Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti

Şcoala Doctorală
Bd. Lacul Tei 122-124, Sect. 2, cod poştal 020396, Bucureşti, România
Tel.: +40-21-242.12.08, int. 221, scoala.doctorala@utcb.ro, http://sd.utcb.ro

# REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

TITLUL TEZEI : **Evaluarea multicriterială a nivelului de performanţă a staţiilor de betoane, dotate cu sisteme de procesare şi monitorizare a parametrilor în timp real**

Conducător de doctorat:

Prof. dr. ing. Pavel Cristian

Conducător de doctorat în cotutelă

Prof. univ. emerit dr.ing. Bratu Polidor Paul

Student doctorand

ing. Enescu Virgil Constantin

# INTRODUCERE

## 1. Oportunitatea și obiectivele tezei de doctorat

Calitatea betonului preparat în stațiile de betoane reprezintă o cerință esențială pentru asigurarea nivelului calitativ a lucrărilor de punere în operă a acestuia, cu impact major asupra calității vieții prin asigurarea siguranței în exploatare a clădirilor. Caracteristicile betoanelor sunt influențate în mod negativ de o serie de neconformități ale stațiilor de betoane, pentru a căror identificare este necesară o analiză amănunțită a stațiilor de betoane.

**Oportunitatea tezei** rezultă ca urmare a analizei stațiilor de betoane din țara noastră prin intermediul inspecției tehnice și evaluarea multicriterială a nivelului de performanță referitor la monitorizarea în timp real a parametrilor, cu precădere pentru stațiile de betoane automatizate, posibil dotate și cu sisteme de urmărire în funcționare a autobetonierelor.

Prezenta lucrare de doctorat are ca **principale obiective**:

- necesitatea modernizării stațiilor de betoane cu comandă manuală;
- evaluarea nivelului de performanță a diferitelor stații de betoane automatizate analizate, cu privire la capabilitatea de procesare, monitorizare și înregistrare parametrii principali;
- studiul efectului implementării programelor GPS de urmărire a autobetonierelor;
- studiul fiabilității în funcționare a stațiilor de betoane;
- modelarea matematică a procesului malaxării, pentru cazul malaxoarelor cu ax vertical;
- analiza modului de lucru la prepararea rețetelor de beton pe un lot de stații de betoane, prin determinarea prin metoda experimentală a parametrilor principali denumiți **cumulativi,** urmată de verificarea încadrării lor în normative, reglementări tehnice și standarde;
- determinarea prin metoda matematică și experimentală și validarea unor relații de legătură între durata de malaxare și rezistența la compresiune a betonului la 28 de zile.

## 2. Valorificarea rezultatelor cercetărilor

Rezultatele finale ale cercetării ar putea fi utilizate de toți executanții de lucrări de construcții ce urmează să pună în operă betonul proaspăt și vor urmări să demonstreze necesitatea modernizării stațiilor de betoane cu comandă manuală, necesitatea îmbunătățirii metodelor de lucru în stațiile de betoane automatizate, precum și necesitatea efectuării inspecțiilor tehnice la toate stațiile de betoane aflate în funcționare.

# CAPITOLUL I

## *STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIUL MONITORIZĂRII ÎN TIMP REAL A PARAMETRILOR STAȚIILOR DE BETOANE*

### 1.Cerințe principale și nivele de performanță

Cerințele principale și nivelul de performanță a stațiilor de betoane sunt în strânsă corelație cu capacitatea acestora de a **monitoriza în timp real** parametrii, în sensul de a asigura respectarea abaterilor impuse de reglementări și normative. În vederea atingerii acestor cerințe, se recomandă ca stațiile de betoane să aibă în dotare următoarele:

- sisteme de comandă automate, prevăzute calculator de proces și imprimantă;
- sisteme de corecție a dozării pe parcursul preparării șarjelor de beton;
- sisteme de monitorizare a duratei de malaxare efective.

### 2.Stații de betoane în funcțiune în România, firme producătoare de stații de betoane

*Stațiile de betoane cu comandă manuală,* sunt fabricate la noi în țară de UBEMAR Ploiești și NICOLINA Iași. Exemple de stații de betoane fabricate de UBEMAR Ploiești: CEDOMAL15, CEDOMAL 51, CEDOMAL 51A, CEDOMAL 52. Exemple de stații de betoane fabricate de S.C. NICOLINA S.A Iași: CB 22, CB 45. Exemple de firme românești

care modernizează sau produc stații de betoane automatizate: UNISERV INTERNAȚIONAL și CEDOMSERVICE din Ploiești, PROSOFT INDUSTRY din Săvinești.

**Pe plan internațional** există o preocupare majoră a producătorilor de stații de betoane cu privire la **monitorizarea în timp real** a parametrilor la stațiilor de betoane automatizate**.**

Firmele germane LIEBHERR și STETTER, precum și firmele italiene SIMEM, SCM 2 și OCMER ocupă primele locuri în România, ca număr de stații de betoane automatizate aflate în funcționare. Pot fi exemplificate stațiile de betoane LIEBHERR tip COMPACTMIX 1.0 și BETOMIX 2.25, stațiile STETTER tip M 1 și M 2, precum și noile stații italiene MARCANTONINI tip B 4, ca stații cu niveluri înalte de performanță.

Alte firme producătoare de stații de betoane automatizate care pot fi menționate, sunt: TEKA-GERMANIA, FRUMECAR și LEBLAN- SPANIA, CIFA- ITALIA. Firme producătoare din Estul Europei prezente la noi în țară: ARMODINAMIKI și TEXNOKAT– GRECIA, SIMI – SERBIA, ELKON și CONSTMACH- TURCIA.

*După sistemul de malaxare* firmele producătoare se pot exemplifica astfel [15-16]:
-malaxoare cu un ax vertical, firmele LIEBHERR, STETTER, FRUMECAR, TEKA;
-malaxoare cu două axe verticale cu palete, firmele SICOMA, OCMER, HAARUP și TEKA ;
-malaxoare cu două axe orizontale, firmele STETTER, LIEBHERR, SICOMA, SIMEM.

După **durata de malaxare recomandată** de producători, putem enumera:
- malaxoarele cu ax vertical, tip LIEBHERR, STETTER și FRUMECAR au durata minimă de malaxare de 30 de secunde, indiferent de capacitatea utilă prevăzută [15,16];
- malaxoarele tip SICOMA și OCMER cu două axe verticale/orizontale și malaxoarele tip OCMER (cu două axe verticale) au duratele recomandate de 40 secunde pentru betoanele fluide și de 60 de secunde pentru betoanele uscate [14,16];
- malaxoarele SIMEM cu două axe orizontale au durata de malaxare de 30 - 35 de secunde, pentru betoane fluide și de 60 de secunde pentru betoane uscate[16].

Stațiile de betoane OCMER și stațiile dotate cu malaxoare SICOMA au **durate ale ciclului** recomandate de 90 de secunde (la durata de malaxare recomandată de 40 de secunde) și de 120 de secunde (la durata de malaxare recomandată de 60 secunde) [14,16].

## CAPITOLUL II
## *STUDIU COMPARATIV AL NIVELULUI DE PERFORMANȚĂ PENTRU DIVERSE STAȚII DE BETOANE*

Figura 2.1. Calculatorul de proces cu afișarea fluxului tehnologic la o stație de betoane, model PROMIX. Parametrii de dozare și malaxare sunt afișati instantaneu în timpul lucrului, dar furnizarea și listarea protocoalelor de șarjă nu sunt posibile.

Figura 2.2. Soft specializat de comandă, cu afișare a fluxului tehnologic si monitorizare în timp real a parametrilor, la o stație de betoane model LIEBHERR. Softul cuprinde fișiere tip protocoale de șarjă, iar sistemul este dotat cu imprimantă pentru listarea acestora.

La stația de betoane CEDOMAL 15 modernizată din figura 2.3, se pot monitoriza parametrii de dozare și procesele de malaxare și descărcare beton.

În figura 2.4 la poziția 35 este prezentată banda indicatoare a puterii absorbite, putere corelată cu consistența betonului, la o stație de betoane LIEBHERR[18].

În figurile 2.5-2.7 sunt prezentate extrase provenite din diverse protocoale de șarjă de la stații de betoane LIEBHERR. În figura 2.6- extras din protocolul de șarjă de la o stație BETOMIX 2.25. În figura 2.7 este prezentat un protocol de șarjă de la o stație BETOMIX 2.0 R cu o durată de utilizare mai îndelungată.

Se observă din figurile 2.6 și 2.7 că stația de betoane BETOMIX 2.25, de fabricație mai recentă, oferă mai multe informații decât stația BETOMIX 2.0 R.

Ca o **concluzie generală** stațiile de betoane automatizate pot prezenta o multitudine de sisteme de monitorizare cu diferite nivele de performanță referitoare la parametrii cumulativi.

Figura 2.1-Flux tehnologic la o stație PROMIX

Figura 2.2- Soft de comandă pentru o stație LIEBHERR

Figura 2.3 – Flux tehnologic stație CEDOMAL 15

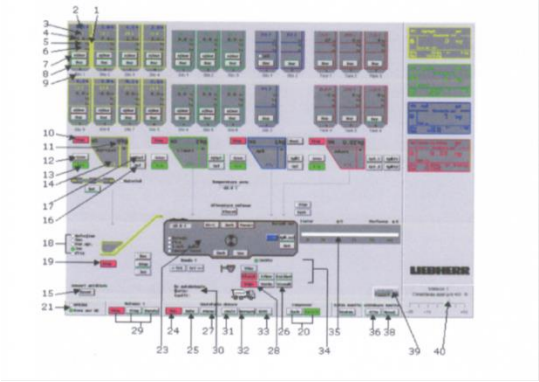
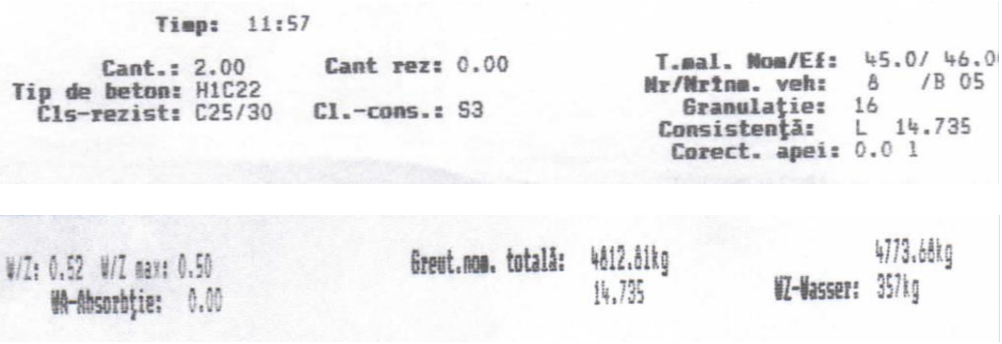


Figura 2.4- Flux tehnologic stație LIEBHERR



Timp: 11:57

Cant.: 2.00 Cant rez: 0.00
Tip de beton: H1C22
Cls-rezist: C25/30 Cl.-cons.: S3

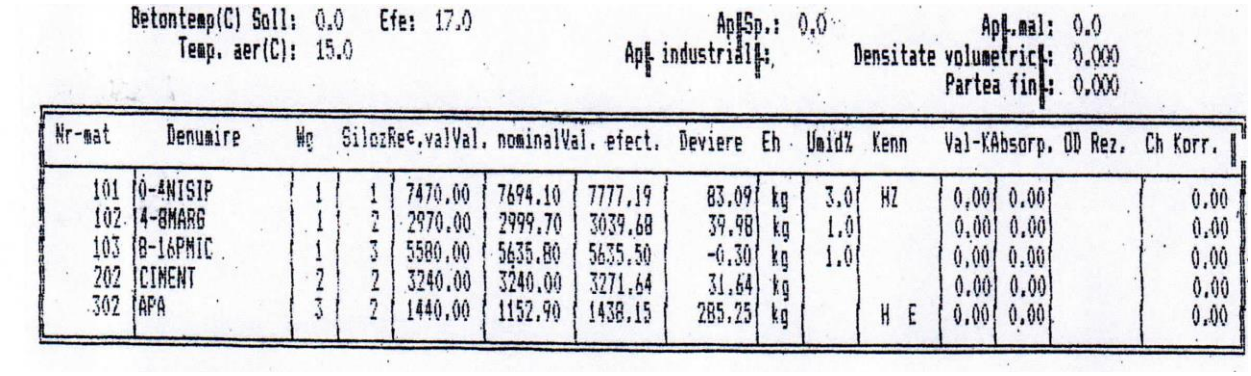
T.mal. Nom/Ef: 45.0/ 46.0
Nr/Mrtnm. veh: 8 /B 05
Granulaţie: 16
Consistenţă: L 14.735
Corect. apei: 0.0 1

W/Z: 0.52 W/Z max: 0.50
WA-Absorbţie: 0.00

Greut.nom. totală: 4812.81kg
14.735

4773.68kg
WZ-Wasser: 357kg

Figura 2.5- Extrase din diverse protocoale de șarjă- stații de betoane LIEBHERR



Betontemp(C) Soll: 0.0 Efe: 17.0
Temp. aer(C): 15.0

Apă Sp.: 0.0
Apă industrială:

Apă mal: 0.0
Densitate volumetrică: 0.000
Partea fină: 0.000

| Nr-mat | Denumire | Wg | Silozkeq | Val | Val. nominal | Val. efect. | Deviere | Eh | Umid% | Kenn | Val-KAbsorp. | OD Rez. | | Ch Korr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 101 | 0-4NISIP | 1 | 1 | 7470.00 | 7694.10 | 7777.19 | 83.09 | kg | 3.0 | HZ | 0.00 | 0.00 | | 0.00 |
| 102 | 4-8MARG | 1 | 2 | 2970.00 | 2999.70 | 3039.68 | 39.98 | kg | 1.0 | | 0.00 | 0.00 | | 0.00 |
| 103 | 8-16PMIC | 1 | 3 | 5580.00 | 5635.80 | 5635.50 | -0.30 | kg | 1.0 | | 0.00 | 0.00 | | 0.00 |
| 202 | CIMENT | 2 | 2 | 3240.00 | 3240.00 | 3271.64 | 31.64 | kg | | | 0.00 | 0.00 | | 0.00 |
| 302 | APA | 3 | 2 | 1440.00 | 1152.90 | 1438.15 | 285.25 | kg | | H E | 0.00 | 0.00 | | 0.00 |

Figura 2.6 – Protocol de șarjă de la o stație de betoane LIEBHERR Betomix 2.25

Start dozare: 09:19
Sfirsit dozare: 09:32

Marca beton — Granulatie max.: 16 — Consistenta: S3
Atribute: — Unde se foloseste:

