilor din mediul de măsurare. Erorile termice, ce sunt foarte reduse la senzorii de tip FSR, sunt considerate nule, atât datorită faptului că măsurătorile se execută la intervale de timp foarte mici, cât și în raport cu celelate erori remarcate.

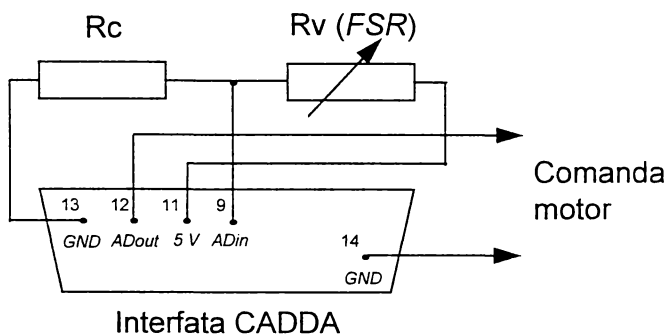


Fig. 9.1 - Schema de conectare a senzorului FSR la convertorul analog-digital  
Notății:

CADDA - convertor analogic-digital și digital-analogic

GND - masa (*ground*)

5 V - alimentarea cu tensiune continuă și constantă de 5 V

DAout - canalul digital-analog de ieșire al CADDA, pentru comanda motorului de antrenare



ADin - primul canal analog-digital al CADDA, pentru măsurarea variațiilor de tensiune la senzorul FSR

Rv - rezistența variabilă a senzorului de tip FSR (cu variație liniară, între 1 k $\Omega$  și 2 M $\Omega$ )

Rc - rezistență constantă, aleasă convenabil, în funcție de domeniul de variație al tensiunii de măsurat (între 40 - 80 k $\Omega$ )

Erorile cele mai mari, induse în lanțul de măsurare de câmpurile electro-magnetice variabile existente în spațiul de măsurare, au fost corectate pe cale software, prin intermediul unui filtru dinamic expert, de concepție originală, care a redus abaterile de la aproximativ 10 % la maxim 2,5 %, fără a denatura dinamica semnalelor măsurate. Aceasta a fost posibil datorită faptului că, filtrul utilizat urmărește variația mărimii măsurate, eliminând valorile cu erori mari și mediază valorile acceptate, fără a folosi un prag de tăiere ca la filtrele analogice. (Vezi și descrierea filtrului dinamic expert.)

Valorile rezultate pentru presiunea coloanei de material în vrac, la nivelul elementului de dozare, vor determina mărimea de comandă a MDMV, calculată pe baza relației coeficientului de compensare al turației. Deoarece filtrul dinamic expert are un algoritm de calcul simplu, este posibilă comanda în timp real chiar și la utilizarea unor sisteme de calcul cu performanțe modeste.

### 9.3 Optimizarea filtrării datelor achiziționate de la MDMV

După cum s-a arătat deja, datele achiziționate ce caracterizează variația presiunii coloanei de material din depozitul dozatorului trebuie să fie filtrate în sensul eliminării valorilor cu erori de măsurare grosolane și totodată, pentru atenuarea variațiilor ce pot fi determinate de curgerea neregulată a materialului sau de pulsațiile ce pot fi induse de amestecătoare, fără a denatura însă informația privind evoluția curgerii materialului în vrac.

Deoarece filtrele analogice clasice lucrează cu un prag de tăiere, ele nu pot fi utilizate la filtrarea datelor achiziționate în modul cerut, fiindcă prin acțiunea lor s-ar elimina valori în raport cu prag de tăiere fix, și nu prin raportarea dinamică la variația semnalului măsurat [4], [53], [76].

Trebuie ținut cont și de faptul că, procesul de reglare la MDMV trebuie realizat în timp real, ceea ce presupune minimizarea timpilor de execuție a etapelor de achiziție și de prelucrare a datelor, respectiv de executare a comenzii reglare. Cum timpii de achiziție și de executare a reglării depind esențial de performanțele hardware ale convertorului analogic-digital, respectiv ale celui digital-analogic, rezultă că, pe cale software, se pot îmbunătăți performanțele circuitului de reglare în special optimizând algoritmi de filtrare a valorilor achiziționate.

De regulă, pentru funcții de filtrare complexe se utilizează algoritmi bazați pe transformata Fourier rapidă (FFT), dezavantajul acestora fiind că, datorită calculelor complexe, pentru reglarea în timp real sunt necesare sisteme de calcul cu performanțe ridicate.

Din acest motiv, autorul a dezvoltat filtrul dinamic expert, care are un algoritm scurt, cu execuție rapidă, și care este optimizat pentru prelucrarea semnalelor ce caracterizează curgerea materialelor în vrac.

## 9.4 Soluția originală a filtrul dinamic expert

Metodica de aplicare a acestui filtru este următoarea: se realizează un ciclu de măsuratori, care generează un număr de  $N$  valori (în mod uzual între 10 și 30), valori ce sunt prevelate la intervale de timp (aproximativ) egale, foarte apropiate. Numărul de elemente ale unei serii se va stabili mai mare sau egal cu numărul de valori ce se încadrează în perioada unor eventuale perturbații ce se observă a fi (relativ) ciclice. Pentru procesele mecanice cu variații lente sunt suficiente intervale de măsurare de 20 - 100 ms, astfel încât să se obțină între 10 până la 50 de valori pe secundă de la dispozitivul de achiziție de date [76].

Valorile unei asemenea serii de măsurători se stochează temporar într-un vector de  $N$  valori, ce urmează a fi sortat în ordine crescătoare. Dacă vectorul de valori conține un număr mai redus de valori (între 10 - 12), sortarea elementelor sale se poate face rapid și prin metoda clasică de comparație succesivă a elementelor vectorului. Pentru un număr mai mare de valori se recomandă aplicarea unor algoritmi mai rapizi de sortare, ca de exemplu algoritmul "Quick-Sort" sau "Bubble-Sort".

Din vectorul de  $N$  valori astfel ordonat, se vor elimina valorile extreme - inferioare și superioare - reducându-se astfel posibilele erori de măsurare și perturbațiile externe, respectiv cele determinate de curgerea neuniformă a materialului în vrac. Ca valoare orientativă, se pot elimina primele și ultimele  $N/4$  (până la  $N/3$ ) valori ale vectorului sortat. Numărul optim al valorilor de eliminat va putea fi determinat pe cale experimentală, funcție de ponderea valorilor cu erori ce se doresc a fi eliminate și de numărul total de valori ale seriei de măsurători.

Valorile centrale rămase vor fi mediate, în mod uzual liniar, cu sau fără ponderare, funcție de caracterul semnalului urmărit și de condițiile impuse de prelucrările ulterioare.

Caracterul adaptativ expert al acestui filtru este determinat de următoarele sale proprietăți:

- Prin modificarea numărului total de valori ale vectorului, al valorilor eliminate și respectiv al valorilor utilizate în calculul mediei, se poate realiza modificarea dinamică a caracteristicilor de filtrare, în funcție de mărimea valorilor absolute de intrare, de timp sau de alte condiții impuse.
- Pe baza metodei de mediere cu ponderare a valorilor selectate, se poate include în valoarea de ieșire din filtru informație specifică de proces, în scopul optimizării reglării procesului supraveheat.

Filtrul astfel realizat va furniza la ieșire un semnal corectat, ce păstrează însă dinamica semnalului de intrare, fiind astfel optimizat pentru controlul MDMV, respectiv al SDMV.

Pe baza informațiilor prezentate mai sus, se poate realiza schema generală de aplicare a filtrului dinamic expert:

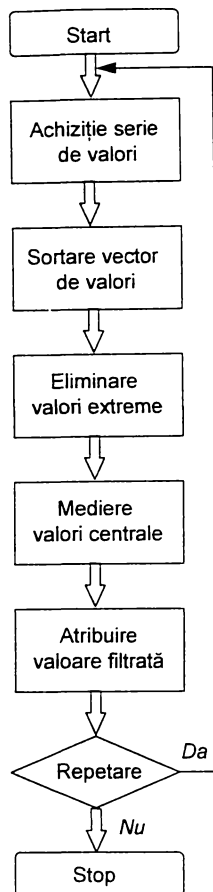


Fig. 9.2 - Schema logică a filtrului dinamic expert

În cele ce urmează, se exemplifică modul de programare al filtrului dinamic expert, în limbajul Turbo-Pascal:

```

const
Nmin = 1;                {dimensiunile vectorului de date}
Nmax = 10;
Margin = 2;              {numărul de elemente de eliminat, la extreme}
                          {definirea vectorului de valori;}

type matrix = array [Nmin..Nmax] of word;
var
MatrixX: matrix;
MedX: real;              {valoarea mediată}
  
```

```

procedure ListX(var List: matrix); {citirea/achiziția de date}
var i: word;
begin
for i:= Nmin to Nmax do
    List[i]:=ReadX;
end;

procedure SortMatrix(var List: matrix); {sortare vectorului de valori}
var i, Temp, Flag: word;
begin
repeat
Flag:= 0;
    for i:= Nmin to (Nmax-1) do
        begin
            if List[i] > List[i+1] then
                begin
                    Flag:= 1;
                    Temp:= List[i+1];
                    List[i+1]:= List[i];
                    List[i]:= Temp;
                end;
        end;
until Flag = 0;
end;

Function Average(List: matrix): real; {medierea/filtrarea valorilor vectorului}
var i, Sum: word;
begin
Sum:= 0;
for i:= (Nmin+Margin) to (Nmax-Margin) do
    Sum:= Sum + List[i];
Average:= Sum /(Nmax - Nmin + 1 - 2*Margin);
end;

begin
                                {main}
ListX(MatrixX);
SortMatrix(MatrixY);
MedX:= Average(MatrixX);

writeln("Valoarea filtrată a canalului X = ", MedX:6:2);
end.

```

## I. Exemplu de aplicare a filtrului dinamic expert asupra unui semnal (teoretic) constant

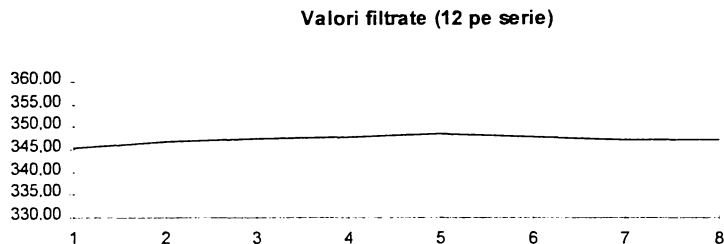
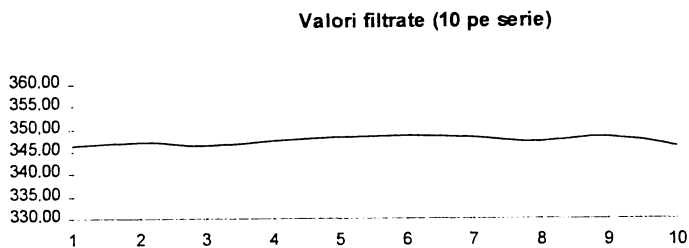
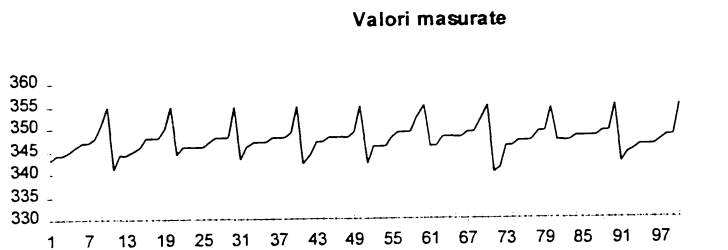


Fig. 9.3 - Exemplu de aplicare a filtrului dinamic expert asupra unui semnal (teoretic) constant, provenit de la senzorul de poziție al unui element mecanic aflat în repaos (Pe axa verticală s-a reprezentat poziția față de un punct de referință fix, în valori numerice absolute furnizate de convertorul analog-digital necalibrat.)