0,53

Lufttemp.: 14 °C um 06:45 Uhr

| | SORT 0-4 | MOI | SORT 4-8 | MOI | SORT 8-1 | MOI | CEM II/A | APA REC. | APA POTA | MOW | SIKAPLAS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CH 1 | 01250 kg | 15,0% | 00600 kg | 1,20% | 00980 kg | 0,80% | 00520 kg | 00056 kg | 00042 kg | 00178 kg | 02,80 kg |
| CH 2 | 01320 kg | 14,8% | 00620 kg | 1,20% | 00970 kg | 0,80% | 00523 kg | 00053 kg | 00039 kg | 00185 kg | 02,90 kg |
| CH 3 | 01330 kg | 14,5% | 00600 kg | 1,20% | 00980 kg | 0,80% | 00521 kg | 00056 kg | 00041 kg | 00183 kg | 02,95 kg |
| CH 4 | 01260 kg | 12,5% | 00600 kg | 1,20% | 00950 kg | 0,80% | 00521 kg | 00055 kg | 00066 kg | 00154 kg | 02,75 kg |
| CH 5 | 01250 kg | 11,9% | 00580 kg | 1,20% | 00970 kg | 0,80% | 00522 kg | 00055 kg | 00072 kg | 00148 kg | 02,90 kg |
| SAct | 06410 kg | | 03000 kg | | 04850 kg | | 02607 kg | 00275 kg | 00260 kg | 00848 kg | 14,30 kg |
| SNom | 06390 kg | | 03000 kg | | 04850 kg | | 02605 kg | 00275 kg | 00260 kg | | 14,25 kg |
| DIFE | 00020 kg | | 00000 kg | | 00000 kg | | 00002 kg | 00000 kg | 00000 kg | | 00,05 kg |

Apa: SAct: 01383 kg SNom: 01373 kg DIFERENTA: 00010 kg Solids: 00,00 %

Figura 2.7 – Protocol șarjă la o stație de betoane LIEBHERR BETOMIX 2.0 R

## CAPITOLUL III

### *ANALIZA COMPARATIVĂ A COMPORTĂRII ÎN FUNCȚIONARE ȘI A REVENIRII LA PARAMETRII INIȚIALI OPTIMI DUPĂ REMEDIEREA DEFECȚIUNILOR PENTRU DIVERSE STAȚII DE BETOANE AUTOMATIZATE*

**Cazul 1. Stația de betoane CEDOMAL 15 modernizată - Fig 2.3** [17]

La apariția unor defecțiuni la echipamentele de dozare componente în sistem automat, acestea pot fi observate în softul de comandă al dozării (figura 2.3) sau pe protocolul șarjelor. Pot fi sesizate în timpul funcționării unele semnale luminoase de avertizare a unor defecțiuni (spre exemplu clapeta de descărcare a malaxorului este blocată- nu se deschide sau nu se închide).

În momentul constatării unei defecțiuni simple pe durata lucrului în sistem automat, operatorul va trece la rezolvarea problemei astfel:
- se utilizează tasta PAUZĂ pentru restartarea sistemului general;
- se utilizează tasta ESC pentru restartarea sistemului de dozare;
- se activează tasta STOP pentru oprirea stației;
- se întreprind acțiunile de remediere a blocajelor/defecțiunilor simple constatate;
- după remediere, se continuă prepararea betonului în sistem automat, cu terminarea șarjei în curs la momentul apariției defecțiunii și apoi cu celelalte șarje programate.

În cazul apariției unor defecțiuni mai grave, producția de beton în sistem automat nu mai nu mai poate continua. Pentru remediere se procedează astfel:
-se face trecerea la sistemul manual de funcționare prin acționarea butonului-comutator;
-se apasă START pentru a se termina șarja în curs în sistem manual și se eliberează un protocol al șarjelor numai pentru cantitatea preparată până la momentul opririi stației;
-după terminarea șarjei respective, stația se oprește cu butonul STOP;
-se identifică și remediază defecțiunea constatată;
-se trece la sistemul automat prin butonul comutator și se repornește stația prin butonul START, reluând producția în sistem automat.

**Cazul 2. Stația de betoane automatizată PROMIX M 80 S - Figura 2.1** [17]

Stația PROMIX M 80 S prezintă mesaje de avertizare defecțiuni, referitoare la avarii întâlnite la echipamentele electrice sau la sistemul de automatizare, acestea putând fi diagnosticate cu ajutorul tastei "CONFIRMARE AVARII". Deasemenea, pot apărea mesaje de avertizare în softul de comandă și în cazul unei defecțiuni survenite la sistemul de descărcare a betonului din malaxor (clapeta este blocată). Mesajele afișate nu dispar de pe display decât în momentul eliminării perturbărilor respective în funcționare. După rezolvarea

respectivelor probleme tehnice la sistemele electrice/automatice, în vederea reluării producției este necesară apăsarea tastei UPDATE pentru restartarea sistemului.

Celelalte tipuri de avarii nu sunt semnalate prin mesaje dar pot fi constatate de către operator spre exemplu prin apariția valorilor anormale la dozare. Spre deosebire de stația CEDOMAL 15 modernizată, stația PROMIX M 80 S nu furnizează protocoale ale șarjelor.

În cazul unei defecțiuni minore (o perturbare ușoară apărută în soft ) se poate opri și reseta sistemul de comandă (tasta UPDATE). După rezolvarea problemei, se va trece la terminarea șarjei la care a apărut defecțiunea, apoi la prepararea șarjei următoare în regim automat. În cazul unei defecțiuni majore stația se va opri și se vor folosi comenzile manuale de pe soft (stația trece din regim automat în sistem manual prin butonul "SELECȚIE COMANDĂ"), pentru a finaliza ultima șarjă, apoi producția este oprită.

**Cazul 3. Stația de betoane LIEBHERR BETOMIX 2.25 - Fig. 2.2 și 2.4** [16,18]

Operatorul stației de betoane LIEBHERR are la dispoziție semnale de averizare apărute în timpul lucrului referitoare la apariția oricărei probleme de funcționare, cum ar fi: înfundarea temporară a conductelor de pompare apă/aditivi, cântare care nu se golesc, clapete care nu se deschid/închid. Defecțiunile se regăsesc într-o pagină de soft cu defecțiuni specificate; acestea sunt deci confirmate de soft după afișarea lor prin semnale pe ecran, și pot fi diagnosticate în vederea remedierii cât mai rapide.

Stația de betoane LIEBHERR are în dotare în soft comenzi de oprire automată în caz de apariție a defecțiunilor cu impact major asupra funcționării, cum ar fi:
- oprirea sau înfundarea șnecului de ciment;
- cilindrul pneumatic de acționare a clapetei de golire a dozatorului este defect;
- motorul electric al malaxorului cu protecția la limită;
- cablul skipului este netensionat, skipul nu funcționează, funcționare oprită;
- o doză de cântărire defectă.

Stația LIEBHERR BETOMIX 2.25 are și un sistem de comandă efectiv manual, de funcționare în caz de avarii, prin activarea tastei **Man**. Eventualele erori ale parametrilor betonului pot fi cu ușurință identificate la printarea protocolului de șarjă - vezi figura 2.6.

Spre deosebire de stația CEDOMAL 15 modernizată, protocolul șarjelor stației de betoane LIEBHERR conține mai multe informații, referitoare parametrii.

**Concluzii** rezultate din analizarea celor trei cazuri prezentate:
- cele trei stații analizate oferă operatorilor modalități eficiente de constatare **în timp util** a defecțiunilor posibile;
- stația de betoane LIEBHERR este superioară celorlalte două, din punct de vedere a posibilităților de detectare și diagnosticare a defecțiunilor;
- protocolul șarjelor lipsește în cazul stației PROMIX M 80 S și nu conține detalii despre durata de malaxare, precum și a altor parametrii în cazul stației CEDOMAL 15 modernizate;
- modalitățile de remediere a defecțiunilor și de revenire la parametrii inițali sunt similare pentru cele trei stații, stația LIEBHERR prezentând o capabilitate superioară în acest sens.

## CAPITOLUL IV

### *MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESULUI DE MALAXARE ÎN CAZUL BETONIERELOR CU AMESTECARE FORȚATĂ CU AX VERTICAL*

**Introducere.** În vederea modelării matematice a procesului de malaxare s-a considerat cazul a două malaxoare cu ax vertical, model TEKA tip BAF 750 l și BAF 1500 l, prezentate în figurile 4.1 și 4.2. Modelarea a luat în calcul mișcarea de vibrație a paletelor sub impulsul încovoierii brațului de malaxor considerat ca o grindă încastrată, încovoiere produsă de masa de beton aflată în fața paletei și în fața porțiunii de braț aflată în interiorul masei de beton pe durata malaxării, la care se adaugă masele proprii ale paletei și ale porțiunii de braț.

S-a considerat mișcarea sistemului braț-paletă ca fiind o vibrație forțată a unui sistem cu amortizare vâscoasă supus la excitații armonice [4]. Modelarea matematică a procesului de malaxare a urmărit determinarea forțelor și a săgeților de încovoiere, implicit a pulsațiilor proprii pentru fiecare paletă în parte, cât și a amplitudinilor mișcării rezultate [4,5] .

*IV.1 Cazul malaxorului TEKA 750 l. Calculul pulsațiilor proprii ale paletelor și a amplitudinilor mișcării*[20]

Figura 4.1. Reprezentarea schematică a malaxorului TEKA , BAF 750 l, cu capacitatea utilă de 0,5 mc, având următoarele caracteristici tehnice: productivitatea 25-30 mc/h;puterea motorului 22 kW;turația rotorului 29 rot/min;număr de palete: 6 bucăți[13]

**Caracteristicile tehnologice și dimensionale** pentru malaxorul TEKA prezentat în figura 4.1

- diametrul brațului de malaxor $d$ = 32 mm,
- modulul de rezistență axial $I_z = \frac{\pi d^4}{64} = 5{,}14 \text{ x}10^4\ mm^4$
- razele paletelor: $R_1$= 882 mm; $R_2$= 814 mm; $R_3$= 807 mm;
  $R_4$= 730 mm; $R_5$= 675 mm; $R_6$= 604 mm;
- suprafața paletei: $S_p$= 25,5 cm x 12,8 cm=326 $cm^2$
- grosimea stratului de material din malaxor: $h_m$=310 mm;

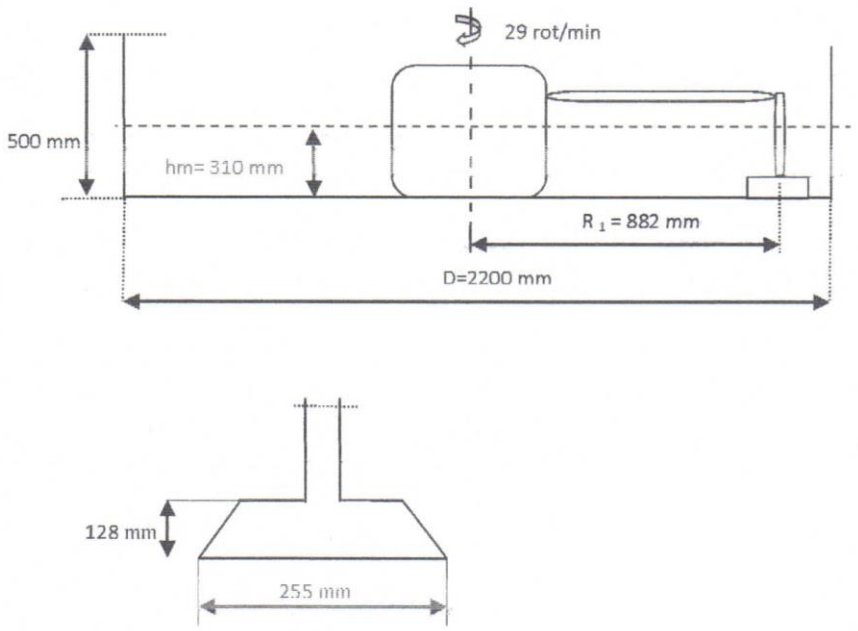



Figura 4.1 Schema malaxorului BAF 750l cu ax vertical cu palete

**Calculul maselor de încovoiere pentru malaxorul TEKA BAF 750 l**

**Masa de încovoiere**: $M_1 = mp + m_b + m_1 + m_2$ (4.1),

în care:

-$m_p$ este masa paletei;

- $m_b$ este masa porțiunii de braț introdusă în material;
- $m_1$ reprezintă masa de beton aflată în fața paletei, în timpul procesului de malaxare;
- $m_2$ reprezintă masa de beton aflată în fața brațului paletei în timpul procesului de malaxare.

$m_p = q_m \text{x } S_p \text{x } g_p$, (4.2)

și considerând: grosimea paletei $g_p$= 1,71 cm și $q_m$=7,85 kg/d$m^3$ rezultă $m_p$= 4,38 kg;

$m_b = (h_m - h_p) \text{x } \frac{\pi d^2}{4} \text{x } q_m$ (4.3)

$m_b$ = (31-12,8)x$\frac{\pi\, 3{,}2^2}{4}$x$10^{-3}$x7,85= 1,148 kg

$m_1$= $S_p$x $q_b$x 2 $\pi$ x $R_1$ (la paleta 1) (4.4)

$m_1$ = 0,0326 x 2200x 6,28 x 0,882 = 397,25 kg, în care $q_b$ este densitatea betonului în stare proapătă, considerată având valoarea de 2200 kg/$m^3$

$m_2$= ($h_m$-$h_p$)x $\frac{\pi d}{2}$x 2π $R_1$ x$q_b$ (4.5)

Rezultă $m_2$= 111,42 kg;

**Aplicând relația (4.1) se obține: $M_1$=514,2 kg.**

Pentru paleta 2, dispusă la raza $R_2$= 814 mm, cu aceeași masă $m_p$= 4,38 kg și aceeași valoare pentru $m_b$ se obțin:

$m_1$= $S_p$x $q_b$x 2 $\pi$ x $R_2$= 0,0326 x 6,28 x x 0,814 x 2200= 366,62 kg

$m_2$= ($h_m$-$h_p$)x $\frac{\pi d}{2}$x 2π $R_2$ x$q_b$=102,83 kg

Din relația (4.1) rezultă: $M_2$= 474,97 kg

Utilizând aceleași formule de calcul, pentru celelalte palete ale malaxorului se obțin valorile: $M_3$= 470,97 kg; $M_4$= 426,54 kg; $M_5$=394,8 kg; $M_6$=353,8 kg.

**Pulsația de excitație** ( pulsația rotorului) pentru malaxorul TEKA de BAF 750 este:

$\omega_r = \frac{\pi n_r}{30} = \frac{3{,}14\ x\ 29}{30}$ = 3,03 rad/s (4.6)

*IV.2 Cazul malaxorului TEKA 1500 l. Calculul pulsațiilor proprii ale paletelor și a amplitudinilor mișcării*[20]

**Calculul maselor de încovoiere pentru malaxorul TEKA, BAF 1500 l**

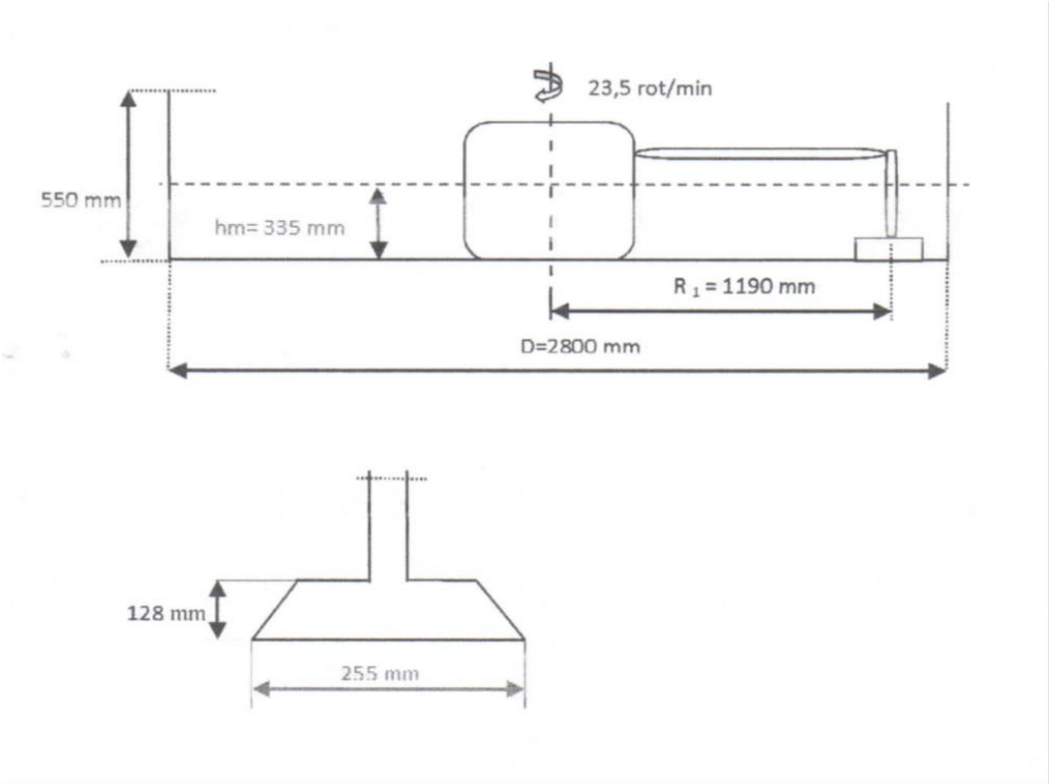



Figura 4.2 – Schema malaxorului BAF 1500 l cu ax vertical cu palete

Figura 4.2. Reprezentarea schematică a malaxorului TEKA BAF 1500 l, cu capacitatea utilă de 1,0 mc, având următoarele caracteristici tehnice[13]: productivitatea 50-60 mc/h; puterea motorului 37 kW; turația rotorului 23,5 rot/min; număr de palete 6 bucăți.

Caracteristicile dimensionale și tehnologice ale malaxorului prezentat în figura 4.2 sunt[13]:

- diametrul brațului de malaxor $d$=38 mm;
- modulul de rezistență axial $I_z$=10,23 x$10^4$ $mm^4$;
- razele paletelor: $R_1$= 1190 mm; $R_2$= 1142 mm; $R_3$= 1070 mm;
  $R_4$= 958 mm; $R_5$= 879 mm; $R_6$= 764 mm;
- suprafața paletei: $S_p$ = 25,5 cm x 12,8 cm=326 $cm^2$;
- grosimea stratului de material din malaxor: $h_m$=335 mm.

Prin aplicarea formulelor 4.1- 4.6 pentru malaxorul TEKA BAF 1500 l se obțin următoarele valori ale maselor de încovoiere pentru paletele 1-6 ale malaxorului:

$M_1$=746,43 kg; $M_2$= 716,62 kg; $M_3$= 671,91 kg;

$M_4$= 602,71 kg; $M_5$=553,29 kg; $M_6$=481,86 kg.

Pulsația de excitație a sistemului (pulsația rotorului) pentru malaxorul TEKA BAF 1500 l:

$\omega_r = \frac{\pi n_r}{30} = \frac{3{,}14\ x\ 23{,}5}{30}$ = 2,45 rad/s

**Calculul deformației unghiulare și a săgeții maxime [5,6,7]**

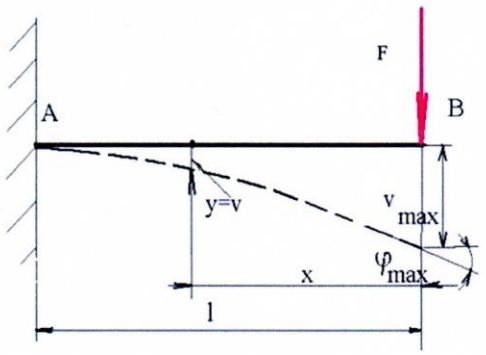



Figura 4.3- Schema brațului de malaxor prezentat ca o grindă încastrată

Se consideră sistemul braț-paletă ca o grindă încastrată de lungime l, supusă acțiunii forței F produsă de masele de încovoiere (figura 4.3), pentru care se determină deformația unghiulară maximă și săgeata maximă, prin aplicarea ecuațiilor de mai jos:

$EI_z \frac{df}{dx} = EI_x\varphi = \int Fxdx + C_1 = \frac{Fx^2}{2} + C_1$ (4.7)

Constanta de integrare se determină din condiția la limită x=l, $\varphi$=0

$0 = \frac{Fl^2}{2} + C_1$, deci $C_1 = -\frac{Fl^2}{2}$

$\varphi = \frac{1}{EI_z}(\frac{Fx^2}{2} - \frac{Fl^2}{2})$ (4.8)

Rotirea (deformația unghiulară) maximă se produce în încastrare, pentru x=0:

$\varphi_{max} = \frac{Fl^2}{2EI_z}$ [5,6,7] (4.9)

**Calculul săgeții maxime**

$EI_z v = \int (\frac{Fx^2}{2} - \frac{Fl^2}{2})\, dx + C_2 = \frac{Fx^3}{6} - \frac{Fl^2x}{2} + C_2$ (4.10)

Constanta de integrare se determină din condiția la limită x=l, v=0

$0 = \frac{Fl^3}{6} - \frac{Fl^2}{2} + C_2$, deci $C_2 = \frac{Fl^3}{3}$

$v = \frac{1}{EI_z}(\frac{Fx^3}{6} - \frac{Fl^2x}{2} + \frac{Fl^3}{3})$ (4.11)

Săgeata maximă se produce în capătul liber, pentru x=0:

$v_{max} = f = \frac{Fl^3}{3EI_z}$ [5,6,7] (4.12)

**Determinarea pulsațiilor proprii ale paletelor, săgeților de încovoiere, amplitudinilor maxime ale mișcării, reprezentarea grafică a variației amplitudinii cu pulsația**[20]

Săgeata maximă a sistemului braț-paletă la fiecare malaxor:

$f = \frac{Fl^3}{3\,EI}$

Forța perturbatoare: $F = F_0 \sin \omega t$ ; $F_0 = mg = kf$ [4] (4.13)

Constanta elastică a sistemului: $k = m\omega^2$ [4] (4.14) ,

deci $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ , prin urmare din relația 4.12 rezultă:

$\omega = \sqrt{\frac{g}{f}} = \sqrt{\frac{3EI}{ml^3}}$ [5] (4.15),

în care m este masa totală de încovoiere iar l= R (raza) pentru fiecare paletă, E este modulul de elasticitate al oțelului E= 2,1 x $10^5$ N/mm$^2$, iar I=$I_z$ este modulul de rezistență axial.

Relația de calcul a amplitudinii este următoarea:

$A_1 = \frac{F_{01}}{\sqrt{(k_1 - m_1\omega^2)^2 + c^2\omega^2}}$ [4] (4.16)

în care, pentru fiecare paletă forțele $F_{0i}$ =$M_1$g sunt date de masele de încovoiere $M_i$.

Constantele elastice pentru fiecare paletă sunt date de relația:

$k_i = \frac{3EI}{{R_i}^3}$ (4.17),

iar c= $2\xi\sqrt{km}$ [4] (4.18),

în care ξ= 0,2 este factorul de amortizare a mișcării [5].

Pentru malaxorul TEKA BAF 750 l se obțin prin aplicarea formulei (4.15) valorile următoare pentru pulsațiile proprii ale paletelor :

-la paleta 1 (cu raza cea mai mare):

$\omega_1 = \sqrt{\frac{3x2,1x10^5x\ 5,14x10^4}{514,2\ x0,882^3x\ 10^9}x\ 10^3} = \sqrt{91,8}$ = 9,58 rad /s;

În mod similar se determină pulsațiile proprii pentru celelalte palete:

$\omega_2$= 11,22 rad /s; $\omega_3$= 11,41 rad/s; $\omega_4$= 13,94 rad/s; $\omega_5$= 16,31 rad/s iar $\omega_6$= 20,39 rad/s.

Pentru malaxorul TEKA BAF 1500 l se obțin prin aplicarea formulei (4.15) valorile următoare pentru pulsațiile proprii ale paletelor:

-la paleta 1 (cu raza cea mai mare):

$\omega_1 = \sqrt{\frac{3x2,1x10^5x\ 10,23x10^4}{746,43\ x1,190^3x\ 10^9}x\ 10^3} = \sqrt{51,1}$ = 7,14 rad /s

În mod similar se determină pulsațiile proprii pentru celelalte palete:

$\omega_2$= 7,77 rad /s; $\omega_3$= 8,82 rad/s; $\omega_4$= 11,01 rad/s; $\omega_5$= 13,09 rad/s; $\omega_6$= 17,32 rad/s.

**Amplitudinile maxime obținute pentru paletele celor două malaxoare**

1)Pentru malaxorul TEKA BAF 750 l se obțin, după aplicarea relației (4.16):

$A_1$= 0,278 m , pentru valoarea pulsației $\omega$= 9,18 rad/s;

$A_2$= 0,201 m , pentru $\omega$= 10,75 rad/s;

$A_3$= 0,195 m, pentru $\omega$= 10,97 rad/s;

$A_4$= 0,130 m, pentru $\omega$= 13,36 rad/s;

$A_5$= 0,09 m, pentru $\omega$= 15,68 rad/s;

$A_6$= 0,06 m, pentru $\omega$= 19,53 rad/s.

Pentru constantele elastice se aplică relația (4.17) și se obțin valorile: $k_1$= 47195 N/m; $k_2$=60038,5 N/m; $k_3$= 61614,5 N/m; $k_4$= 83240,5 N/m; $k_5$ =105291 N/m; $k_6$= 146.957,8 N/m.

Reprezentarea grafică a amplitudinii mișcării funcție de variația pulsației paletelor este dată în figura 4.4, în care se observă modul de amortizare a mișcării pornind de la paleta 1 cea mai îndepărtată de rotor cu amplitudinea maximă de 0,278 m și până la paleta cea mai apropiată de acesta (a șasea), cu amplitudinea maximă de numai 0,06 m.

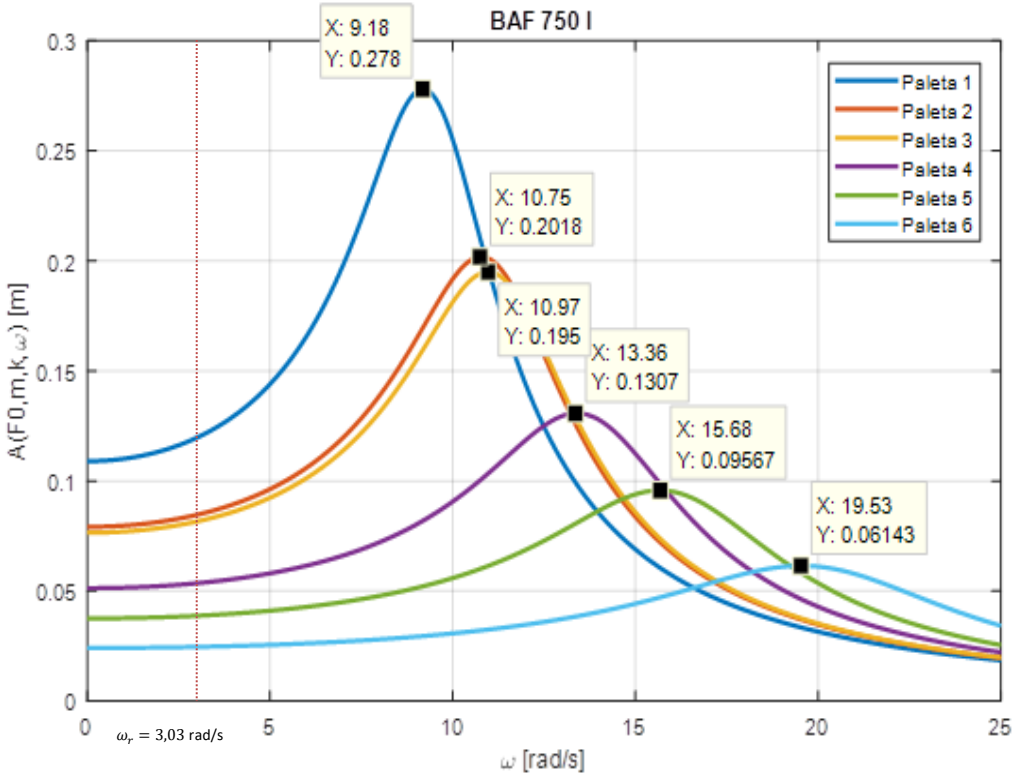



Figura 4.4-Reprezentarea grafică amplitudine -pulsație pentru paletele BAF 750 l

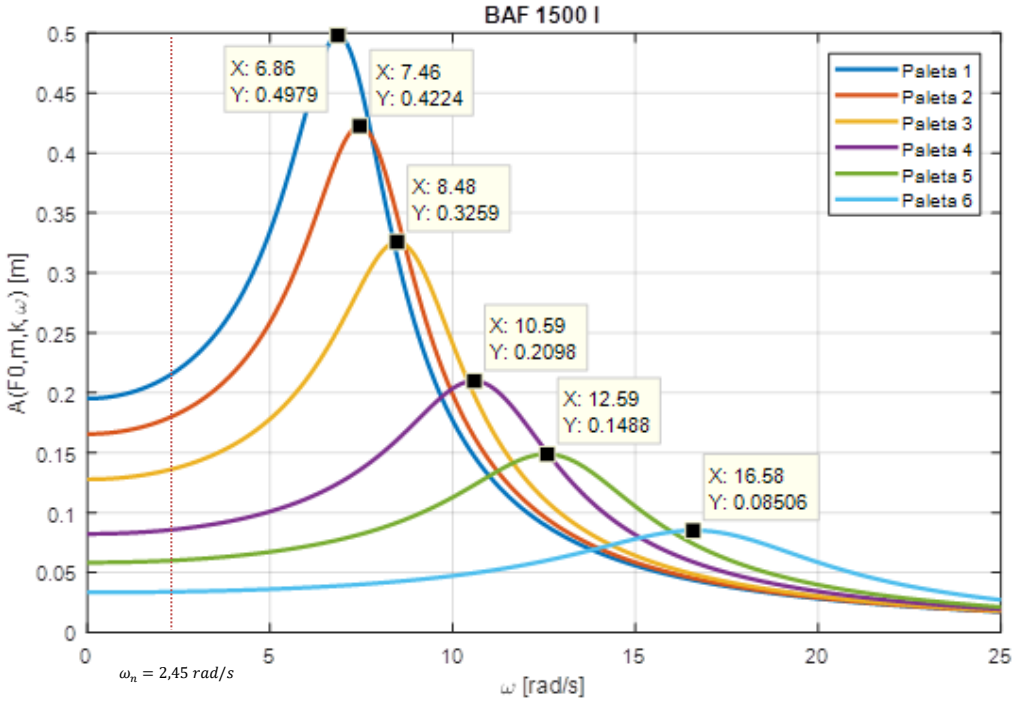



Figura 4.5- Reprezentarea grafică amplitudine -pulsație pentru paletele BAF 1500 l

2)Pentru malaxorul TEKA BAF 1500 l se obțin, după aplicarea relației (4.16):

$A_1$= 0,498 m , pentru valoarea pulsației $\omega$= 6,86 rad/s;

$A_2$= 0,424 m , pentru $\omega$= 7,46 rad/s;
$A_3$= 0,326 m, pentru $\omega$= 8,48 rad/s;
$A_4$= 0,210 m, pentru $\omega$= 10,59 rad/s;
$A_5$= 0,148 m, pentru $\omega$= 12,59 rad/s;
$A_6$= 0,08 m, pentru $\omega$= 16,58 rad/s.
Pentru constantele elastice se aplică relația (4.17) și se obține: $k_1$= 38248,6 N/m; $k_2$=43283,4 N/m; $k_3$= 52611,4 N/m; $k_4$= 73302,6 N/m; $k_5$ =94896,3 N/m; $k_6$= 144522,7 N/m.