Din analiza acestor grafice, respectiv a datelor experimentale corespunzătoare (prezentate la finele capitoului), se poate concluziona că, dacă numărul de elemente din seria de valori de prelucrare a filtrului dinamic se alege corespunzător - mai mare sau egal cu numărul de valori ce sunt încadrate în perioada unui semnal perturbator (relativ) ciclic - atunci filtrul dinamic expert va furniza rezultate foarte apropiate, indiferent de numărul de elemente ale seriei utilizate. Pentru un semnal constant, erorile relative maxime pentru cazurile comparate au fost sub 0,5 %.

## II. Exemplu de aplicare a filtrului dinamic expert asupra unui semnal variabil

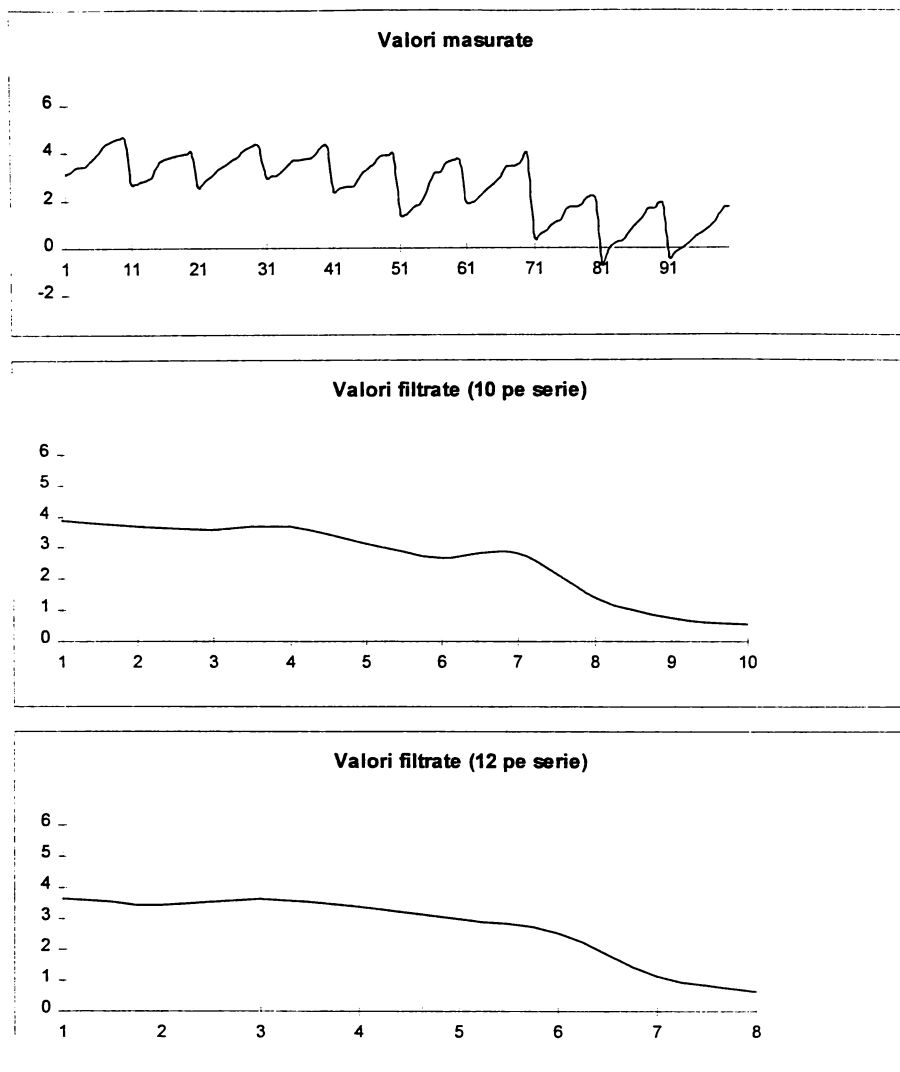


Fig. 9.4 - Exemplu de aplicare a filtrului dinamic expert asupra unui semnal de presiune variabilă, în  $\langle \text{kN/m}^2 \rangle$ , provenit de la senzorul de presiune de tip FSR

Din analiza acestor grafice, respectiv a datelor experimentale corespunzătoare (prezentate la finele capitoului), se poate concluziona că, dacă numărul de elemente din seria de valori de prelucrare a filtrului dinamic se alege corespunzător - mai mare sau egal cu numărul de valori ce sunt încadrate în perioada unui semnal perturbator (relativ) ciclic - atunci filtrul dinamic expert va furniza rezultate foarte apropiate, indiferent de numărul de elemente ale seriei utilizate. Pentru un semnal variabil, erorile relative maxime pentru cazurile comparate au fost sub 2,5 %. Desigur că, dacă numărul de valori pe seria de filtrare se mărește, va crește și efectul de netezire al curbei de variație a semnalului la trecerea prin filtrul dinamic expert.

Această proprietate a filtrului prezentat va putea fi folosită funcție de specificul aplicațiilor realizate și modul de reglare dorit. Dacă filtrarea se face cu eșantioane cu un număr mai mic de elemente, mărirea de ieșire din filtru va urmări variațiile mării de intrare mai îndeaproape, dar va fi și mai puternic influențată de perturbații; crescând numărul de elemente ale eșantionului de filtrare, se va diminua influența variațiilor semnalului de intrare.

## 9.5 Determinarea vitezei reale maxime de achiziție a sistemului de măsurare

Deoarece lanțul de măsurare format între senzorul extern și calculator este foarte complex, este recomandat a se testa practic sistemul de măsurare, pentru a determina viteza reală maximă de obținere a datelor de măsurare.

În acest scop se aplică la intrarea dispozitivului de achiziție un semnal de intrare cunoscut, de regulă un semnal sinusoidal de frecvența prestabilită, produs cu un generator de funcții. Prin utilizarea programului de achiziție, se vor determina numărul și valorile datelor achiziționate într-un interval de timp dat (mai mare decât perioada semnalului de referință), valori ce vor fi stocate după încheierea măsurătorii pe hard-disk, pentru analizarea vitezei de achiziție.

În mod concret, dacă se utilizează ca semnal de referință un semnal sinusoidal cu frecvența de 50 Hz, în fisierul de date stocat pe disc va trebui să regăsim un șir de 24 de valori ( $\text{frecvența}/2 - 1$ ) între două treceri succesive prin valoarea zero a semnalului eșantionat. Crescând valoarea frecvenței semnalului de referință, se va putea determina frecvența limită, începând de la care sistemul de măsurare pierde valori de măsurare. Astfel se poate stabili frecvența maximă pentru semnalul de intrare, respectiv viteza reală maximă de achiziție a sistemului utilizat.

## 9.6 Metode de creștere a vitezei reale maxime de achiziție a datelor

Dacă semnalele de măsurat au frecvențe ridicate, situându-se în zona limitei superioare pentru sistemului de achiziție a datelor, viteza maximă de execuție a procesului de achiziție va crește, în cazul în care stocarea datelor achiziționate se face în memoria de lucru (RAM), datele fiind stocate în memorii externe (nevolatile) doar după încheierea procesului de măsurare. Astfel, funcție de precizia impusă datelor de măsurare, va crește și necesarul de memorie de lucru a calculatorului, deci și costul sistemului de calcul utilizat.

Un câștig suplimentar de viteză la procesul de achiziție se mai poate obține, dacă datele achiziționate se stochează în formă brută în memoria de lucru a calculatorului, prelucrările numerice urmând a se face după încheierea procesului de măsurare propriu-zis.

Dacă se achiziționează cantități mari de date, o soluție ar fi transferarea acestora direct în memoria calculatorului (RAM, respectiv pe hard-disk), utilizând pentru aceasta accesul direct la memorie (*Direct Memory Access - DMA*), soluție bazată pe funcții implementate hardware în PC. Aceasta metodă este complexă, necesitând un efort de programare mărit, avantajul ei fiind că transferul de date nu solicită timp de execuție procesorului principal al sistemului, acesta putând efectua alte operații în acest timp.

La stații de lucru cu performanțe modeste, sub sistemul de operare DOS se mai poate obține un câștig de viteză pentru procesul de achiziție și memorie liberă suplimentară, dacă afișarea datelor pe monitor în timpul procesului de achiziție se face în mod text și nu în mod grafic.

## 9.7 Comanda MDMV pe baza filtrului dinamic expert

După cum rezultă din descrierea filtrului dinamic expert, acesta este optimizat pentru controlul MDMV, respectiv pentru integrarea în SDMV. Filtrând cu acesta valorile măsurate pentru presiunea coloanei de material în vrac, se poate determina la intervale de timp constante (între 0,1 - 0,5 s) mărimea de comandă - turația motorului de antrenare a elementului de dozare (melcul) - calculată pe baza coeficientului de compensare dinamică.

Comanda turației se va putea face direct prin convertorul digital-analog al plăcii de achiziție, care va controla, în valori discrete, tensiunea sau respectiv intensitatea curentului de alimentare al motorului de antrenare al elementului de dozare.

### 9.7.1 Exemplu de reglare optimizată al unui dozator cu melc

Praful de calcar este foarte compresibil, motiv din care se pretează foarte bine pentru prezentarea modului de aplicare a metodei de compensare dinamică. În cele ce urmează, se prezintă în mod grafic etapele necesare reglării procesului de dozare a prafului de calcar, valorile numerice corespunzătoare regăsindu-se în cadrul capitolului de date experimentale.