Reprezentarea grafică a amplitudinii mișcării funcție de variația pulsației paletelor este în figura 4.5, în care se observă modul de amortizare a mișcării pornind de la paleta 1 cea mai îndepărtată de rotor, având amplitudinea maximă de 0,498 m și până la paleta cea mai apropiată de acesta ( a șasea), cu amplitudinea maximă de numai 0,08 m.

În graficele din figurile 4.4 și 4.5 a fost reprezentată și pulsația rotorului $\omega_r$ pentru a se putea scoate în evidență valorile amplitudinii paletelor pentru această valoare a pulsației. Se observă descreșterea amplitudinii odată cu apropierea paletelor de rotor, totodată creșterea pulsațiilor la valori tot mai îndepărtate de pulsația de excitație.

**Concluzii:**
Din analiza celor două grafice din figurile 4.4 și 4.5 se pot sintetiza următoarele concuzii:
- se obțin valori mai mari ale amplitudinilor maxime în cazul malaxorului TEKA BAF 1500 l, datorită volumului mai mare de malaxare, în raport cu TEKA BAF 750 l
- pulsațiile proprii ale paletelor de la malaxorul TEKA 750 l sunt mai mari decât cele de la malaxorul BAF 1500 l, ca urmare a valorilor mai mici ale razelor de dispunere a paletelor;
- la paletele ambelor malaxoare se obțin valori ale pulsațiilor proprii superioare față de pulsația de excitație;
- amortizarea sistemului este mai pronunțată în cazul malaxorului mai mic datorită valorilor mai mari ale constantelor elastice k, în raport cu malaxorul TEKA BAF 1500 l.

## CAPITOLUL V

### *STUDIU COMPARATIV EXPERIMENTAL AL PARAMETRILOR CUMULATIVI DETERMINAȚI PE UN LOT DE STAȚII DE BETOANEAUTOMATIZATE*

Pe un **lot reprezentativ de zece stații de betoane automatizate** au fost efectuate experimentări prin măsurarea și determinarea parametrilor cumulativi. Cele zece stații de betoane se află în exploatare în diverse zone geografice din România, având capacități diferite de producție și diverse sisteme de malaxare: cu un ax vertical (trei cazuri analizate), cu două axe verticale (două cazuri) și cu două axe orizontale(cinci cazuri).

Duratele de malaxare prevăzute în rețete respectau la majoritatea cazurilor (nouă din zece) durata de malaxare recomandată de producătorii malaxoarelor respective. **La patru dintre stațiile de betoane analizate duratele de malaxare din rețete depășeau valorile recomandate cu 5-15 secunde.** Din punct de vedere a performanțelor de monitorizare a parametrilor, două dintre stații nu au putut furniza protocoale de șarjă, iar cele furnizate de patru dintre stații nu ofereau toate informațiile despre duratele efective de malaxare.

Măsurările și determinările s-au făcut pe durata preparării de betoane de diferite clase de rezistență și consistență, cele mai mai întâlnite betoane au fost C12/15, C16/20 și C 25/30 având clasa de consistență S3, cu granula maximă a agregatului de ϕ 16 mm.

***Parametrii cumulativi măsurați*** au fost următorii:
- durata de malaxare efectivă $t_{mef}$, măsurată cu un cronometru electronic prezentat în figura 5.1, din momentul în care s-a introdus ultimul component și momentul începerii descărcării șarjei; durata efectivă trebuie să fie mai mare sau egală cu durata prevăzută în rețetă;
- durata ciclului $t_c$, măsurată cu cronometrul din figura 5.1 între două încărcări sucesive ale malaxorului, utilizată pentru a se verifica fiabilitatea în funcționare a stației de betoane.

***Parametrii cumulativi determinați*** au fost următorii*:*

-erorile de dozare componente, determinate ținând cont de valorile efective de dozare citite pe display (în protocoale de șarjă- la opt dintre stațiile analizate) și valorile nominale din rețetă;

- abaterea raportului apă/ciment în raport cu valoarea prescrisă în rețeta de laborator;
- turația axului (axelor) cu palate la malaxor n, a fost determinată la funcționarea în gol, ca raport între numărul de rotații efectuate într-o durată detimp măsurată cu cronometrul din figura 5.1, trebuind să se încadreze în abaterea de ± 5 % față de valoarea din cartea tehnică.

La acești parametrii s-au mai adăugat:

- durata normată a ciclului $t_{cn}$, determinată pentru productivitatea tehnică a stației și capacitatea utilă a malaxorului;
- productivitatea de exploatare $P_{oper}$ ca ultim parametru reprezentativ al stațiilor a fost determinată pentru durata măsurată a ciclului și capacitatea operațională a malaxorului.

Figura 5.1 Cronometru electronic utilizat la măsurări

Tabelul 5.1

| Nr. crt | $t_{mref}$ (sec) | $t_{cn}$ (sec) | $t_{mef}$ (sec) | $t_c$ (sec) | $P_{th}$ ($m^3$/h) | $P_{oper}$ ($m^3$/h) | Erori de dozare conform CP 012/1-2007(%) | Erori de dozare efective |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 30 | 84 | 33,4 | 98 | 96 | 82,6 | ± 3 agregate, apă, ciment ± 5 aditivi | 0,4 agreg; 0,2 cim; 0,25 apă; 1,24 aditivi |
| 2 | 30 | 60 | 36 | 72 | 60 | 50 | ± 3 agregate, apă, ciment ± 5 aditivi | 1,2 agreg; 0,66 cim; 0,78 apă; 1,12 aditivi |
| 3 | 30 | 60 | 30,2 | 74 | 60 | 48,6 | ± 3 agregate, apă, ciment ± 5 aditivi | 1,07 agreg; 0,33 cim; 1,16 apă; 2,14 aditivi |
| 4 | 30 | 67,5 | 31 | 78,3 | 80 | 69 | ± 3 agregate, apă, ciment ± 5 aditivi | 0,96 agreg; 0,24 cim; 0,38 apă; 0,76 aditivi |
| 5 | 40 | 90 | 42 | 109 | 80 | 66 | ± 3 agregate, apă, ciment ± 5 aditivi | 1,33 agreg; 0,58 cim; 0,79 apă; 1,36 aditivi |
| 6 | 40 | 135 | 41 | 146,5 | 40 | 36,8 | ± 3 agregate, apă, ciment ± 5 aditivi | 0,94 agreg; 0,77 cim; 0,35 apă; 1,23 aditivi |
| 7 | 45 | 82,6 | 50,3 | 88 | 98 | 82 | ± 3 agregate, apă, ciment ± 5 aditivi | 1,18 agreg; 0,42 cim; 0,59 apă; 1,49 aditivi |
| 8 | 45 | 85 | 49,4 | 94 | 106 | 95,7 | ± 3 agregate, apă, ciment ± 5 aditivi | 0,64 agreg; 0,18 cim; 0,26 apă; 1,94 aditivi |
| 9 | 45 | 108 | 46 | 122 | 50 | 36,9 | ± 3 agregate, apă, ciment ± 5 aditivi | 2,02 agreg; 0,98 cim; 0,52 apă; 1,56 aditivi |
| 10 | 45 | 80 | 45,4 | 92 | 45 | 39,1 | ± 3 agregate, apă, ciment ± 5 aditivi | 1,55 agreg; 0,36 cim; 1,32 apă; 2,66 aditivi |

În figurile 5.2 - 5.4 sunt următoarele reprezentări grafice:
- reprezentare grafică a duratelor de malaxare efective si prevăzute în rețetele de laborator pe durata preparării betonului pentru cele zece stații de betoane analizate;
- reprezentarea grafică a duratei determinate a ciclului de preparare, în raport cu valoare din cartea tehnică, pentru cele zece stații analizate.

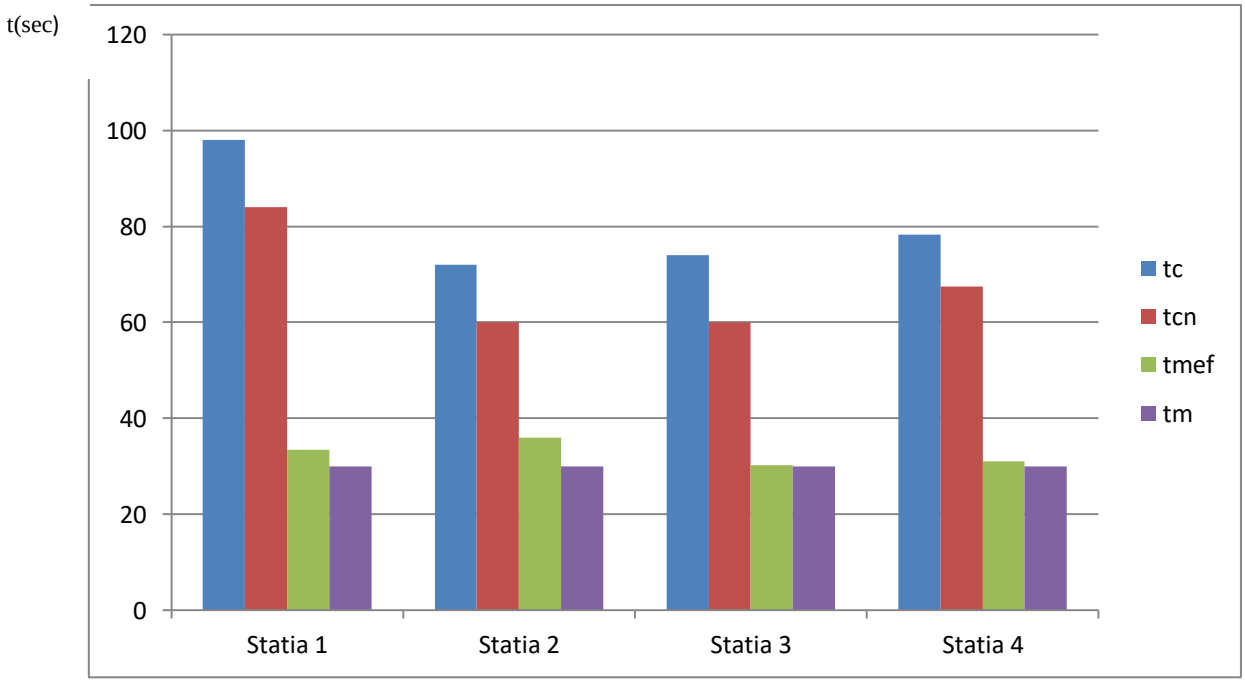



Figura 5.2 -Reprezentarea valorilor obținute pentru durata de malaxare și durata ciclului pentru stațiile 1-4

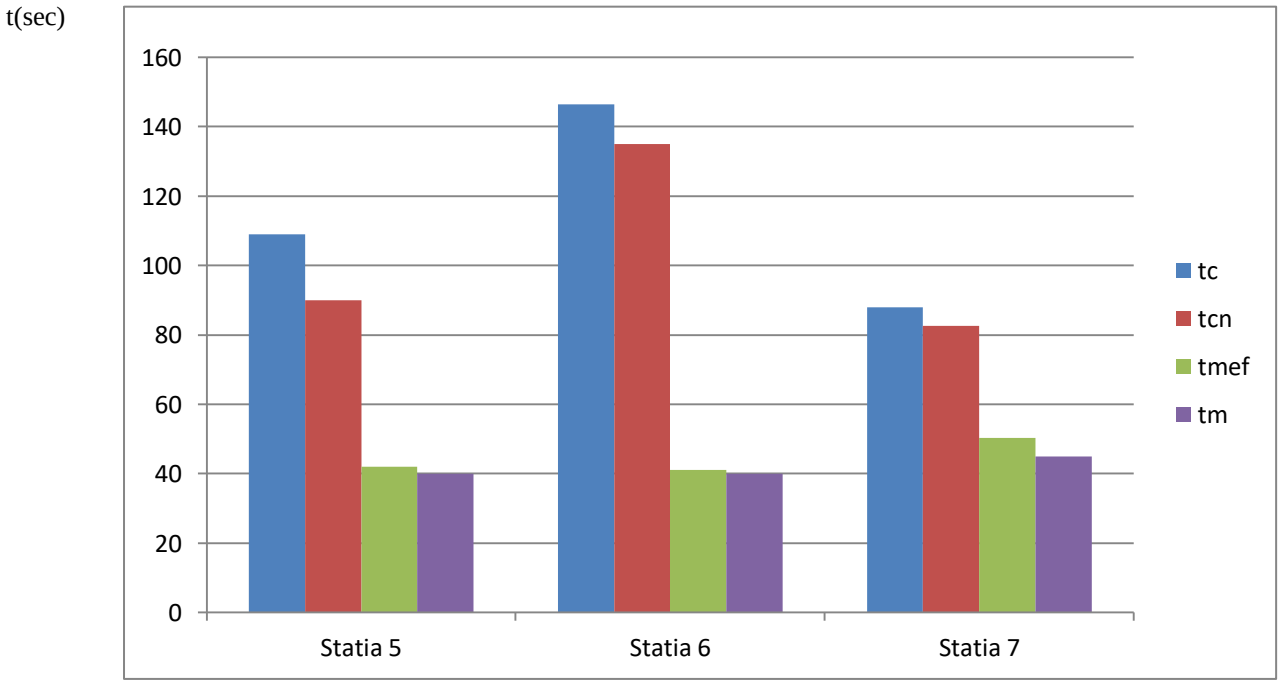



Figura 5.3- Reprezentarea valorilor obținute pentru durata de malaxare și durata ciclului pentru stațiile 5-7

În tabelul 5.1 sunt prezentate cele zece stații de betoane la care s-a efectuat măsurările/determinările, precum și valorile obținute pentru parametrii cumulativi, la care s-a adăugat productivitatea operațională ca parametru suplimentar.

În figurile 5.5-5.6 sunt reprezentate grafic erorile de dozare determinate pe durata preparării betoanelor la cele zece stații de betoane analizate.

Scopul reprezentărilor grafice respective este relevat de concluziile despre: respectarea duratelor de malaxare prevăzute în rețete, a erorilor de dozare prevăzute în CP 012/1-2007 precum și fiabilitatea statiilor de betoane evaluată pornind de la creșterea duratei ciclului, datorită blocajelor și uzurilor apărute după o perioadă îndelungată de funcționare.

În tabelul 5.2 s-au prezentat turațiile malaxoarelor aflate în dotarea celor zece stații de betoane analizate, sub formă de valori din cartea tehnică și valori determinate la mers în gol.

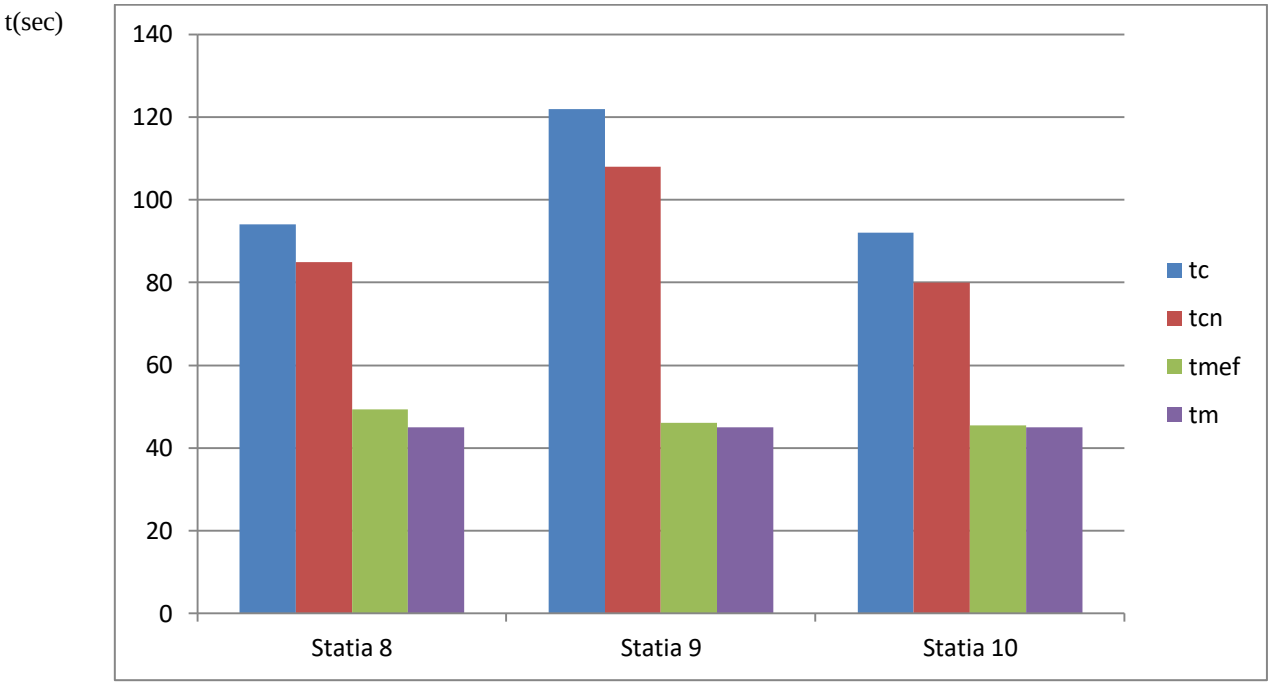



Figura 5.4- Reprezentarea valorilor obținute pentru durata de malaxare și durata ciclului pentru stațiile 8-10

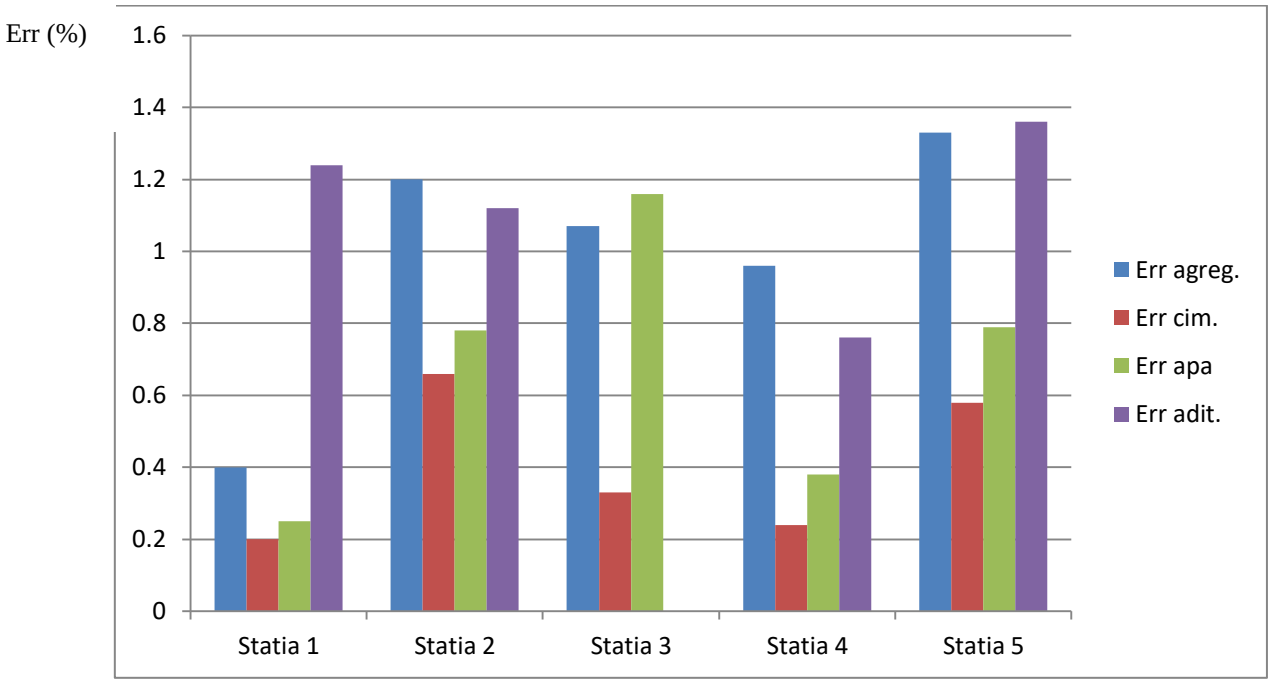



Figura 5.5- Erorile efective de dozare ale componentelor obținute la stațiile de betoane 1-5

**Tabel 5.2. Valori ale turațiilor efective determinate la malaxoarele celor zece stații de betoane**

| Stația | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $n_{CT}$ (rot/min) | 20,7 | 26,4 | 45 | 25 | 30 | 30 | 20,7 | 20,7 | 25 | 25 |
| $n_{det}$ (rot/min) | 20,26 | 24,72 | 43,94 | 23,14 | 29,88 | 30,23 | 19,62 | 20,24 | 24,16 | 25,19 |

*Concluzii despre modul de lucru al stațiilor analizate*

Compararea valorilor prevăzute cu valorile măsurate pentru durata de malaxare și durata ciclului (vezi graficele din figurile 5.2-5.4) conduce la următoarele concluzii:

- durata efectivă de malaxare este mai mare decât cea prevăzută în rețetă la toate stațiile, cu diferențe mai clare doar în cazul celor patru stații care evaluează consistența în mod automat;
- duratele efective ale ciclurilor sunt mai mari decât cele normate cu 6-20 de secunde;

**Erorile de dozare** determinate și prezentate în tabelul 5.1 și în graficele din figurile 5.5 și 5.6 pentru toate cele cele zece stații analizate au condus la următoarele concluzii:

- erorile de dozare s-au încadrat în valorile prevăzute de CP 012/1-2007[10];
- erorile cele mai mici s-au obținut în general la dozarea cimentului, iar cele mai mari la dozarea aditivului;
- erorile de dozare apă și ciment (mai mici de 2%) oferă stațiilor de betoane posibilitatea să respecte abaterea de 0,02 impusă de CP 012/1-2007 pentru raportul apă/ciment [10].

**Turațiile determinate** ale arborilor cu palete (tabel 5.2) s-au încadrat în limita de $\pm 5\%$, față de valorile prevăzute în cartea tehnică la opt stații de betoane din cele zece din lot, fiind mai apropiate de acestea în cazul stațiilor mai noi.

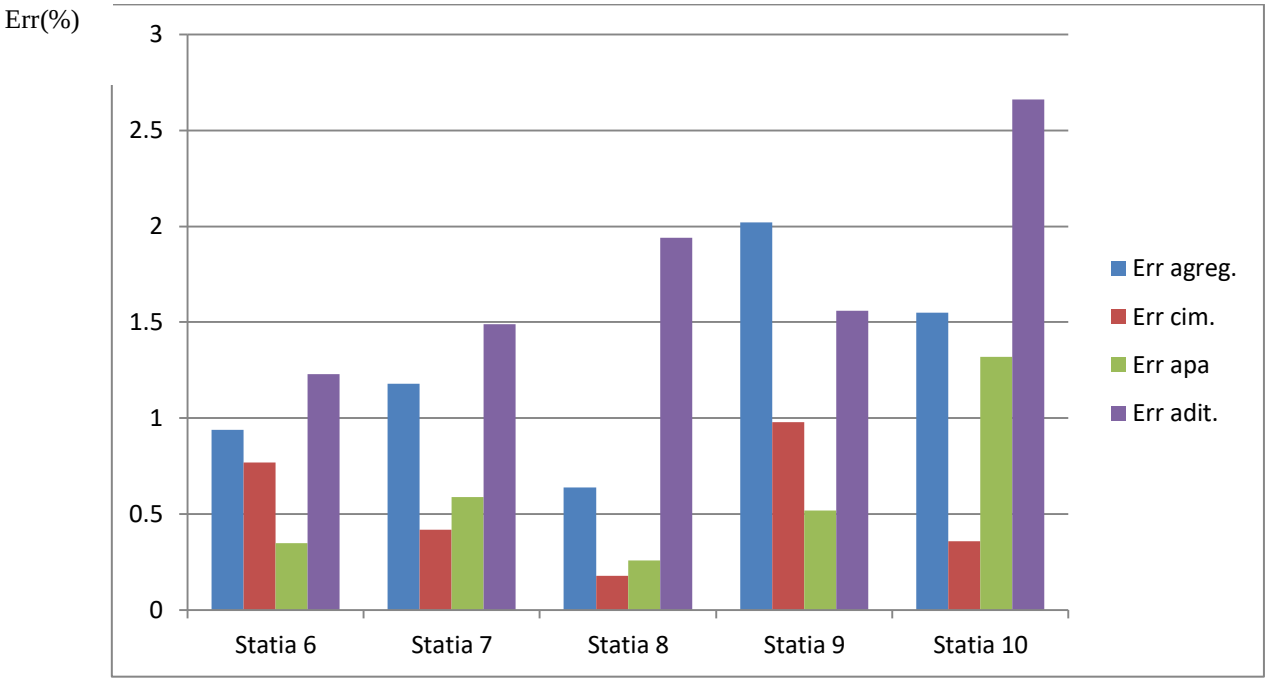



Figura 5.6- Erorile efective de dozare ale componentelor obținute la stațiile de betoane 6-10

## CAPITOLUL VI

## *DETERMINAREA RELAȚIILOR DINTRE DURATA DE MALAXARE ȘI REZISTENȚA LA COMPRESIUNE A BETONULUI, PENTRU DIFERITE SISTEME DE MALAXARE*

*IV.1.Studiul malaxării betoanelor, determinarea factorului malaxor*

***Cazul malaxorului cu două axe verticale***

Calculul puterii necesare acționării fiecarui ax cu palete, utilizând relația :

$P_m = M\omega$, [2] (6.1)

din care rezultă:

$$P_m=\frac{k_m n \sum r_{mi}(S_i cos\alpha_i cos\beta_i+A_{si})}{95500\ \eta_{tr}}\ [kW],\quad [2]\quad (6.2)$$

relație din care se determină $k_m$, ca rezistență specifică medie. În relatia (6.2) avem:
- n este turația axelor cu palete (rot/min); $\eta_{tr}$ este randamentul transmisiei motor – ax cu palete malaxor; $S_i$ reprezintă suprafețele paletelor; $\alpha_i$ si $\beta_i$ sunt unghiurile de înclinare a paletelor în plan vertical/orizontal; $A_{si}$ reprezintă suprafața porțiunii de braț de malaxare aflată în interiorul materialului pe durata malaxării și de determină cu relația:

$$A_{si}=\frac{\pi d}{2}\left(h_m-h_p cos\beta i\right)[cm^2],\ [2]\qquad (6.3),$$

în care: $d$ este diametrul brațului; $h_m$ înălțimea stratului de material; $h_p$ înălțimea paletei.
Determinarea rezistenței la malaxare pentru cele (n x 2) palete (câte n palete amplasate pe fiecare ax) se face considerând raza medie a paletelor:

$$r_{m1}=r_{m2}=\frac{1}{n}\sum r_i\ [cm]\qquad (6.4)$$

Pentru fiecare paletă se aplică relația :

$$k_i=\frac{r_i}{r_m}k_m[daN/cm^2],\qquad (6.5)$$

Calculul vitezelor tangențiale ale paletelor pentru fiecare ax, se face prin aplicarea relației:

$$v_i=\omega r_{ie}=\frac{\pi n}{30}r_{ie}[m/s]\qquad (6.6),$$

în care $r_{ie}$ reprezintă raza exterioară (tangențială) a fiecărei palete

***Cazul malaxorului cu un ax vertical cu** palete**, cu sau fără agitator***

În cazul malaxorului cu un ax vertical cu palete, se aplică relațiile de calcul de la malaxorul cu două axe verticale, cu deosebirea că în relația (6.2) se va introduce doar puterea necesară acționării celor n palete (nu și aceea necesară acționării agitatorului).

***Studiul malaxoarelor cu două axe orizontale***

Calculul puterii necesare acționării fiecarui ax cu palate, considerată ca fiind egală cu puterea motorului de acționare, utilizând relația (6.1), obținem:

$$P_m=\frac{\psi z n k_m b\left(r_e{}^2-r_i{}^2\right)}{2x\ 95500x\eta_{tr}}x\ cos\alpha[kW]\ [2]\qquad (6.8),$$

în care: ψ = 0,6…0,7 este coeficientul de umplere a cuvei; z este numărul total de palete; b lățimea paletelor; α este unghiul de înclinare a paletelor față de planul longitudinal al cuvei; $r_e$ și $r_i$ razele exterioare și interioare ale paletelor așezate în plan vertical radial; $\eta_{tr}$ randamentul transmisiei motor–malaxor; $k_m$ rezistența specifică medie la malaxare, egală cu rezistența la malaxare pentru fiecare paletă, deoarece $r_i$= $r_m$

Vitezele periferice egale pentru cele z palete se determină cu relația (6.6), în care $r_{ie}$= $r_e$

**STUDII DE CAZ -** *exemple de calcul a rezistenței la malaxare și a vitezei de amestecare*

**1.Malaxorul SICOMA de 1,5 mc** cu două axe verticale, prezentat în figura 6.1, are următoarele caracteristici tehnice [14,19]: puterea motoarelor de acționare 30+30 kW; numărul de palete 3+3; turația celor două rotoare 30+30 rot/min.