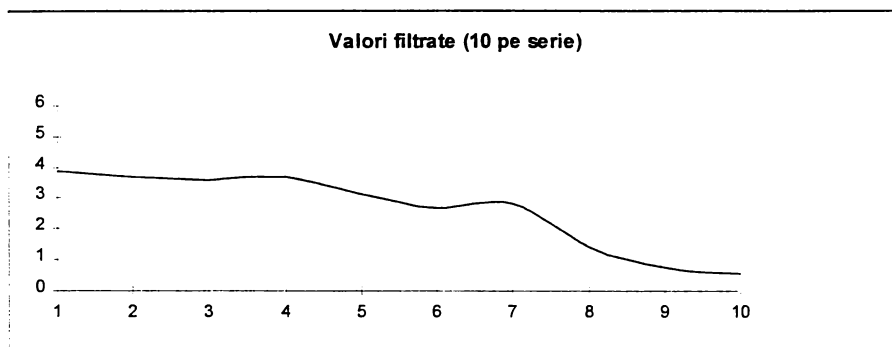


Fig. 9.5 - Presiunea măsurată de senzorul de tip FSR și filtrată cu filtrul dinamic expert (Pe axa verticală s-a reprezentat presiunea, în  $\langle \text{kN/m}^2 \rangle$ .)

Pentru praful de calcar se cunosc următoarele proprietăți fizice, utilizate pentru calculul densității reale după relația lui Kawakita:

Proprietate:	Densitatea normală:	Constantele Kawakita:	
Material:	$\rho_0$ $\langle \text{kg/m}^3 \rangle$	$a^*$ $\langle - \rangle$	$b^*$ $\langle \text{m}^2/\text{kN} \rangle$
Pulbere de calcar	748,0	0,918	0,218

Tab. 9.1 - Proprietăți fizice ale pulberii de calcar



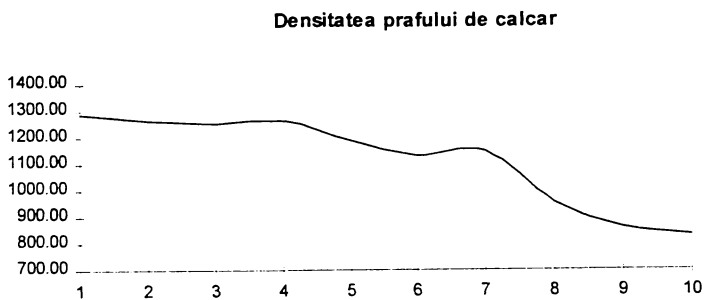


Fig. 9.6 - Variația densității reale a prafului de calcar, determinată pe baza relației lui Kawakita (Pe axa verticală s-a reprezentat densitatea în  $\text{kg/m}^3$ .)

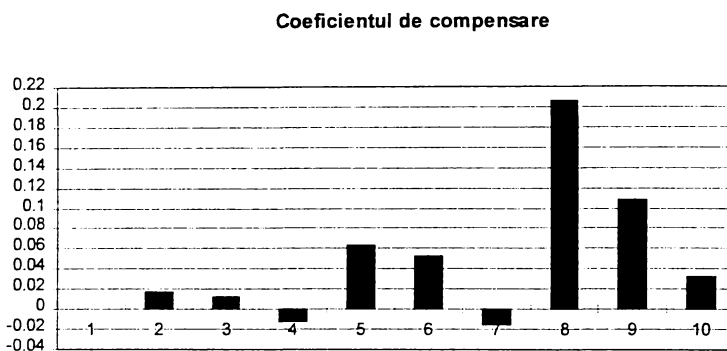


Fig. 9.7 - Valorile coeficientului de compensare a turației (adimensional)

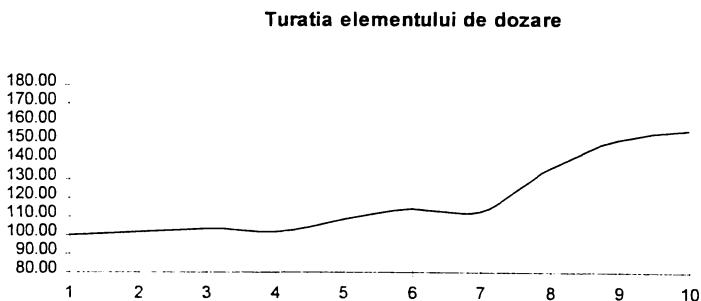


Fig. 9.8 - Variația turației de compensare a elementului de dozare, în scopul menținerii constante a debitului masic furnizat de dozator (Pe axa verticală s-a reprezentat turația, în  $\text{rot/min}$ , turația de referință inițială fiind de 100  $\text{rot/min}$ .)

O soluție mai simplă, dar și mai puțin precisă, ar fi comanda în trepte a motorului MDMV, ea constând în stabilirea unor trepte de turație pentru motorul de antrenare, corespunzătoare unor intervale de variație ale presiunii coloanei de material în vrac. Pe această cale s-ar crește precizia și constanța dozării, în special la MDMV volumetrică (fără măsurarea masei). Folosind un calculator de tip PC cu rol de regulator, în acest caz, s-ar putea utiliza pentru comanda execuției un dispozitiv de comandă cu relee, care, conectat la portul paralel al calculatorului, va putea comanda între 8 și 256 trepte de turație.

Datorită simplității sale, această ultimă soluție se pretează foarte bine pentru integrarea într-un microcontroler, care preia semnalul de încărcare al depozitului de material prin intermediul unui senzor de presiune, calculează compensarea de turație și comandă modificarea de turație a elementului de dozare. Cu un asemenea dispozitiv de reglare automată montat suplimentar la MDMV volumetrică, s-ar optimiza funcționarea acestora din punct de vedere al preciziei și constanței dozării, costurile de producție și de exploatare fiind minime.

## 9.7.2 Date experimentale

Datele numerice prezentate mai jos au fost utilizate la realizarea graficelor sintetice din paragrafele prezentând filtrul dinamic expert și respectiv comanda MDMV, pe principiul compensării dinamice a variației de densitate a materialului în vrac, cu ajutorul filtrului dinamic expert.

Exemplul I.

Analiza datelor prelucrate cu un filtru dinamic expert, în cazul stabilirii poziției unui obturator mecanic aflat în stare (aproximativă) de repaus.

Tab. 9.2 - Cazul 1: Date obținute cu ajutorul unui filtru dinamic expert, lucrând cu serii de 10 valori, aplicate unui eșantion de 100 de valori.

346,50
347,00
346,50
347,50
348,00
348,50
348,00
347,00
348,00
346,00

Tab. 9.3 - Cazul 2: Date obținute cu ajutorul unui filtru dinamic expert, lucrând cu serii de 12 valori, aplicate aceluiași eșantion (primele 96 de valori).

345,50
346,67
347,33
347,83
348,33
347,83
347,17
347,00

Din analiza acestor valori numerice, precum și a graficelor corespunzătoare din paragraful de prezentare a filtrului dinamic expert, se poate concluziona că, dacă numărul de elemente din seria de valori de prelucrare a filtrului dinamic se alege corespunzător - mai mare sau egal cu numărul de valori ce sunt încadrate în perioada unui semnal perturbator (relativ) ciclic - atunci filtrul dinamic expert va furniza rezultate foarte apropiate, indiferent de numărul de elemente ale seriei utilizate. Pentru un semnal teoretic constant, erorile relative maxime pentru cazurile comparate au fost sub 0,5 %.

## Exemplul II.

Analiza variației densității reale a prafului de calcar la un proces de dozare, în scopul exemplificării principiului compensării dinamice a variației de densitate a materialului în vrac, utilizând un filtru dinamic expert.

Tab. 9.4 - Valorile brute achiziționate de convertorul analog-digital:

1581	1628	1647	1684	1909
1572	1603	1631	1683	1864
1554	1587	1629	1663	1837
1551	1564	1627	1642	1827
1528	1548	1594	1616	1798
1501	1532	1565	1596	1772
1472	1521	1545	1554	1743
1460	1490	1521	1551	1709
1449	1479	1512	1539	1707
1448	1477	1507	1510	1691
1615	1593	1733	1815	1886
1609	1585	1732	1799	1871
1605	1584	1705	1788	1849
1593	1554	1691	1758	1836
1536	1531	1652	1749	1811
1523	1529	1583	1708	1792
1518	1523	1579	1704	1776
1514	1516	1542	1697	1754
1506	1491	1529	1666	1710
1500	1480	1528	1666	1704

Valorile prelucrate cu filtrul dinamic expert:

Tab. 9.5 - Cazul 1: Date obținute cu ajutorul unui filtru dinamic expert, lucrând cu serii de 10 valori, aplicate unui eșantion de 100 de valori.

1514,50
1529,50
1540,00
1530,00
1579,50
1617,50
1606,00
1728,50
1785,00
1801,50

Tab. 9.6 - Cazul 2: Date obținute cu ajutorul unui filtru dinamic expert, lucrând cu serii de 12 valori, aplicate aceleiași eșantion (primele 96 de valori).

1533.50
1552.50
1535.00
1556.75
1589.00
1629.25
1750.75
1793.25

Presiunea în masa de material (în  $\langle \text{kN/m}^2 \rangle$ ), la nivelul elementului de dozare:

Tab. 9.7 - Cazul 1: Date obținute cu ajutorul unui filtru dinamic expert, lucrând cu serii de 10 valori, aplicate unui eșantion de 100 de valori.

3.867644
3.694724
3.573680
3.688960
3.118324
2.680260
2.812832
1.400652
0.749320
0.559108

Tab. 9.8 - Cazul 2: Date obținute cu ajutorul unui filtru dinamic expert, lucrând cu serii de 12 valori, aplicate aceleiași eșantion (primele 96 de valori).

3.648612
3.429580
3.631320
3.380586
3.008808
2.544806
1.144154
0.654214

Din analiza acestor valori numerice, precum și a graficelor corespunzătoare din paragraful de prezentare a filtrului dinamic expert, se poate concluziona că, dacă numărul de elemente din seria de valori de prelucrare a filtrului dinamic se alege corespunzător - mai mare sau egal cu numărul de valori ce sunt încadrate în perioada unui semnal perturbator (relativ) ciclic - atunci filtrul dinamic expert va furniza rezultate foarte apropiate, indiferent de numărul de elemente ale seriei utilizate. Pentru un semnal variabil, erorile relative maxime pentru cazurile comparate au fost sub 2,5 %.

Tab. 9.9 - Densitatea reală a prafului de calcar (determinată cu relația lui Kawakita, în  $\text{kg/m}^3$ ):

1289.52
1266.81
1250.83
1266.05
1190.14
1130.87
1148.90
952.55
858.69
830.87

Observație: Se utilizează în continuare numai datele obținute cu ajutorul unui filtru dinamic expert lucrând cu serii de 10 valori, datele obținute în cazul seriilor de 12 valori prezentând abateri minime.

Tab. 9.10 - Coeficientul (adimensional) de compensarea a turației elementului de dozare:

0
0.017927726
0.012772473
-0.012019217
0.063777549
0.052413354
-0.015694176
0.206138388
0.109307648
0.033481881

Tab. 9.11 - Turația compensată (în  $\text{rot/min}$ ) a elementului de dozare - mărimea de comandă a MDMV la canalul de ieșire analogic al convertorului:

100.00
101.79
103.09
101.85
108.35
114.03
112.24
135.38
150.17
155.20

## 9.8 Optimizarea telecontrolului instalațiilor de proces, utilizând Internetul

Utilizarea Internetului, ca rețea de transmitere la mare distanță a informațiilor de control a sistemelor de producție, prezintă următoarele avantaje:

- ⇒ Costuri de exploatare extrem de mici în comparație cu rețelele clasice.
- ⇒ Optimizarea gradului de utilizare a capacităților de producție, datorită accesului temporal decalat la resurse a clienților Internet, situați pe întreg globul, și a posibilității distribuirii comenzilor la sistemele componente, în funcție de capacitățile libere.
- ⇒ Disponibilitate ridicată, datorită traseelor alternative, redundante, de transmitere a informațiilor pe Internet.