Considerând: d = 5 cm, $h_m$ = 46,6 cm, iar $h_p$ =12,8 cm, $S_i$= 332 $cm^2$ , $\alpha_i$=$40^0$ , $\beta_i$= $25^0$ și razele paletelor pe cele două axe 62, 60 și 58 de cm, prin aplicarea formulei (6.3) obținem:
$A_{si}$= 274 $cm^2$; $S_i cos\alpha_i cos\beta_i$= 230 $cm^2$; $\sum r_{mi}(S_i cos\alpha_i cos\beta_i+A_{si})$ = 90720 $cm^3$, pentru fiecare ax al malaxorului;
În relația (6.2), introducând puterea motorului de acționare la un ax de 30 kW, și $\eta_{tr}$ = 0,85 va rezulta $\boldsymbol{k_m=0,89\ daN/cm^2}$
Vitezele periferice pentru cele trei palete, determinate cu relația (6.6) sunt următoarele:
**$v_1$= 2,30 m/s; $v_2$= 2,22 m/s; $v_3$= 2,14 m/s**

**2.Malaxorul SICOMA de 1,5 mc** cu două axe orizontale, prezentat în figura 6.2, are următoarele caracteristici tehnice [14,19]: puterea instalată a motorul de acționare a celor două axe 55,2 kW; numărul de palete active 6+6= 12; turația 25 rot /min.

Introducând în relația (6.8) valorile: ψ = 0,7, z =12, b = 28 cm, $\alpha$ = $40^0$, $r_e$ = 50 cm, $r_i$ = 35 cm și $\eta_{tr}$ =0,85, obținem $\boldsymbol{k_m = 1,56\ daN/cm^2}$

Viteza periferică rezultată la palete, după aplicarea relației (6.6) este: $\boldsymbol{v}$ **= 1,31 m/s**

**3. Malaxorul LIEBHERR de 2,25 mc** cu un ax vertical cu 5 palete și un agitator, prezentat în figura 6.3, are următoarele caracteristici tehnice [15,19]: puterea motorului 90 kW; puterea de acționare palete 70 kW; turația rotorului 20,7 rot/min.

Considerând: d= 5,2 cm, $h_m$ = 51,8 cm, iar $h_p$ =12 cm, $S_i$= 336 $cm^2$, $\alpha_i$=$40^0$, $\beta_i$= $25^0$ și razele paletelor: 142, 128, 114, 103 și 88 de cm, prin aplicarea formulelor obținem:

$A_{si}$= 325 $cm^2$; $S_i cos\alpha_i cos\beta_i$= 233 $cm^2$;$\sum r_{mi}(S_i cos\alpha_i cos\beta_i + A_{si})$= 320850 $cm^3$, pentru cele 5 palete ale malaxorului;

În relația (6.2), introducând puterea motorului de acționare pentru cele 5 palete de 70 kW și $\eta_{tr}$ = 0,85 va rezulta: $\boldsymbol{k_m = 0,86\ daN/cm^2}$**.** Viteza maximă la paleta 1**:** $\boldsymbol{v_1}$**= 3,08 m/s;**

Figura 6.1- Malaxor SICOMA cu două axe verticale de 1,5 mc capacitate

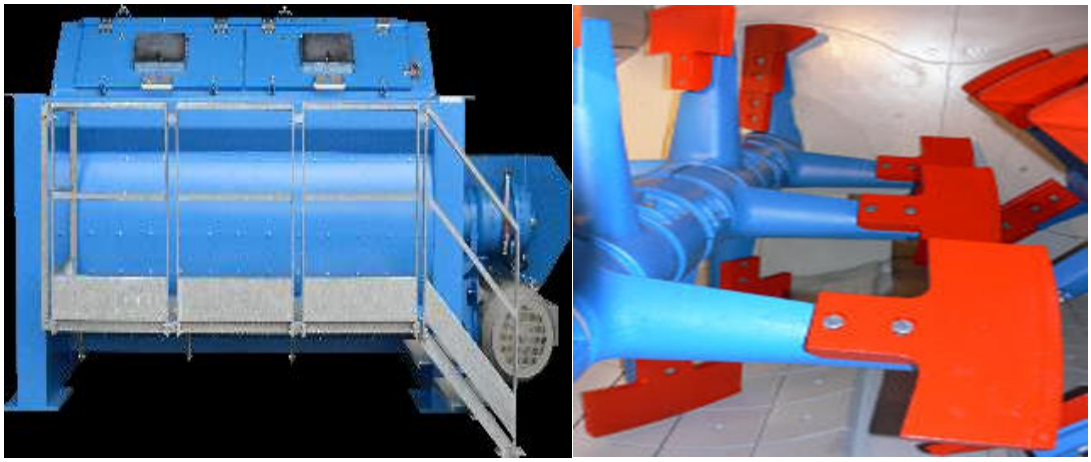


Figura 6.2- Malaxor SICOMA cu două axe orizontale de 1,5 mc

**4. Malaxorul LIEBHERR de 2,25 mc** cu două axe orizontale, prezentat în figura 6.4 are următoarele caracteristici tehnice [15,19]: puterea instalată 75 kW; număr palete 6 x 2=12; puterea de acționare 70 kW**;** turația rotorului 20,7 rot/min;

Introducând în relația (6.8) valorile: ψ = 0,7, z =12 , b = 28 cm, $\alpha$ = $40^0$, $r_e$ = 57 cm, $r_i$ = 42 cm și $\eta_{tr}$ = 0,85 obținem $\boldsymbol{k_m = 2,05\ daN/cm^2}$

Viteza periferică rezultată la palete: $\boldsymbol{v}$ **= 1,3 m/s.**
În mod similar s-au determinat vitezele periferice și rezistențele la malaxare pentru[14]:
- malaxorul SICOMA cu două axe orizontale, cu capacitatea de 1,0 mc, putere motor 37 kW, turație rotor 25 rot/min, număr palete 8 bucăți [20]; **v = 1,17 m/s**, $\boldsymbol{k_m}$**= 1,47** $\boldsymbol{daN/cm^2}$;
- pentru malaxorul SICOMA cu două axe orizontale cu capacitatea de 2,0 mc, putere motoare 2x37 kW, turație 25 rot/min, 12 palete [20]. **v = 1,30 m/s**, $\boldsymbol{k_m}$**= 1,78** $\boldsymbol{daN/cm^2}$.
În același mod pentru malaxoarele SICOMA cu două axe verticale se determină[14]:
- pentru malaxor cu două axe verticale de 1,0 mc capacitate, putere motor 45 kW, turația rotor 45 rot/min, 6 palete : **v = 2,58 m/s**, $\boldsymbol{k_m}$**= 0,61** $\boldsymbol{daN/cm^2}$**;**
- pentru malaxor de 2,0 mc capacitate (putere motor 2x45 kW, turație rotoare 30 rot/min, 6 palete): **v = 2,60 m/s**, $\boldsymbol{k_m}$**= 0,81** $\boldsymbol{daN/cm^2}$**.**

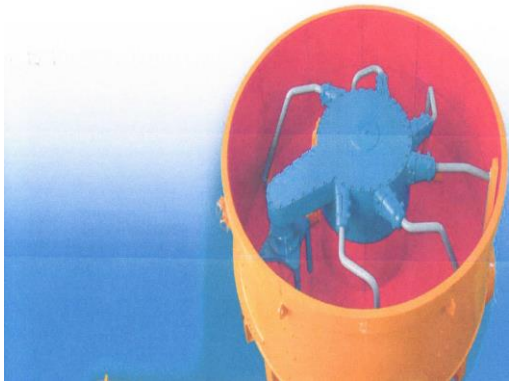


Figura 6.3-Malaxor LIEBHERR de 2,25 mc

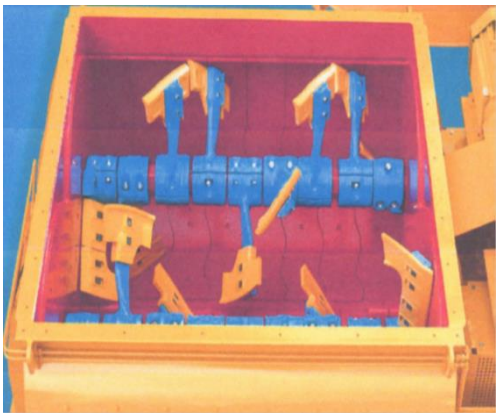


Figura 6.4-Malaxor LIEBHERR de 2,25 mc

Utilizând relațiile 6.2 și 6.6 pentru malaxoarele cu un ax vertical se determină [15]:
- pentru malaxorul LIEBHERR cu un ax vertical de 0,5 mc, (putere motor 22 kW, turația rotor 26,2 rot/min, 5 palete) : **v = 2,38 m/s,** $\boldsymbol{k_m}$**= 0,44** $\boldsymbol{daN/cm^2}$**;**
- pentru malaxorul LIEBHERR cu un ax vertical de 1,0 mc, (putere motor 37 kW, turație rotor 26,4 rot/min, 5 palete) : **v = 2,75 m/s,** $\boldsymbol{k_m}$**= 0,54** $\boldsymbol{daN/cm^2}$**;**
- pentru malaxorul LIEBHERR cu un ax verical de 2,0 mc (putere motor 75 kW, turație rotor 20,7 rot/min, 5 palete + agitator) : **v = 2,80 m/s,** $\boldsymbol{k_m}$**= 0,78** $\boldsymbol{daN/cm^2}$**.**

**Factorul malaxor** se determină pentru fiecare malaxor în parte ca produs a trei factori:
- **factorul rezistență** $\boldsymbol{k_{rez}}$, ca raport între rezistența specifică a malaxorului respectiv și o rezistență considerată maximă la malaxare pentru sistemul de amestecare respectiv;
- **factorul viteză** $\boldsymbol{k_{vit}}$, calculat ca diferența între viteza considerată optimă și viteza medie de amestecare pentru malaxorul respectiv, raportată la o viteză de referință (1,0 m/s);
- **factorul de umplere** cu material a malaxorului $\boldsymbol{k_u}$, ca raport între capacitatea operațională (a șarjei de beton) și capacitatea utilă a malaxorului.

$f_m = k_{rez} \text{x } k_{vit} \text{ x } k_u$ (6.9)

**Determinarea factorul malaxor pentru diverse sisteme de malaxare și capacități**

*Malaxoare cu un ax vertical*

1) Capacitatea utilă 0,5 mc

$\boldsymbol{k_{rez}} = \frac{k_{sp}}{k_{max}} = \frac{0,44}{1,0} = 0,44$

$\boldsymbol{k_{vit}} = \frac{v_o - v_m}{v_{ref}} = \frac{3-2,4}{1} = 0,6$

$k_u$= 0,75, factorul de umplere, **valabil pentru toate cazurile**
Rezultă aplicând relația 6.9**:** $\boldsymbol{f_m}$**=0,19**

2) Capacitate utilă 1,0 mc:

$k_{rez}=\frac{k_{sp}}{k_{max}}=\frac{0,54}{1,0}=0,54$

$k_{vit}=\frac{v_o-v_m}{v_{ref}}=\frac{3-2,7}{1}=0,3$**,**

rezultă: $\boldsymbol{f_m}$**=0,12**

3) Capacitatea utilă 2,0 mc:

$k_{rez}=\frac{k_{sp}}{k_{max}}=\frac{0,80}{1,0}=0,80$

$k_{vit}=\frac{v_o-v_m}{v_{ref}}=\frac{3-2,8}{1}=0,2$**,**

rezultă: $\boldsymbol{f_m}$**= 0,12**

*Malaxoare cu două axe verticale*

1) Capacitatea utilă : 1,0 mc**:**

$\boldsymbol{k_{rez}}=\frac{\boldsymbol{k_{sp}}}{\boldsymbol{k_{max}}}=\frac{\mathbf{0,61}}{\mathbf{1,0}}=0,61$

$\boldsymbol{k_{vit}}=\frac{\boldsymbol{v_o-v_m}}{\boldsymbol{v_{ref}}}=\frac{\mathbf{2,8-2,58}}{\mathbf{1}}=0,22$

$k_u$= 0,75, factorul de umplere, valabil pentru toate cazurile

Rezultă**:** $\boldsymbol{f_m}$**= 0,10**

2) Capacitate utilă 1,5 mc:

$k_{rez}=\frac{k_{sp}}{k_{max}}=\frac{0,89}{1,0}=0,89$

$k_{vit}=\frac{v_o-v_m}{v_{ref}}=\frac{2,8-2,22}{1}=0,58$**,**

rezultă: $\boldsymbol{f_m}$**=0,38**

3)Capacitatea utilă 2,0 mc:

$k_{rez}=\frac{k_{sp}}{k_{max}}=\frac{0,81}{1,0}=0,81$

$k_{vit}=\frac{v_o-v_m}{v_{ref}}=\frac{2,8-2,6}{1}=0,2$**,**

rezultă: $\boldsymbol{f_m}$**=0,12**

*Malaxoare cu două axe orizontale*

1)Capacitatea utilă 1,0 mc:

$\boldsymbol{k_{rez}}=\frac{\boldsymbol{k_{sp}}}{\boldsymbol{k_{max}}}=\frac{\mathbf{1,47}}{\mathbf{2,0}}=0,73$

$\boldsymbol{k_{vit}}=\frac{\boldsymbol{v_o-v_m}}{\boldsymbol{v_{ref}}}=\frac{\mathbf{1,5-1,17}}{\mathbf{1}}=0,33$

$k_u$= 0,75, factorul de umplere, valabil pentru toate cazurile

Rezultă**:** $\boldsymbol{f_m}$**=0,18**

2) Capacitate utilă 1,5 mc:

$k_{rez}=\frac{k_{sp}}{k_{max}}=\frac{1,56}{2,0}=0,78$

$k_{vit}=\frac{v_o-v_m}{v_{ref}}=\frac{1,5-1,17}{1}=0,33$**,**

rezultă: $\boldsymbol{f_m}$**=0,19**

3) Capacitatea utilă 2,0 mc:

$k_{rez}=\frac{k_{sp}}{k_{max}}=\frac{1,78}{2,0}=0,89$

$k_{vit}=\frac{v_o-v_m}{v_{ref}}=\frac{1,5-1,3}{1}=0,2$**,**

rezultă: $\boldsymbol{f_m}$**=0,13**

**Determinarea factorului rețetă**

La stabilirea factorului rețetă se va ține cont de cei doi factori de cea mai mare influență: densitatea reală a amestecului preparat și raportul efectiv apă /ciment. Factorul rețetă se determină în două variante, cu relația 6.10 sau cu relatia 6.11.

$f_{r2}$= 1 - $\frac{\rho_{x-1}}{\rho_x}$ $x$ $\frac{a_x/c_x}{a_{x-1}/c_{x-1}}$ (6.10)

sau: $f_{r1}$ = 1- $\frac{\rho_0}{\rho_x} x \frac{a_x/c_x}{a_0/c_0}$ (6.11)

în care:

- $\rho_x$ $\rho_{x-1}$, și $\rho_0$ reprezintă densitățile amestecului rezultat la prepararea betoanelor de clasă x, x-1 (clasa anterioară) și clasa zero (considerată C8/10) **după dozarea componentelor**;
- $a_x/c_x$, $a_{x-1}/c_{x-1}$ și $a_0/c_0$ reprezintă rapoartele apă/ciment rezultate la prepararea betoanelor de clasă x, x-1 (clasa anterioară) și clasa zero **după dozarea componentelor.**

**Studiu de caz**

Se consideră cazul preparării unor betoane C 8/10- C 50/60, pentru care se determină factorul rețetă în ambele variante, după dozarea componentelor.