Desigur că utilizarea Internetului prezintă și dezavantaje, a căror influență trebuie minimizată, ca de pildă:

- Timpul variabil necesar transmiterii informației între emițător și receptor. Această durată de timp poate fi controlată, respectiv minimizată, utilizând pentru transmitere servicii Internet închise (ca de exemplu serviciul online mondial Compuserve), rețele de comunicație de firmă (ca de exemplu IBM Global Net), respectiv rețele de tip Intranet, care asigură timpi de transmitere a informației de ordinul a câtorva secunde între locații din întreaga lume.
- Necesitate realizării unor transmisii de date cu securitate înaltă, între sistemele de producție și utilizatori, în scopul protejării informațiilor vehiculate față de persoane neautorizate. Transmiterea de date cu securitate ridicată prin Internet se poate realiza actualmente utilizând normele, respectiv interfețele de securitate ale SSL (*Secure Sockets Layer*), existând însă și soluții mai simple, bazate numai pe criptarea informațiilor transmise după algoritmi proprietari sau generali (ca de exemplu: DES, Blowfish).

Desigur, că pentru fiecare caz în parte va trebui efectuată și o analiză economică, din care să rezulte soluția optimă, ca și compromis între necesar și posibil, soluție ce va trebui să confere sistemului realizat scalabilitatea necesară unor extinderi ulterioare.

## 9.9 Metoda originală "InNet Automation Batch"

Din prezentarea de mai sus se poate concluziona că, telecontrolul sistemelor de producție prin Internet, se pretează cel mai bine pentru prelucrări de produse în loturi (*batch*).

Soluția propusă de autor [77], [78] se prezintă astfel: clientul-Internet (respectiv Intranet), ce reprezintă sistemul de producție (dozatorul), stochează parametrii de proces pentru lotul curent într-un fișier local. Programul de control al sistemului de producție verifică existența acestui fișier și actualizează periodic, automatizat, parametrii de proces, conform informațiilor din acest fișier local. După finalizarea lotului curent sau după un interval de timp prestabilit, fișierul local este șters (sau redenumit în scopuri de arhivare), ceea ce determină la următorul acces la acest fișier returnarea unui cod de eroare, pe baza căruia se va declanșa execuția procedurii de încărcare a noului fișier batch de la server, pe principiul "pull", cu o comandă de tipul:

- ⇒ `browser.exe http://www.server.com/batch.cmd` - folosind pentru transferul fișierelor de date prin Internet protocolul "FTP - File Transfer Protocol", bazat pe TCP/IP (Transfer Control Protocol / Internet Protocol).

Observație: Denumirile scrise cu caractere cursive sunt generice, practic ele fiind înlocuite cu denumirile efectiv folosite, respectiv cu URL-urile (*Universal Resource Locator*) corespunzătoare.

O asemenea comandă va determina apelul browser-ului Internet, care va încărca fișierul cu noii parametrii de comandă ("batch.cmd") de pe serverul "www.server.com". Acest fișier va fi stocat local la clientul Internet la care este localizat sistemul de producție, căruia pe această cale i se transmit noii parametrii de proces.

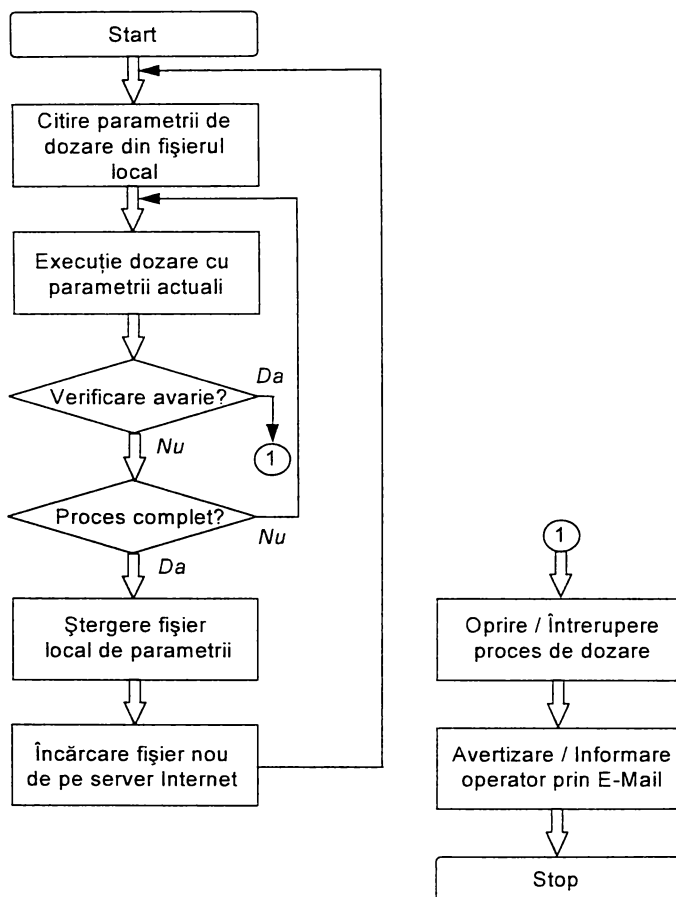


Fig. 9.9 - Schema logică pentru un SDMV cu transmiterea informațiilor de control prin Internet, după metoda "InNet Automation Batch"

Ca exemplu de implementare în Microsoft Visual Basic 5, a metodei de încărcare automată a fișierului de comandă din Internet/Intranet, este prezentată procedura de mai jos:

```

Sub Load_Inet ()
Dim obj As Object
Set obj = CreateObject ("InternetExplorer.application") 'crearea obiectului tip browser
  
```



obj.Visible = False

obj.Navigate "http://www.server.com/batch.cmd", NavNoReadFromCache

End Sub

Observații privind implementarea metodei:

- Încărcarea automată a unui fișier din Internet a fost realizată sub MS Windows 95 cu MS Internet Explorer 4, fiind posibilă după ridicarea restricției de verificare a fișierelor la clientul-Internet (după extensia de nume). Totodată, opțiunea de ștergere a fișierelor temporare după închiderea browserului va trebui să fie deactivată.
- Prezența parametrului "NavNoReadFromCache" este esențială, el determinând întotdeauna încărcarea fișierului de comandă de pe serverul Internet, evitând încărcarea unui versiuni anterioare a fișierului din memoria-tampon locală (*cache*).

În această configurație, clienții-utilizatori vor putea folosi serviciile serverului după introducerea autorizației de acces, transmițând comanda lor spre sistemul central de control a producției, prin completarea și transmiterea unui formular *HTML (HyperText Markup Language)*. Fișierele de comenzi astfel generate vor fi gestionate de server ca o listă *FIFO (First In, First Out)* sau după nivele de prioritate acordate clienților și vor fi distribuite spre locațiile corespunzătoare sistemelor de producție componente, de unde acestea vor putea fi transferate pe sistemele locale.

Metoda permite și protejarea datelor transmise, prin stabilirea unui format proprietar pentru fișierele de comenzi (batch) transferate, format ce poate fi descifrat numai de către programul de control a sistemelor de producție locale.

În caz de avarie la sistemul de dozare, va fi executată o rutină ce oprește, respectiv întrerupe procesul de dozare și care poate transmite automat și un mesaj de tip *e-mail* către operatorul uman, informându-l de avaria survenită. Pe baza serviciului *SMS (Short Message Service)*, este posibilă transmiterea mesajului e-mail și prin rețeaua de telefonie mobilă, la operatori aflați pe teren. Operatorii vor putea reporni procesul de dozare prin telecomandă, în cazul unor probleme mai simple sau, în situații mai complexe, la fața locului, după remedierea erorilor constatate.

**Bibliografie:** [2], [4], [9], [11], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [24], [31], [39], [40], [45], [48], [49], [50], [52], [53], [58], [59], [60], [61], [64], [65], [67], [68], [70], [72], [73], [77], [78], [80], [81], [82], [83].

## **10 Soluții de implementare software ale metodelor originale de optimizare a funcționării MDMV**

Soluțiile originale propuse [76], [77], [78] pentru optimizarea funcționării MDMV, respectiv SDMV au fost concepute pe baza principiilor sistemelor deschise, astfel încât ele pot fi aplicate modular sau în bloc, la extinderea sistemelor existente.

Deoarece soluțiile propuse au un caracter general, ele vor putea fi aplicate atât MDMV gravimetrice, cât și celor volumetrice. Implementată la MDMV, metoda originală de compensare dinamică a variației de densitate a materialului în vrac prin modificarea turației elementului de dozare, va determina creșterea semnificativă a preciziei și constanței dozării, cu un efort investițional minim. La SDMV gravimetrice, implementarea soluției propuse va determina îmbunătățirea generală a performanțelor dozatorului, prin extinderea eficienței a controlului dozării și pe parcursul perioadelor de încărcare a depozitelor cu material în vrac.

Filtrul dinamic expert propus își demonstrează eficiența atât în cazul specific al prelucrării semnalelor achiziționate la procesele de curgere a materialelor în vrac, cât și pentru cazul general, al filtrării semnalelor puternic perturbate. În plus, prin stabilirea și respectiv modificarea dinamică a parametrilor filtrului, acesta va integra și informație specifică de proces, particularizată pentru procesele analizate.

Extinderea telecontrolului prin Internet, respectiv prin rețele de tip Intranet, pe baza metodei originale "InNet Automation Batch", ilustrează perspectivele în domeniul conducerii computerizate a proceselor tehnologice. Metoda propusă este eficientă, simplă de implementat, asigurând totodată și funcționarea independentă, descentralizată a SDMV. Aceste caracteristici, precum și aplicabilitatea ei generală, califică metoda pentru utilizarea în diferite domenii, ea fiind deja implementată în produse comerciale de succes realizate sub conducerea autorului.

### **10.1 Soluție de implementare pentru sistemul de operare MS-DOS**

Codul-sursă în Turbo Pascal este următorul:

```
program Gameport_DOS;
uses crt;

const  Fmax = 98.1;           {forta maxima masurabila de senzor, in <N>}
       Fmin = 0.0981;        {forta minima masurabila de senzor, in <N>}
       SArea = 0.000046;     {suprafata activa a senzorului, in <m2>}

       Timeout = 25;         {intarziere intre citirea canalelor X si Y }
       Nmin = 1;             {dimensiunea vectorului de date}
       Nmax = 10;
       Margin = 2;           {nr. de elemente de eliminat la filtrare}

type matrix = array [Nmin..Nmax] of word; {definirea vectorului de date}
```

var Vmax, Vmin: real;	{valoarea maxima, respectiv minima acceptata la achizitie}
a, b, Dens: real;	{constantele Kawakita: a* si b*; respectiv densitatea materialului in vrac, in <kg/m3>}
MatrixX, MatrixY: matrix;	{vectorul de date ptr. canalul X, respectiv Y}
MedX, MedY: real;	{valorile mediate}
ButtonA1, ButtonA2: word;	{valoarea comutatoarelor}
Data, Cfg: text;	{fisierul de iesire date, respectiv de configurare}

function ReadX: word; {citirea canalului X}

var x: word;

begin

```

asm
mov dx,201h
out dx,al
in al,dx
mov cx,-1
cli
@ag: in al,dx
inc cx
test al,1b
jnz @ag
sti
mov [x],cx
end;
```

ReadX :=x;

end;

function ReadY: word; {citirea canalului Y}

var y: word;

begin

```

asm
mov dx,201h
out dx,al
in al,dx
mov cx,-1
cli
@ag: in al,dx
inc cx
test al,10b
jnz @ag
sti
mov [y],cx
end;
```

end;

function ReadC: word; {citirea starii comutatoarelor}

var Buttons, ButtonsA: word;

begin

asm

mov dx,201h

out dx,al

in al,dx

mov [Buttons],ax

end;

ButtonsA:= Buttons shl 10;

ButtonsA:= ButtonsA shr 14;

ReadC := ButtonsA;

end;

procedure ConvertButtons(Position: word);

begin

case Position of

0: begin

ButtonA1:=1; ButtonA2:=1;

end;

1: begin

ButtonA1:=1; ButtonA2:=0;

end;

2: begin

ButtonA1:=0; ButtonA2:=1;

end;

3: begin

ButtonA1:=0; ButtonA2:=0;

end

else

begin

ButtonA1:=111; ButtonA2:=111;

end;

end;

procedure ListX(var List: matrix); {scrierea valorilor citite pe canalul X in vectorul de date}

var i: word;

begin

for i:= Nmin to Nmax do

List[i]:=ReadX;

end;

procedure ListY(var List: matrix); {scrierea valorilor citite pe canalul Y in vectorul de date}

```

var i: word;
begin
for i:= Nmin to Nmax do
  List[i]:=ReadY;
end;

```

```

procedure SortMatrix(var List: matrix); {sortarea datelor din vector}
var i, Temp, Flag: word;
begin
repeat
Flag:= 0;
  for i:= Nmin to (Nmax-1) do
    begin
      if List[i] > List[i+1] then
        begin
          Flag:= 1;
          Temp:= List[i+1];
          List[i+1]:= List[i];
          List[i]:= Temp;
        end;
    end;
until Flag = 0;
end;

```

Function Average(List: matrix): real; {filtrare datelor din vector: eliminare valori extreme si medierea datelor ramase}

```

var i, Sum: word;
begin
Sum:= 0;
for i:= (Nmin+Margin) to (Nmax-Margin) do
  Sum:= Sum + List[i];
Average:= Sum /(Nmax - Nmin +1 - 2*Margin);
end;

```

```

procedure Matrix0(var List: matrix); {initializarea vectorului - punere la zero a elementelor}
var i: word;
begin
for i:= Nmin to Nmax do
  List[i]:=0;
end;

```

```

procedure Calibrate;           {procedura pentru calibrarea sistemului de masurare}
begin
repeat
  delay(TimeOut);

```

```

ListX(MatrixX);
SortMatrix(MatrixX);
MedX:= Average(MatrixX);

delay(TimeOut);

ListY(MatrixY);
SortMatrix(MatrixY);
MedY:= Average(MatrixY);

writeln(MedX:6:2,' ',MedY:6:2,' ',ReadC);

```

```

until keypressed;
halt;
end;

```

```

procedure Measure;
var i: byte;
    Error: integer;
begin
val(paramstr(1), Vmax, Error);      {stabilirea valorii maxime}
val(paramstr(2), Vmin, Error);      {stabilirea valorii minime}
val(paramstr(3), a, Error);         {introducerea constantei Kawakita a*}
val(paramstr(4), b, Error);         {introducerea constantei Kawakita b*}
val(paramstr(5), dens, Error);      {introducerea densitatii materialului in vrac, in <kg/m3>}
end;

begin                                {main}
if paramcount = 0 then Calibrate
    else Measure;
end.

```

## 10.2 Achiziția de date prin apelul întreruperilor DOS apelate din limbaje de nivel înalt

Codul-sursă în Turbo Pascal este următorul:

```

program interrupt_DOS;
uses dos.crt;

var    v: integer;
        regs: registers;

procedure citire;

```

```

begin
regs.ah:= 132;           {transmiterea parametrilor întreruperii apelate la registrii
                        de stare}

regs.dx:= 1;
intr(15,regs);         {apelul întreruperii 15, de comunicare cu portul}
end;

begin                   {main}
clrscr;

repeat
  citire;
  with regs do
    writeln(ax,' ',bx,' ',cx,' ',dx);
    delay(2000);
until keypressed;
end.

```

### 10.3 Programarea unei biblioteci dinamice (DLL) de achiziție de date pentru sistemele de operare Windows 3.x și Windows 95

Codul-sursă în Borland Pascal este următorul:

```

library read_gameport;   {declaratie biblioteca dinamica}

function readX: word; export; {definirea functiilor publice}
var x: word;
begin
  asm
    mov dx,201h
    out dx,al
    in al,dx
    mov cx,-1
    cli
    @ag: in al,dx
    inc cx
    test al,1b
    jnz @ag
    sti
    mov [x],cx
  end;
readX :=x;
end;

```

```

function readY: word; export;
var y: word;
begin
    asm
        mov dx,201h
        out dx,al
        in al,dx
        mov cx,-1
        cli
        @ag: in al,dx
        inc cx
        test al,10b
        jnz @ag
        sti
        mov [y],cx
    end;
readY := y;
end;

```

```

function readC: word; export;
var cc,c1,c2: word;
begin

```

```

    asm
        mov dx,201h
        out dx,al
        in al,dx
        mov [cc],ax
    end;

```

```

cc:= cc shl 10;

```

```

cc:= cc shr 14;

```

```

    {case cc of                                     {explicitarea starii microcomutatoarelor}

```

```

        0: begin

```

```

            c1:=1; c2:=1;

```

```

        end;

```

```

        1: begin

```

```

            c1:=1; c2:=0;

```

```

        end;

```

```

        2: begin

```

```

            c1:=0; c2:=1;

```

```

        end;

```

```

        3: begin

```

```

            c1:=0; c2:=0;

```

```

        end

```

```

    else

```

```

        begin

```



```

        c1:=666; c2:=666;
    end;
end;}
readC := cc;
end;

exports                                {declararea functiilor publice}
readX index 1,
readY index 2,
readC index 3;
begin                                    {main}
end:

```

### 10.3.1 Exemplu de utilizare al bibliotecii dinamice (DLL) pentru achiziția de date

Codul-sursă în Borland Pascal este următorul:

```

program dll_gameport;

Uses
{$IFDEF WINDOWS}
  WinCrt,WinTypes,WinProcs;
{$ELSE}
  Crt;
{$ENDIF}

{definirea functiilor publice externe utilizate}
function readX: integer; far; external 'gameport' index 1;
function readY: integer; far; external 'gameport' index 2;
function readC: integer; far; external 'gameport' index 3;

begin
gotoxy (5,5);
repeat                                {achizitia de date cu ajutorul functiilor publice externe}
  writeln ('X = ',readX,' ', 'Y = ',readY,' ', 'C = ', readC);
until keypressed;
end.

```

## 10.4 Exemplu de programare în Visual Basic a comenzii optimizate a unui dozator de material în vrac

În cele ce urmează se prezintă modulele unei aplicații realizate pentru Windows 95 și Windows NT, aplicație ce poate realiza comanda optimizată a unui MDMV, prin intermediul unei plăci de achiziție și comandă pe 12 biți.

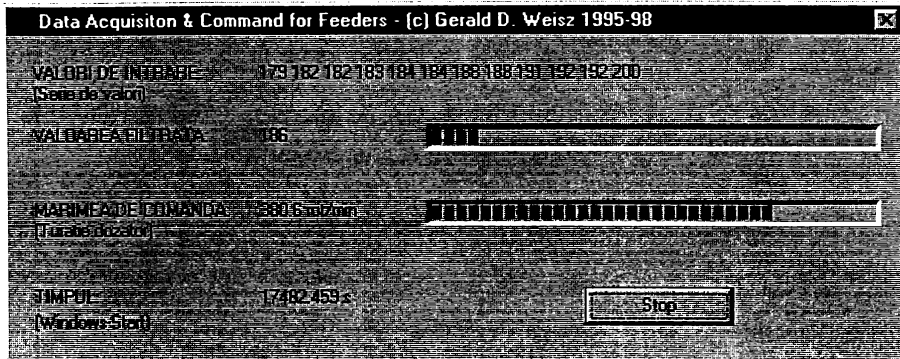


Fig. 10.1 - Interfața-utilizator a programului de comandă optimizată a unui MDMV, realizat în Visual Basic 5

Codul modulelor programului:

*Modul1 (main.bas)*

'Definiții de variabile și parametri pentru procesul de achiziție

'Variabile de identificare CADDA

Public cardtype As Integer

Public baseadr As Integer

Public maxvalue As Integer

'Caracteristicile senzorului FSR 149 utilizat

Public Const Fmax = 98.1 'forta maxima masurabila de senzor, in <N> - incarcare: 10 <Kg>

Public Const Fmin = 0.0981 'forta minima masurabila de senzor, in <N> - incarcare: 10 <g>

Public Const SAarea = 0.000046 'Aria activa a senzorului, in <m2> - diam. de 7,65 <mm>

Public Const k = 0.011528 'constanta de calibrare a sistemului de masurare, presiunea fiind exprimata in <kN/m2>

'Variabilele procesului de achiziție/dozare:

Global pres, pres\_old As Single 'presiunea actuala, resp. anterioara - in <kN/m2>

Global tur, tur\_old, tur\_ini As Single 'turatia actuala/ anterioara/ initiala - <rot/min>

Global dens, dens\_r As Single 'densitatea normala, resp. densitatea reala - <kg/m3>