Pentru clasa de rezistență C8/10, a unui beton cu clasa de consistența S3 se consideră :

a/c= 0,72 și $\boldsymbol{\rho_{C8/10}}$ = $\boldsymbol{\rho_{x-1}}$ = 2345 kg/mc;

**Aplicând relația (6.10) obținem următoarele valori pentru factorul rețetă:**

- pentru clasa de rezistență C12/15, a/c= 0,68 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2348 kg/mc; rezultă $\boldsymbol{f_{r2}}$= 0,056;
- pentru C 16/20, a/c=0,64 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2355 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r2}}$=0,061
- pentru C 18/22,5, a/c=0,60 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2353 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r2}}$=0,061
- pentru C 20/25, a/c=0,56 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2359 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r2}}$=0,085
- pentru C 25/30, a/c=0,51 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2355kg/mc; $\boldsymbol{f_{r2}}$=0,087
- pentru C 30/37, a/c=0,47 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2371kg/mc; $\boldsymbol{f_{r2}}$=0,085
- pentru C 32/40, a/c=0,44 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2376 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r2}}$=0,066
- pentru C 35/45, a/c=0,41 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2379 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r2}}$=0,069
- pentru C 40/50, a/c=0,39 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2388 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r2}}$=0,052
- pentru C 50/60, a/c=0,36 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2398 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r2}}$=0,080

**Aplicând relația (6.11) obținem următoarele valori pentru factorul rețetă:**

- pentru C12/15, a/c= 0,68 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2348 kg/mc; rezultă $\boldsymbol{f_{r1}}$= 0,056
- pentru C 16/20, a/c=0,64 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2355 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r1}}$=0,114
- pentru C 18/22,5, a/c=0,60 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2353 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r1}}$=0,169
- pentru C 20/25, a/c=0,56 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2359 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r1}}$=0,226
- pentru C 25/30, a/c=0,51 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2355kg/mc; $\boldsymbol{f_{r1}}$=0,294
- pentru C 30/37, a/c=0,47 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2371kg/mc; $\boldsymbol{f_{r1}}$=0,354
- pentru C 32/40, a/c=0,44 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2376 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r1}}$=0,396
- pentru C 35/45, a/c=0,41 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2379 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r1}}$=0,438
- pentru C 40/50, a/c=0,39 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2388 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r1}}$=0,468
- pentru C 50/60, a/c=0,36 și $\boldsymbol{\rho_x}$= 2398 kg/mc; $\boldsymbol{f_{r1}}$=0,511

În figura 6.5 valorile obținute pentru factorul rețetă în cele două variante sunt reprezentate grafic, pentru a scoate în evidență modul său de variație cu clasa de rezistență a betonului.

***Relația dintre durata de malaxare și rezistența la compresiune***

Între durata de malaxare și rezistența la compresiune se propune o relație de forma următoare:

$t_m$=$t_0 k_1$+$t_0 k_2 \left(1 - \frac{R_{c0}}{R_c}\right)$ ( 6.12 ),

în care: $t_0$ este durata de malaxare, prevăzută în rețetă; $k_1$ este un factor care depinde de condițiile de preparare, $k_1$ poate avea valori între 1,1-1,5; $k_2$ este un factor cumulativ care înglobează factorul malaxor și factorul rețetă:

$k_2 = f_m + f_r$ (6.13)

- $R_{c0}$=10 N/$mm^2$, rezistența minimă la compresiune pentru clasa de rezistență C 8/10

**STUDII DE CAZ.** Se aplică relația 6.12 pentru betoane diferite, preparate în malaxoare cu diverse capacități și sisteme de amestecare, pentru care au fost măsurate cu cronometrul prezentat în figura 5.1 duratele de malaxare și au fost determinate rezistențele la compresiune la 28 de zile, în laboratoarele de încercări care deserveau stațiile de betoane respective.

**a) Cazul malaxoarelor cu un ax vertical**

**Pentru un malaxor LIEBHERR cu capacitatea de 0,5 mc**

Se consideră cazul unui beton preparat de clasă C 16/20, având valoarea determinată în laborator pentru rezistența la compresiune la 28 de zile $R_c$ = 24,4 N/$mm^2$

În relația $t_m = t_0 k_1 + t_0 k_2 \left(1 - \frac{R_{c0}}{R_c}\right)$, se introduc următoarele valori:

$t_0$=30 sec, valoarea inițială a duratei de malaxare prevăzută în rețetă

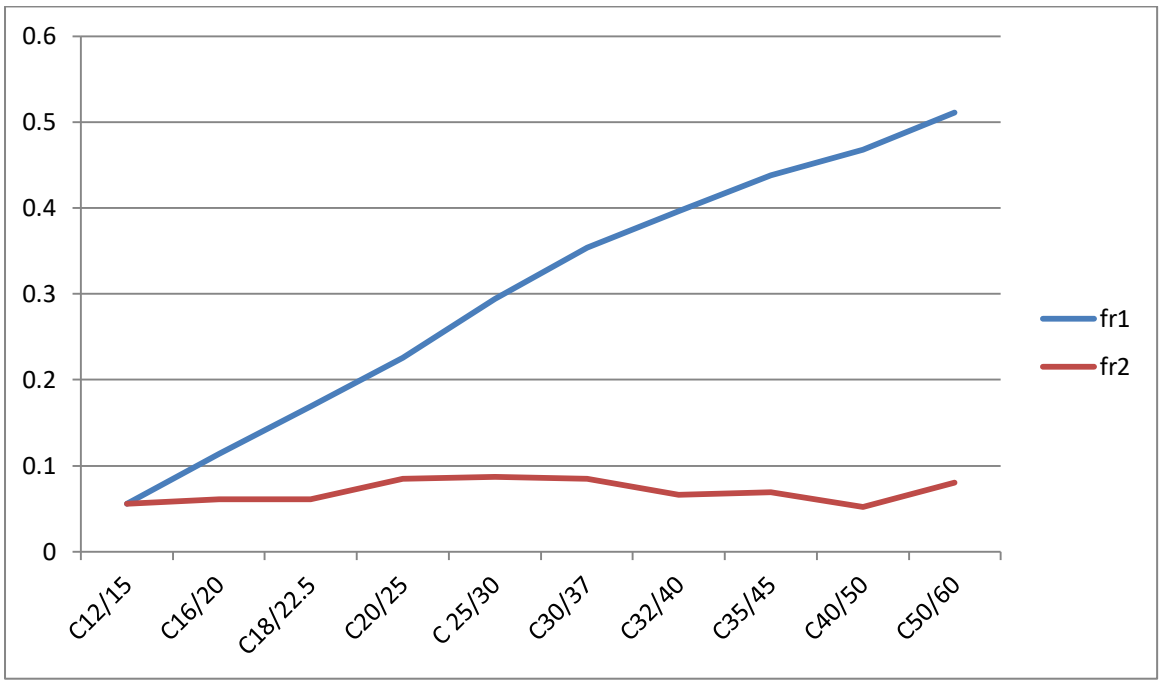



Figura 6.5- Variația factorului rețetă determinat în variantele $f_{r1}$ și $f_{r2}$, cu clasa de rezistență a betonului

$k_1$=1 (condiții normale de preparare a unui beton fluid)

Valori calculate pentru durata de malaxare, în două variante:

$t_{m1}$= 30+ 30(0,19+ 0,114) (1 - $\frac{10}{24,4}$ ) = 35,4 sec, ținând cont de factorul malaxor și de factorul rețetă calculat cu relația (6.11)

$t_{m2}$= 30+ 30 x 0,061 (1 - $\frac{10}{24,4}$ ) = 31 sec, ținând cont numai de factorul rețetă calculat cu relația (6.10)

Valoarea măsurată cu cronometrul : $t_{mas}$ =30,68 sec

Durata de malaxare recomandată: $t_{mr}$= 30 sec; în acest caz se observă că $\boldsymbol{t_{mr} = t_0}$

**Pentru un malaxor LIEBHERR de 1,0 mc,** s-au determinat următoarele valori:

- pentru C 12/15 s-a obținut $R_c$ = 18,4 N/$mm^2$; pentru C 16/20, $R_c$ = 28,9 N/$mm^2$; pentru C 20/25, $R_c$= 32,9 N/$mm^2$; pentru C 25/30, $R_c$ = 38,7 N/$mm^2$; pentru C 30/37, $R_c$ = 48,7 N/$mm^2$; pentru C 35/45, $R_c$= 52,7N/$mm^2$.

$\boldsymbol{t_{mr} = t_0}$ = 30 sec;

- pentru condiții normale de preparare: $k_1$=1

Valori calculate pentru $t_{m1}$ (sec): 32,4; 34,5; 37,2; 39,2; 41,2; 43,5, ținând cont de factorul malaxor, $f_m$ = 0,12 și de factorul rețetă calculat cu relația (6.11).
Valori calculate pentru $t_{m2}$ (sec): 30,8; 31,2; 31,8; 31,9; 32,02; 33,1, ținând cont numai de factorul rețetă calculat cu relația (6.10).
Valori măsurate cu cronometrul: $t_{mas}$ (sec): 30,15; 30,42; 31,25; 31,51; 31,67; 32,03
**Pentru un malaxor FRUMECAR de 1,0 mc, la care durata de malaxare din rețetă a variat cu clasa de beton** s-au determinat valorile:
-pentru C12/15, $R_c$ = 23,8 N/$mm^2$,
$t_0$=35 sec, $k_1$=1; $t_{m1}$= 38,6 sec; $t_{m2}$= 36,1 sec; $t_{mas}$= 35,72 sec
-pentru C 18/22,5, $R_c$ = 30,4 N/$mm^2$;
$t_0$=40 sec, $k_1$=1; $t_{m1}$= 47,7 sec; $t_{m2}$= 41,6 sec; $t_{mas}$ = 40,52 sec
-pentru C 20/25, $R_c$ = 35,4 N/$mm^2$
$t_0$= 45sec, $k_1$=1; $t_{m1}$= 56,2 sec; $t_{m2}$= 47,7 sec; $t_{mas}$ = 46,12 sec
$t_{mr}$ = 30 sec; În acest exemplu avem $\boldsymbol{t_0} > \boldsymbol{t_{mr}}$, caz rar întâlnit în practică.
**Pentru malaxor LIEBHERR cu capacitate 2,0 mc :**pentru C 25/30**,** $R_c$ = 36,0 N/$mm^2$
$t_0$=30 sec, $k_1$=1
Valori determinate: $t_{m1}$= 38,9 sec; $t_{m2}$= 31,8 sec.Valoarea măsurată: $t_{mas}$ =32,77 sec
$t_{mr}$ recomandat de producătorul malaxorului = 30 sec ; $\boldsymbol{t_{mr}} = \boldsymbol{t_0}$

**b)Malaxoare cu două axe verticale**
**Malaxor OCMER cu capacitatea utilă 1,0 mc:** pentru C16/20**,** $R_c$ = 23,8 N/$mm^2$**;** pentru C 20/25, $R_c$ =29,0 N/$mm^2$; pentru C 25/30, $R_c$ = 36,8 N/$mm^2$
$t_0$=30 sec, $k_1$=1
$t_{mr}$ recomandat de producătorul malaxorului 40 sec; se observă în acest caz că $\boldsymbol{t_0} < \boldsymbol{t_{mr}}$
Valori calculate: $t_{m1}$= 33,7 sec; 36,4 sec; 38,6 sec.
$t_{m2}$= 31,06 sec; 31,7 sec; 31,9 sec.
Valori măsurate $t_{mas}$: 30,47 sec; 30,51 sec; 31,02 sec.
**Malaxor SICOMA cu capacitatea utilă de 1,5 mc:** pentru C16/20**,** $R_c$= 29,9 N/$mm^2$**;** pentru C 20/25, $R_c$ = 33,4 N/$mm^2$; pentru C 25/30, $R_c$ = 41,8 N/$mm^2$
$t_0$=40 sec, $k_1$=1
Valori calculate: $t_{m1}$= 53,04 sec; 56,9 sec; 60,48 sec.
$t_{m2}$= 41,6 sec; 42,4 sec; 42,6 sec.
Valori măsurate: $t_{mas}$= 40,67 sec; 41,25 sec; 41,53 sec.
$\boldsymbol{t_{mr}} = \boldsymbol{t_0}$= 40 sec
**Malaxor SICOMA de capacitate de 2,0 mc:** pentru C 12/15, $R_c$ = 19,2 N/$mm^2$**;** pentru C18/22,5, $R_c$ = 27,2 N/$mm^2$; pentru C 30/37, $R_c$ = 41,6 N/$mm^2$.
$t_0$=30 sec, $k_1$=1
Valori calculate: $t_{m1}$= 32,5 sec; 35,48 sec; 40,8 sec.
$t_{m2}$= 30,80 sec; 31,15 sec; 31,93 sec.
Valori măsurate: $t_{mas}$= 30,47 sec; 30,36 sec; 31,55 sec.
$t_{mr}$= 40 sec, durata recomandată. Se observă din nou că $\boldsymbol{t_0} < \boldsymbol{t_{mr}}$**;**
**Pentru același malaxor SICOMA cu capacitate de 2,0 mc** se consideră cazul particular al preparării unor betoane de înaltă rezistență, pentru care s-au determinat valorile:
- pentru C 40/50, $R_c$ = 54,7 N/$mm^2$; pentru C 50/60, $R_c$ = 64,3 N/$mm^2$ .
$t_0$=60 sec, $\boldsymbol{k_1}$**=1,5**, pentru betoane speciale, supuse tratamentului termic la turnare
Valori calculate:
$t_{m1}$= 118,83 sec; 121,95 sec; $t_{m2}$= 92,5 sec; 94,05 sec;

Valori măsurate: $t_{mas}$= 120,12 sec; 121,26 sec;

$\boldsymbol{t_0 = t_{mr}}$ **=60 sec** (pentru betoane uscate)

**c) Malaxoare cu două axe orizontale**

**pentru malaxor SIMEM cu capacitatea utilă 1,0 mc, valori obținute:** pentru C 16/20, $R_c$ = 21,63 N/$mm^2$ ; pentru C 20/25, $R_c$ = 27,27 N/$mm^2$; pentru C 25/30, $R_c$ = 31,25 $mm^2$;

$t_0$=45 sec, $k_1$=1,

$t_{mr}$=30 sec recomandat de producătorul malaxorului SIMEM; $\boldsymbol{t_0 > t_{mr}}$

Valori calculate:$t_{m1}$= 52,1 sec**;** 56,7 sec; 59,5 sec.

$t_{m2}$= 46,4 sec; 47,4 sec; 47,7 sec.

Valori măsurate: $t_{mas}$= 45,12 sec; 46,22 sec; 46,67 sec.