Global ccn As Single 'coeficientul de compensarea a turatiei - adimensional

Global a, b As Single	'constantele Kawakita: a* si b*, resp. densitate material in vrac <kg/m3>
Public val_in As Single	'valoarea de intrare curenta (filtrata)
Public val_out As Single	'valoarea de iesire, de comanda a turatiei a motorului de antrenare
Global Vmax As Integer	'valoarea maxima achizitionata, corespunzatoare sarcinii maxime medii
Public Const Nmin = 1	'dimensiunile vectorului de date
Public Const Nmax = 12	
Public List(Nmin To Nmax) As Integer	'definirea vectorului de date
Public Margin As Byte	'elementele de exclus din vector la filtrare
Global rxin As RTX_IO_STRUC	'structurile de intrare/iesire CADDA
Global rxout As RTX_IO_STRUC	
Function InitDefaults()	'initializare valori
cardtype = RTX_03A	
baseadr = baseRTX03A	
maxvalue = 4096	
rxin.nCardType = cardtype	'initializare intrare date
rxin.nBase = baseadr	
rxout.nCardType = cardtype	'initializare iesire date
rxout.nBase = baseadr	
Margin = Int(Nmax / 3)	'nr. de elementele de exclus la extremele vectorului
Vmax = 1850	'valoarea maxima (medie) masurata la
exercitarea	
a = 0.918	'sarcinii maxime (Rsmax = 2 MOhm; Rc = 40 KOhm)
b = 0.218	'valori predefinite, ptr. pulbere de calcar
dens = 748	'in <kg/m3>
pres = 0	'suprapresiunea initiala - in <kN/m2>
tur_ini = 100	'turatia de referinta a elem. de dozare - <rot/min>
tur = tur_ini	
End Function	

### Modul2 (rx.bas)

'Declaratii si constante globale pentru accesul la CADDA  
'RTX by Conrad Electronic/CTC

Public Const RTX_03A = 1	'cod de identificare tip convertor
Public Const baseRTX03A = &H290	'Adresa de baza stabilita prin jumperi
Public Const RTX_AI_MIN_CHAN = 0	'canalele de intrare analogice (16: nr. 0 la 15) 200

Public Const RTX\_AI\_MAX\_CHAN = 15

Public Const RTX\_AO\_MIN\_CHAN = 0 'canale de iesire analogice (1: nr. 0)

Public Const RTX\_AO\_MAX\_CHAN\_03A = 0

Public Type RTX\_IO\_STRUC 'structura de date ptr. comunicatia cu CADD  
nCardType As Integer 'tip convertor utilizat  
nBase As Integer 'adresa de baza utilizata  
nChan As Integer 'nr. canalului accesat  
nValue As Integer 'valoarea achizitionata, resp. de comanda  
dwTime As Long 'momentul apelului functiei, in <ms> de la  
'Win-Start

End Type

'Coduri de eroare la utilizarea CADD

Public Const RTX\_SUCCESS = 0

Public Const RTX\_INVALID\_TYPE = -1

Public Const RTX\_INVALID\_CHAN = -2

Public Const RTX\_INVALID\_PARAM = -3

'Functia de citire a unui canal analogic al CADD

Declare Function RTXAnalogIn Lib "RTX32.DLL" (lpRtxIo As RTX\_IO\_STRUC) As Boolean

'Functia de comanda a canalului de iesire analogic al CADD

Declare Function RTXAnalogOut Lib "RTX32.DLL" (lpRtxIo As RTX\_IO\_STRUC) As Boolean

*Form1(main.frm)*

'Forma principala

Option Base 1 'primul element al unui vector = elementul 1

Sub Form\_Load()

InitDefaults

Config

Fname = "c:\windows\temp\data.txt" 'deschidere fisier ptr. salvare date achizitionate  
(brute)

Open Fname For Output As #1

End Sub

Private Sub Command\_OK\_Click()

Close

End

End Sub

```

Private Sub Timer_DAQ_Timer()
'Citire canal analogic intrare
    val_in = Filter
    label_filter.Caption = Str(Int(val_in * 100) / 100)
    ProgressBar_in.Value = Int(Min((val_in / Vmax * 100), 100))
'Afisarea perioadei de timp in <ms> de la Windows-Start
    Label_time.Caption = Str(rtxin.dwTime / 1000) & " s"

'Comanda canal analogic iesire
    val_out = Int(Out * 10) / 10
    rxout.nChan = 0
    rxout.nValue = val_out
    result = RTXAnalogOut(rxout)
    Label_out.Caption = Str(val_out) & " rot/min"
    ProgressBar_out.Value = Int(Min((val_out / tur_ini * 100), 100))
End Sub

```

Function Filter() As Single

```

'Filtrul dinamic expert
    Vector_In                                'achizitia de date brute/scriere in vector
    Rem Sort_Vector                          'sortare pentru vectori de dimensiuni mici
    Call QuickSort(Nmin, Nmax)
    Show_vector                              'afisare vector sortat
    Filter = Average                         'determinarea valorii medii filtrate
    Print #1, Average                        'afisare valoare filtrata si valori brute
    Print #1, ""
End Function

```

Sub Vector\_In()

```

'Citire canal_0 in vector
Dim i, result As Integer
    rxin.nChan = 0
    For i = Nmin To Nmax
        result = RTXAnalogIn(rtxin)
        List(i) = rxin.nValue
        Print #1, rxin.nValue
    Next i
End Sub

```

Sub Sort\_Vector()

```

'Sortarea valorilor din vectorul intrare (pentru vectori de dimensiuni mici)
Dim i, temp, Flag As Integer
Dim vector_str As String

```

```

vector_str = ""
Do
  Flag = 0
  For i = Nmin To (Nmax - 1)
    If List(i) > List(i + 1) Then
      Flag = 1
      temp = List(i + 1)
      List(i + 1) = List(i)
      List(i) = temp
    End If
  Next i
Loop Until Flag = 0
End Sub

```

```

Sub QuickSort(ByVal left As Integer, ByVal right As Integer)
'Sortare rapida, ptr. vectori de dimensiuni mari (mai mult de 12 elemente)
'Apelare Quicksort cu stanga (left) = 1, dreapta (right) = numar de elemente vector
Dim mid As Integer           'continutul elementului de mijloc
Dim temp As Integer          'element temporar de schimb
Dim j As Integer             'contoare de parcurgere vector: de la stanga,
Dim k As Integer             'resp. dreapta
j = left                     'initializare contoare
k = right
mid = List((left + right) \ 2) 'atribuirea elementului de mijloc
Do
  While List(j) < mid         'prelucrarea vectorului dinspre extrema stanga
    j = j + 1
  Wend                       'ptr. elemente ce sunt >= mid
  While mid < List(k)         'prelucrarea vectorului dinspre extrema dreapta
    k = k - 1
  Wend                       'ptr. elemente ce sunt <= mid
                             'daca j si k sunt diferite
  If j <= k Then
    temp = List(j)           'se schimba continutul elemntelor
    List(j) = List(k)
    List(k) = temp
    j = j + 1                 'si se continua la elementul urmator din stanga
    k = k - 1                 'respectiv din dreapta
  End If
Loop Until j > k             'pana ce elementele j si k sunt egale
If left < k Then             'daca la stanga mai ramane un domeniu de
                             'verificat -> reapelare

  Call QuickSort(left, k)

End If
If j < right Then           'daca la stanga mai ramane un domeniu de
                             'verificat -> reapelare

```

```
End If
End Sub
```

```
Function Average() As Single
```

```
'Calcularea mediei dinamice a vectorului
```

```
Dim i, Sum As Integer
```

```
Sum = 0
```

```
For i = (Nmin + Margin) To (Nmax - Margin)
```

```
Sum = Sum + List(i)
```

```
Average = Sum / (Nmax - Nmin + 1 - 2 * Margin)
```

```
Next i
```

```
End Function
```

```
Sub Show_vector()
```

```
'Afisare vector sortat
```

```
For i = Nmin To Nmax
```

```
vector_str = vector_str & Str(List(i))
```

```
Label_in.Caption = vector_str
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

```
Function Min(ByVal x As Single, ByVal y As Single) As Single
```

```
'Calculul minimului a doua valori - ptr. afisarea in bara de progres
```

```
If x <= y Then
```

```
Min = x
```

```
Else: Min = y
```

```
End If
```

```
End Function
```

```
Function Out() As Single
```

```
'Calculul turatiei de comanda a elementului de dozare
```

```
pres_old = pres
```

```
pres = val_in * k 'presiunea in masa de material. in <kN/m2>
```

```
dens_r = dens * (1 + b * pres) / (1 + b * pres - a * b * pres)
```

```
ccn = a * b * (pres_old - pres) / ((1 + b * pres) * (1 + b * pres_old - a * b * pres_old))
```

```
tur_old = tur
```

```
tur = tur_old * (1 + ccn)
```

```
Out = tur
```

```
End Function
```

Sub Config()

```
'Configurare prin fisier de configurare extern, cu reconfigurare automata, ciclica
  On Error Resume Next          'daca nu exista fisierul, se lucreaza cu
                                  'parametrii predefiniti ai lotului

  Open "c:\windows\temp\cfg.dta" For Input As #10
  Line Input #10, a_string$
  a = CSng(a_string) / 1000
  Line Input #10, b_string$
  b = CSng(b_string) / 1000
  Line Input #10, dens_string$
  dens = CSng(dens_string)
  Close #10
End Sub
```

#### 10.4.1 Fișierul de configurare automată

Fișierul text listat mai jos este utilizat pentru configurarea automată a procesului de dozare. Ca fișier extern, el poate fi actualizat periodic, automatizat, prin intermediul unui server Internet, după metoda originală "InNet Automation Batch". Programul prezentat mai sus conține o subrutină ("Config"), care verifică, dacă noii parametri ai procesului de dozare au putut fi citiți corect din fișierul de configurare extern, în caz de eroare continuându-se procesul pe baza parametrilor inițiali.

Fișierul de configurare extern, "cfg.dta":

918  
218  
748

'Parametrii de configurare ai procesului de dozare:

'Constanta Kawakita: a - 1000, adimensional

'Constanta Kawakita: b - 1000, în <m<sup>2</sup>/kN>

'Densitatea materialului în vrac, în <kg/m<sup>3</sup>>

'Inmultirea cu factorul 1000 se face în scopul evitării erorilor de convertire a numerelor reale!

Functie de necesități, la transmiterea fișierului de comandă prin Internet după metoda "InNet Automation Batch", se poate recurge la criptarea datelor conținute în fișierul de comandă. în scopul creșterii gradului de protecție a datelor de producție față de persoane neautorizate.



## **11 Concluzii privind aplicarea soluțiilor originale de optimizare a funcționării SDMV**

În concluzie se poate afirma că, procesele de dozare a materialelor în vrac pot fi îmbunătățite calitativ (creșterea preciziei și constanței dozării), prin controlul și respectiv compensarea variației densității materialului stocat în depozitul de material.

Metodele practice de implementare a acestei soluții vor fi diferite, funcție și de condițiile inițiale impuse de:

- sistemele de reglare și control deja existente,
- mărirea rețelei de comandă și control,
- modul de valorificare a datelor de proces și
- costurile acceptate.

Astfel, dacă SDMV nu dispune de un sistem de control și reglare și se urmărește (strict) numai creșterea preciziei și constanței dozării - caz deseori întâlnit la dozatoarele volumetrice - atunci se recomandă utilizarea unui sistem de control și reglare independent (posibil cu microcontroler), al cărui scop unic va fi compensarea variațiilor de densitate a materialului în vrac. Varianta cea mai simplă ar fi aceea, în care un senzor de presiune/forță măsoară continuu presiunea în masa de material în vrac, la nivelul elementului de dozare, iar datele de măsurare se prelucrează de către un microcontroler, care va comanda compensarea de turație la motorul de antrenare al elementului de dozare.

În situația în care motorul de antrenare permite o reglare continuă, metoda de compensare dinamică va îmbunătăți sensibil calitatea procesului de dozare. Dacă însă se poate realiza doar o reglare în trepte a turației motorului de antrenare, atunci compensarea dinamică va fi numai parțial realizată. Dar și în acest caz calitatea dozării va crește, cu atât mai mult cu cât materialul în vrac de dozat este mai compresibil.

Important este și rolul senzorului de presiune/forță: dacă acesta dispune deja de o compensare termică (realizată de regulă de către producător), nu va mai fi necesară o compensare externă, respectiv o compensare software integrată în programul micro-controlerului. Desigur că senzorul ales trebuie să aibă un prag de sensibilitate suficient de mic pentru domeniul analizat și o toleranță redusă (de până la 1 - 2% din valoarea maximă a domeniului de măsurare), astfel încât compensarea densității să fie executată suficient de precis.

În situația în care există deja un sistem de reglare și control global, cel mai eficient ar fi ca sistemul de compensare să fie integrat în acesta. În acest scop trebuie să se analizeze tipul semnalelor de intrare/ieșire disponibile la sistemul de reglare și control global, pentru a putea realiza condiționarea corespunzătoare a semnalelor transmise.

În această ipoteză, două soluții ar putea fi aplicabile:

1. Dacă sistemul de reglare și control global dispune de resurse suficiente, inclusiv pentru arhivarea datelor de proces, atunci la dozator se poate conecta doar un microcontroler, care să asigure funcționarea normală a dozatorului (inclusiv pentru cazurile în care sistemul de reglare și control global este avariat). În acest caz, sistemul global va realiza funcțiile de coordonare și de optimizare a funcționării subsistemelor pe care le supraveghează, respectiv de arhivare a datelor de proces (care în anumite domenii de activitate este prescrisă legal). Această cale este totodată și unica soluție pentru situațiile

în care dozatorul se află în medii externe sau agresive, când protejarea (etanșarea) microcontrolerului este relativ simplu de realizat.

2. În situația în care sistemul de reglare și control global are resurse limitate, se poate transfera funcția de optimizare a procesului de dozare și cea de arhivare a datelor locale de proces unui sistem local, bazat pe un calculator de tip PC. Rolul sistemului de reglare și control global va fi cel de supervisor, ce coordonează activitățile tuturor subsistemelor, optimizând conlucrarea acestora. Aceasta soluție este eficientă în situația în care subsistemul de dozare realizează activități complexe, cu cicluri de producție variabile, ca de exemplu în industria chimică, farmaceutică și în cea alimentară.

De reținut ar fi și faptul că, prelucrarea și transmiterea datelor pe cale digitală este de regulă mai avantajoasă decât pe cale analogică. Ca și regulă generală se poate afirma că, sistemele de control independente, simple, se pot realiza eficient pe bază analogică, în timp ce sistemele mai complexe și cu transmiterea datelor la mare distanță beneficiază în mod deosebit de avantajele oferite de utilizarea semnalelor digitale. Aceasta și datorită faptului că, protejarea semnalelor digitale față de perturbațiile externe și recondiționarea lor se poate realiza mai simplu și mai eficient. Compensarea, respectiv eliminarea influențelor perturbațiilor externe este o acțiune preventivă deosebit de importantă, ce trebuie aplicată - pe baza unui concept unitar - emițătoarelor, receptoarelor și respectiv canalelor de transmitere a semnalelor.

În ceea ce privește investițiile necesare realizării sistemelor de control și de reglare a sistemelor de dozare, situația trebuie analizată ținând cont de flexibilitatea și scalabilitatea sistemului de obținut. Desigur că soluția cea mai ieftină și simplă pentru un MDMV volumetric, ar fi un sistem cu microcontroler, care măsurând variația de presiune la care e supus materialul în vrac, să comande automat compensarea de turație la elementul de dozare. Funcție de componentele folosite, o asemenea soluție ar costa între 100 și 1000 USD.

Dacă se urmărește însă crearea unui sistem flexibil și scalabil, soluția trebuie să fi bazată pe un calculator de tip PC. Acesta va dispune de o unitate de achiziție de date și de comandă, care poate supraveghea mai multe subsisteme de producție, a căror funcționare normală poate fi asigurată cu ajutorul unor microcontrolere. În funcție de complexitatea unui asemenea sistem și de software-ul utilizat, costurile pot varia între 500 - 5000 USD.

Pentru integrarea sistemelor de producție în rețele de control și de reglare de tip LAN (Local Area Network) sau WAN (Wide Area Network), este necesară transformarea cât mai timpurie a semnalelor analogice în semnale digitale. Aceasta va aduce și avantajul flexibilității semnalelor digitale la procesele de transmisie și prelucrare a informației, fiind posibilă și o compensare relativ simplă a influenței perturbațiilor electro-magnetice externe, prin utilizarea de filtre software.

Integrarea sistemelor de producție în rețele de tip LAN reprezintă la ora actuală o necesitate, în scopul realizării unei producții eficiente. În acest caz, sistemele de control și reglare bazate pe calculatoare de tip PC supraveghează unul sau mai multe subsisteme de producție, coordonarea activităților fiind efectuată de un calculator central de proces. Acesta, controlând la rândul său datele globale de producție, va putea conduce eficient și activitățile de gestiune ale întreprinderii, eliberând personalul de toate activitățile cu caracter previzibil și repetitiv.

O noutate în domeniu o reprezintă conectarea sistemelor de producție în rețele de tip WAN-Internet, ceea ce permite comanda producției direct prin Internet, operatorul uman având posibilitatea de a supraveghea activitatea productivă de la mare distanță.

Un exemplu în acest sens îl reprezintă firmele ce oferă clienților posibilitatea de a sintetiza substanțe chimice (enzime), prin intermediul unor sisteme de micro-producție conectate la Internet. Pe această cale, aceste firme beneficiază de acces la o clientelă internațională și de o utilizare optimă a capacităților de producție, distribuite în întreaga lume.

Integrarea sistemelor de producție în rețele de tip WAN-Internet este posibilă prin utilizarea unor calculatoare de tip PC care supraveghează sistemele de micro-producție. Interfața spre clienții-utilizatori este realizată de un calculator performant, ce are și rolul de Web-Sever. Acesta controlează accesul la capacitățile de producție și coordonează activitatea sistemelor de micro-producție, la care distribuie - optimizat - cererile utilizatorilor. După execuția corectă a lotului de produse, acestea vor fi transmise prin servicii de curier-expres la locul de utilizare. Prin această metodă se optimizează atât activitatea utilizatorilor, ce dispun pe această cale de un sistem de producție virtual, cât și activitatea producătorilor, care pot deservi o clientelă distribuită global, 24 de ore pe zi.

Din cele prezentate se poate concluziona că, pentru a găsi soluții optime pentru controlul computerizat al MDMV, respectiv al SDMV, trebuie analizat întreg complexul de factori ce concurează la funcționalitatea ansamblului supravegheat, neexistând soluții standardizate, ci numai linii directoare ce pot ghida proiectantul în activitatea sa.

**Bibliografie:** [1], [2], [6], [7], [9], [10], [11], [13], [15], [16], [17], [22], [24], [28], [31], [33], [37], [40], [50], [51], [58], [59], [60], [61], [63], [64], [67], [68], [72], [73], [74], [77], [78], [79], [81].

## **12 Anexă**

### **12.1 Adrese utile**

În tabelul de mai jos, se prezintă adresele la care pot fi contactate firme ce activează în domeniul sistemelor de dozare:

<i>Denumire firmă:</i>	<i>Adresă de contact:</i>
ANAG A. Nussbumer AG	Bonnstrasse 18, CH-3186 Dürdingen
Brabander Technologie KG	P.O. Box 35 01 38, D-47032 Duisburg
Eichholz Technische Anlagen GmbH & Co. KG	Kolpingstr. 1, D-48480 Schapen
G.+ K. Fuchs GmbH	Bremig 8, D-51674 Wiehl
Gericke GmbH	D-78239 Rielasingen
Happle GmbH & Co.	P.O. Box 11 64, D-89264 Weißenhorn/Bayern
K-Tron Deutschland GmbH	P.O. Box 17 42, D-63557 Gelnhausen
Pfister GmbH	P.O. Box 41 01 20, D-86068 Augsburg
System-Technik GmbH	Lechwiesenstr. 21, D-86899 Landsberd a. Lech

Tab. 12.1 - Adrese de contact

## 13 Bibliografie

<i>Autor(i):</i>	<i>Indice:</i>	<i>Titlul lucrării:</i>	<i>Publicat:</i>
Althaus, M.	1	PC / XT / AT - Referenz Handbuch	Sybox Verlag, Düsseldorf, 1993
Andras, M.	2	Ghid de utilizare Turbo-Pascal 6.0	Editura Micro-Informatica, Cluj, 1991
Anghel, Șt.	3	Organe de mașini, Vol. I și II	Universitatea "Eftimie Murgu" Reșița, 1995, 1997
Anghel, Șt.	4	Mecanisme Vol. I - Structura, cinematica și sinteza mecanismelor cu bare Vol. II - Mecanisme cu roți, cinetostatica și dinamica mecanismelor și a mașinilor	Universitatea "Eftimie Murgu" Reșița, 1993
Anghel, Șt. Ianici, S.	5	Proiectarea transmisiilor mecanice	Universitatea "Eftimie Murgu" Reșița, 1993
Austerlitz, H.	6	Data Acquisition Techniques Using Personal Computers	Cybex, New York, 1991
Bell, D. Morrey, I. Pugh, J.	7	Software-Engineering	Prentice Hall (UK), Hertfordshire, 1992
Bernatz, Th. Lämmlin, G. Rodrian, G.	8	CAD - computerunterstütztes Zeichnen und Konstruieren	Europa Verlag, Nourney/Vallmer, 1993
Bernstein, H. Blank, H.	9	PC-Labor	Markt und Technik Verlag, München, 1993
Bernstein, H.	10	Hardware Handbuch - PC-XT-AT und Kompatible	Markt und Technik Verlag, München, 1992
Beu, T.	11	Analiza numerică în Turbo Pascal	Editura Micro-Informatica, Cluj, 1992
Beuschel, J.	12	Prozeßsteuerungssysteme	Oldenburg Verlag, München, 1994
Bitterle, D. Retter, J.	13	Meßdatenerfassung und -verarbeitung mit dem PC	Franzis Verlag, München, 1993

<i>Autor(i):</i>	<i>Indice:</i>	<i>Titlul lucrării:</i>	<i>Publicat:</i>
Blank, H.	14	Sensoren am PC	Markt & Technik Verlag, Haar/München, 1996
Cioroianu, A.	15	Programe Turbo Pascal în detaliu	Editura Teora, București, 1998
Cristea, V. ș.a.	16	Tehnici de programare	Editura Teora, București, 1993
DeMarco, T.	17	Software-Projektmanagement	Wolfram's Fachverlag, München, 1989
Dolga, E.	18	Construcția traductoarelor și senzorilor	I.P. Timișoara, 1991
Drăghici, I.	19	Îndrumar de proiectare în construcția de mașini	Editura Tehnică, București, 1983
Drösser, C.	20	Fuzzy Logic	Rowohlt Verlag, Hamburg, 1994
Eversheim, W. Dahl, B. Spennath, K.	21	CAD / CAM-Einführung	RKW-Verlag, Eschborn, 1992
Feger, O. Ortmann, J.	22	Datenerfassung unter Windows frei konfigurierbar	Feger & Co. Verlag, Traunreut, 1994
Forst, H.	23	Fuzzy-Control in der Prozeß-leittechnik	Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE), Frankfurt/M., 1993
Gârlașu, Șt. Ruja, I.	24	Teoria sistemelor și automatizări	Universitatea "Eftimie Murgu" Reșița, 1993
Gligor, O. Rădulescu, C.	25	Elemente constructive de mecanică fină, Vol. I și II	I.P.T.V. Timișoara, 1985, 1987
Goebel, R.	26	Computer Aided Design	BI-Wissenschaftlicher Verlag, Mannheim, 1992
Güsmann, B.	27	Einführung in die Roboterprogrammierung	Fr. Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 1992
Hahn, R.	28	Höhere Programmiersprachen im Vergleich	Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden, 1991

<i>Autor(i):</i>	<i>Indice:</i>	<i>Titlul lucrării:</i>	<i>Publicat:</i>
Heinrich, W. M.	29	Einführung in das Qualitätsmanagement	Brönner u. Daentler Verlag, Eichstätt, 1996
Henrich, H. Hantelmann, A. Nürnberg, R.	30	CASE - Leitlinien für Management und Systementwickler	Fr. Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 1995
Hesse, W. Merbeth, G. Frölich, R.	31	Software-Entwicklung	Oldenbourg Verlag, München, 1992
Hofer, J.	32	Maschinensteuerung mit dem PC	Franzis Verlag, München, 1992
Kainka, B.	33	Messen, Steuern, Regeln über die RS232-Schnittstelle	Franzis Verlag, München, 1992
Katz, G.	34	AutoCAD	Cybex, San Francisco, 1991
Kerndlmeier, M. ș. a.	35	Technische Expertensysteme für Prozessführung und Diagnose	Oldenburg Verlag, München, 1989
Klemm, E.	36	Computerunterstützte Datenerfassung	Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1994
Kovacs, Fr. Cojocaru, G.	37	Manipulatoare, roboți și aplicațiile lor industriale	Editura Facla, Timișoara, 1982
Kovacs, Fr. Cojocaru, G.	38	Roboții în acțiune	Editura Facla, Timișoara, 1985
Kovacs, Fr. Perju, D. Crodu, M.	39	Mecanisme, Vol. I și II	I.P.T.V. Timișoara, 1991
Link, W.	40	Messen, Steuern, Regeln mit PC's	Franzis Verlag, München, 1994
MacMenamin, St. Palmer, J.	41	Strukturierte Systemanalyse	Carl Hanser Verlag & Prentice Hall International, München, 1988
Madărăș, L.	42	Organe de mașini, Vol. I și II	I.P.T.V. Timișoara, 1989
Manolescu, N. Kovacs, Fr. Orănescu, A.	43	Teoria mecanismelor și a mașinilor	Editura Didactică și Pedagogică, București, 1972

<i>Autor(i):</i>	<i>Indice:</i>	<i>Titlul lucrării:</i>	<i>Publicat:</i>
Magin, R. Wüchner, W.	44	Digitale Prozessleittechnik	Vogel Buchverlag, Würzburg, 1987
Maslo, A.	45	Visual Basic 5	Data Becker Verlag, Düsseldorf, 1997
"Microsoft"	46	Microsoft Developer Network 1997	Microsoft Press, Unterschleißheim/ München, 1997
Mihoc, D. ș. a.	47	Teoria și elementele sistemelor de reglare automată	Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980
Molerus, O.	48	Schüttgutmechanik: Grundlagen und Anwendungen in der Verfahrenstechnik	Springer Verlag, Berlin, 1985
Morgenroth, M.	49	Algorithmen in Visual Basic	Addison Wesley Longman Verlag, Bonn, 1998
"National Instruments"	50	Data Acquisition and Control	National Instruments, Austin/Texas, 1996
"National Instruments"	51	Instrumentation and Catalogue 1996	National Instruments, Austin/Texas, 1996
Pahl, M. ș. a.	52	Lagern, Fördern und Dosieren von Schüttgütern	Fachbuchverlag, Leipzig, 1993
Perju, D.	53	Mecanisme de mecanică fină, Vol. I și II	I.P.T.V. Timișoara, 1990
Perju, D. Marina, M.	54	Mecanisme și elemente constructive de mecanică fină	I.P.T.V Timișoara, 1984
Polke, M. ș. a.	55	Prozeßleittechnik	Oldenburg Verlag, München, 1992
Preitl, Șt. Precup, R.	56	Introducere în conducerea fuzzy a proceselor	Editura Tehnică, București, 1997
Ridder, D.	57	AutoCAD im Maschinenbau	International Thomson Publications, Albany. 1995
Rogai, E.	58	Tabele și formule matematice	Editura Tehnică, București, 1982



<i>Autor(i):</i>	<i>Indice:</i>	<i>Titlul lucrării:</i>	<i>Publicat:</i>
Savii, G.	59	Echipamente pentru prelucrarea datelor și periferice de calculator, Vol. I și II	I.P.T.V. Timișoara, 1989
Schäkel, H.	60	Maschiensprache für Einsteiger	Data Becker Verlag, Düsseldorf, 1991
Schölles, R.	61	Das große Buch zu Turbo & Borland Pascal 7.0	Data Becker Verlag, Düsseldorf, 1993
Schmitz, R. Willemson, V.	62	AutoCAD 12	Sybex, Düsseldorf, 1993
Schulz, D.	63	PC-gestützte Mess- und Regeltechnik	Franzis Verlag, München, 1994
Schulz, D.	64	Praktische Regelungstechnik	Hüthig Verlag, Heidelberg, 1994
Somnea, D. Calciu, M.	65	Excel 5 cu aplicații de management	Editura Tehnică, București, 1994
Tănăsescu, T. ș. a.	66	Agenda tehnică	Editura Tehnică, București, 1990
Teufel, T. ș. a.	67	Windows 95 Technik Guide	Sybex Verlag, Düsseldorf, 1993
Tischer, M. Jennrich, B.	68	PC-Intern Systemprogrammierung	Data Becker Verlag, Düsseldorf, 1995
Verband Deutscher Ingenieure (VDI)	69	Wissensbasierte Systeme für Konstruktion und Arbeitsplanung	VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992
Vetter, G. (Editor)	70	Handbuch Dosieren (Culegere de articole)	Vulkan Verlag, Essen, 1994

Allenberg, B.; Bonfig, K.W.; Bruckschen, H.; Doorn, C. van; Flügel, R.; Fritsch, D.; Häfelfinger, H.; Häfner, H. W.; Heinrici, H.; Hinzman, T.; Hlavica, K.; Jost, G.; Nagel, E.; Notzon, S.; Otto, F.; Paetow, J.; Reif, W.; Rogge, G.; Rohr, M. O.; Sander, M.; Schlücker, E.; Schmedt, R.; Stöckli, R.; Stüber, W.; Thiele, J.; Vetter, G.; Wolfschaffner, H.

<i>Autor(i):</i>	<i>Indice:</i>	<i>Titlul lucrării:</i>	<i>Publicat:</i>
Weber, E.	71	Software-Engineering	Carl Hanser Verlag, München, 1992
Weisz, G.	72	Lucrare de Diplomă	I.P. Timișoara, 1992
Weisz, G. Carabenciov, I.	73	Sistem automat de dozare a materialelor în vrac	Simpozionul de Roboți Industriali - I. P. Timișoara, 1992
Weisz, G.	74	Configurații multiple	"PC-Report" nr. 13, Tîrgu-Mureș, 1993
Weisz, G.	75	Stadiul actual al utilizării mecanismelor de dozare a materialelor în vrac (Referat de doctorat nr. 1)	U. P. Timișoara, 1997
Weisz, G.	76	Contribuții la achiziția și prelucrarea datelor cu sisteme computerizate (Referat de doctorat nr. 2)	U. P. Timișoara, 1997
Weisz, G.	77	Contribuții la analiza și soluționarea proiectelor în limbaje de programare de nivel înalt (Referat de doctorat nr. 3)	U. P. Timișoara, 1998
Weisz, G. Hagen, Dirk Bretschneider, U.	78	TreiberGenie	Data Becker Verlag, Düsseldorf, 1997-1998
Wratil, P.	79	Meßwerterfassung mit PC-Schnittstellen	Markt & Technik Verlag, Haar/München, 1997
Zastrow, F. Werner, J.	80	Messen, Steuern, Regeln mit dem PC	Expert Verlag, Renningen, 1994
Zoller, B.	81	PC & Elektronik	Data Becker Verlag, Düsseldorf, 1997
Fritsch, D.	82	Zum Verhalten volumetrischer Schneckendosiergeräte für Schüttgüter	Universität Erlangen-Nürnberg, 1988
Lüdde, K.-H. Kawakita, K.	83	Die Pulverkompression	Die Pharmazie, Berlin, 7/1966

<i>Autor(i):</i>	<i>Indice:</i>	<i>Titlul lucrării:</i>	<i>Publicat:</i>
Anghel, Șt. Weisz, G.	84	Contribuții la îmbunătățirea proceselor de dozare a materialelor în vrac, utilizând sisteme computerizate	Analele Universității "Eftimie Murgu" Reșița, Fascicula Inginerie, Nr.1, Reșița, 1998
Anghel, Șt. Weisz, G.	85	Optimizarea proceselor de dozare utilizând filtrul dinamic expert	Analele Universității "Eftimie Murgu" Reșița, Fascicula Inginerie, Nr.1, Reșița, 1998
Savii, G.	86	Grafică 3D pe calculatoare PC	Editura "Presă Universitară Română", Timișoara, 1997
Zamfir, V. ș. a.	87	Mecanisme. Sinteza mecanismelor generatoare de funcții (Fascicula 4)	Litografia I. M. Petroșani, 1976
Zamfir, V. ș. a.	88	Mecanisme. Îndrumar de proiectare	Litografia I. M. Petroșani, 1988
Zamfir, V. ș. a.	89	Organe de mașini. Îndrumar de proiectare. (Partea I.a și I.b)	Litografia I. M. Petroșani, 1980
Zamfir, V. ș. a.	90	Susțineri mecanizate miniere	Editura Tehnică, București, 1993