- pentru C 35/45**,** $R_c$ = 48,7 N/$mm^2$

$t_0$=30 sec , $k_1$=1

Valori calculate:$t_{m1}$= 44,7sec; $t_{m2}$= 31,6 sec;

Valoare măsurată: $t_{mas}$ =30,45 sec

$t_m$ recomandat de producătorul malaxorului SICOMA 40 sec;

Se observă din nou în acest caz că $\boldsymbol{t_0 < t_{mr}}$

**Pentru malaxorul SICOMA de 1,5 mc:** pentru C 25/30**,** $R_c$ = 41,5 N/$mm^2$**;**

pentru C 30/37 **,** $R_c$ = 46,8 N/$mm^2$

$t_0$=30 sec, $k_1$=1

$t_{mr}$ recomandat de producătorul malaxorului SICOMA 40 sec; $\boldsymbol{t_0 < t_{mr}}$

Valori calculate: $t_{m1}$= 41 sec; 42,8 sec. $t_{m2}$= 32 sec; 32,03 sec.

Valori măsurate: $t_{mas}$ =30,22 sec; 31,15 sec;

**Pentru un alt malaxor SICOMA de 1,5 mc:**pentru C 25/30**,** $R_c$ = 45,8 N/$mm^2$

$t_{mr}$ recomandat de producătorul malaxorului SICOMA 40 sec; $\boldsymbol{t_0 > t_{mr}}$

$t_0$=45 sec, $k_1$=1

Valori calculate:$t_{m1}$= 62 sec; $t_{m2}$= 48,05 sec;Valoarea măsurată: $t_{mas}$ =46,14 sec

**Pentru malaxor SICOMA de 2,0 mc:** pentru C 12/15, $R_c$ = 19,6 N/$mm^2$ ; pentru C 16/20**,** $R_c$ = 27,3 N/$mm^2$**;** pentru C 18/22,5**,** $R_c$ = 26,4 N/$mm^2$; pentru C 25/30**,** $R_c$= 38,2 N/$mm^2$**.**

$t_0$=30 sec, $k_1$=1

$t_{mr}$ recomandat de producătorul malaxorului SICOMA 40 sec. $\boldsymbol{t_0 < t_{mr}}$

valori calculate: $t_{m1}$= 32,7 sec; 34,6 sec; 35,6 sec; 39,4 sec.

$t_{m2}$= 30,8 sec; 31,1 sec; 31,1 sec; 31,9 sec.

Valori măsurate: $t_{mas}$ =31,34 sec; 31,18 sec; 30,92 sec; 32,14 sec.

**Reprezentarea grafică a valorilor din cele trei studii de caz**

În figura 6.6 este prezentată variația duratei de malaxare cu rezistența la compresiune la 28 de zile pe cuburi, pentru malaxoare cu un ax vertical cu capacități de 0,5 mc, 1,0 mc și 2,0 mc, la prepararea unor betoane de clase de rezistență C 12/15 - C 35/45.

În figura 6.7 este prezentată variația duratei de malaxare cu rezistența la compresiune, pentru malaxoare cu două axe verticale, cu capacități de 1,0 mc, 1,5 mc și 2,0 mc, la prepararea unor betoane de clase de rezistență C 12/15- C 50/60.

În figura 6.8 este prezentată variația duratei de malaxare cu rezistența la compresiune pe cuburi, pentru malaxoare cu două axe orizontale, cu capacități de 1,0 mc, 1,5 mc și 2,0 mc, la prepararea unor betoane de clase de rezistență C 12/15- C 35/45.

**Concluzii.** Din graficele prezentate în figurile 6.6-6.8 se pot sintetiza următoarele concluzii despre modul de lucru al stațiilor de betoane automatizate:

-valorile pentru $t_{m2}$ și $t_{mas}$ sunt foarte apropiate, durata efectivă de malaxare fiind reprezentată matematic cu mare precizie de relația propusă pentru $t_{m2}$;

- valorile rezultate prin aplicarea relației pentru $t_{m1}$ reprezintă **valori PROPUSE** pentru o mai bună omogenizare a amestecului;
- valorile PROPUSE prin relația $t_{m1}$ sunt confirmate prin apropierea de valorile măsurate în cazul preparării celor două betoane de clasă C 40/50 și C 50/60; în cazurile în care condițiile de preparare a betoanelor implică eforturi suplimentare de omogenizare ($k_1$>1) valorile rezultate prin aplicarea relației respective sunt ACOPERITOARE.

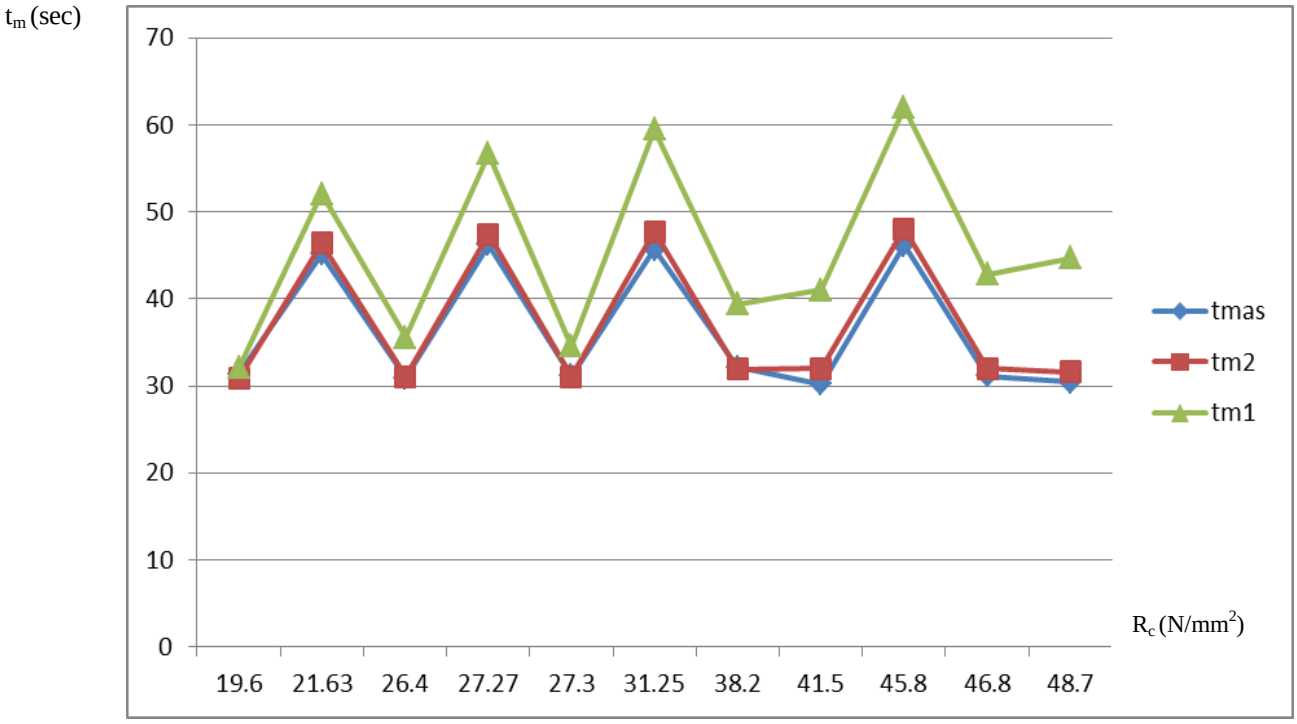



Fig. 6.6- Variația duratei de malaxare cu rezistența la compresiune pe cuburi, pentru diverse betoane preparate în malaxoare cu un ax vertical, cu diverse capacități

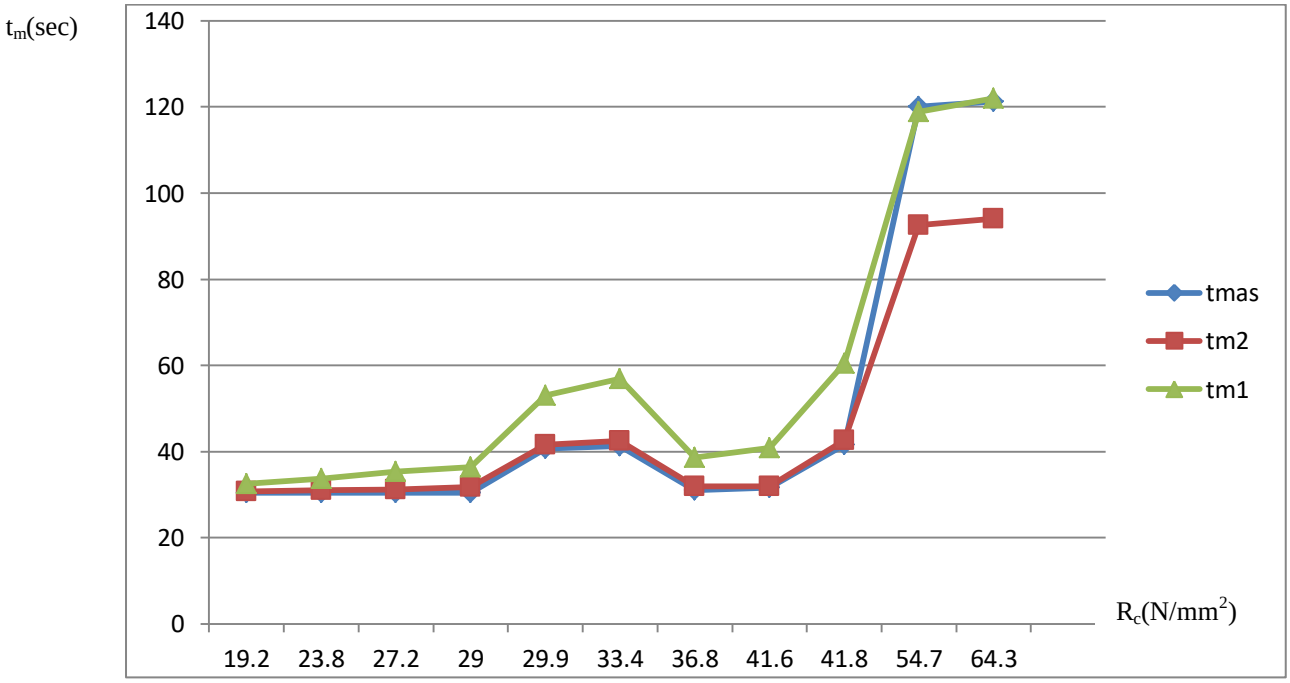



Fig. 6.7 -Variația duratei de malaxare cu rezistența la compresiune pe cuburi, pentru diverse betoane preparate în malaxoare cu două axe verticale cu diverse capacități

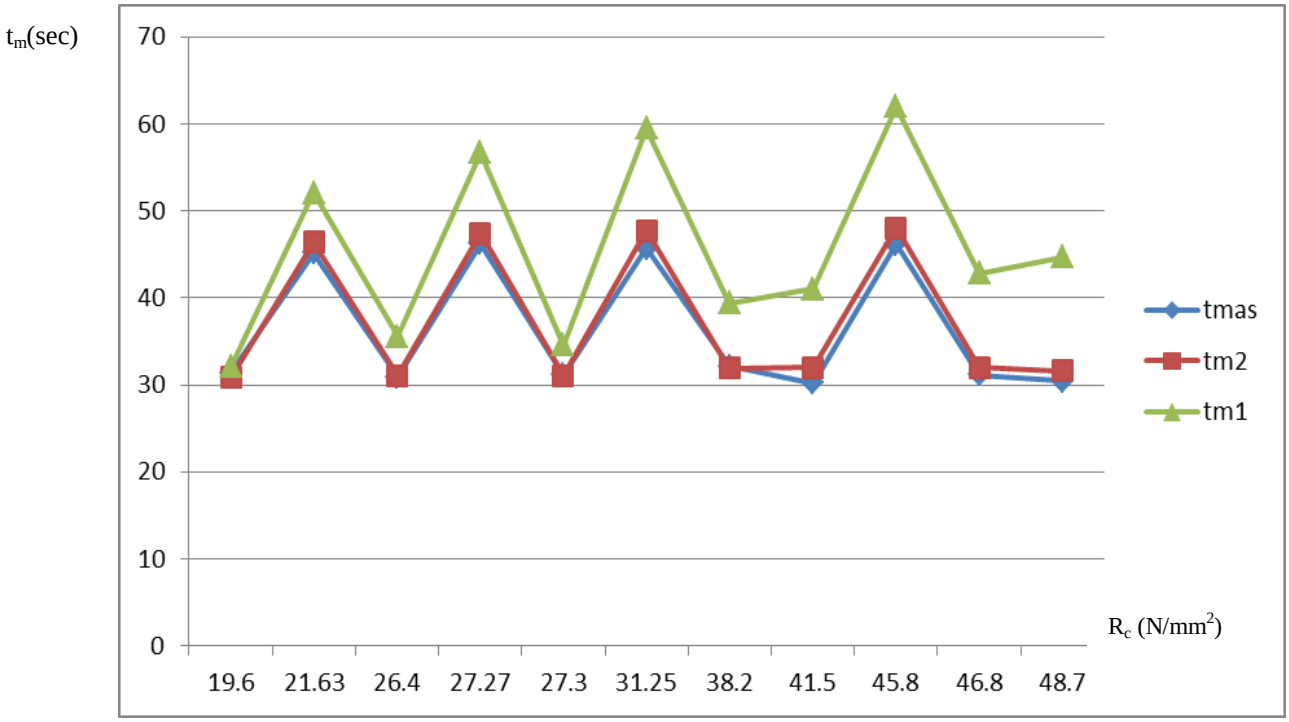



Fig. 6.8- Variația duratei de malaxare cu rezistența la compresiune pe cuburi, pentru diverse betoane preparate în malaxoare cu două axe orizontale cu diverse capacități

*Validarea relațiilor de legatură dintre durata de malaxare și rezistența la compresiune cu variația clasei de rezistență, prin determinarea funcțiilor polinomiale pentru cele trei sisteme de malaxare. Concluzii despre malaxarea betoanelor*

**Cazul malaxorului cu un ax vertical.** Se consideră cazul preparării unor betoane de clasă de rezistență C 12/15- C 35/45, și clasă de consistență S3, cu granula maximă a agregatului ø 16 mm, utilizând un malaxor cu un ax vertical și palete, model LIEBHERR, de capacítate utilă 1,0 mc, turația rotorului 26,4 rot/min, puterea motorului 37 kW.Valorile duratei de malaxare s-au măsurat cu cronometrul din figura 5.1.Valorile rezistenței la compresiune pentru betoanele C 12/15, C 16/20, C 20/25, C 25/30, C 30/37 și C 35/45 au fost determinate în laboratorul care deservea stația de betoane respectivă.

***Calculul factorului malaxor*** pentru malaxorul cu ax vertical de 1,0 mc capacítate, **$f_m$= 0,12.**

***Calculul factorului rețetă* după dozare.**Se aplică ambele relații determinându-se $f_{r2}$ și $f_{r1}$ și se determină factorii $k_2$= $f_r$+ $f_m$, în ambele variante, determinându-se valorile pentru $t_{m2}$ și $t_{m1}$

Betoanele prepárate au avut următoarele caracteristici:

- C 8/10, q= 2350 kg/mc, a/c= 0,72;
- C 12/15, q= 2356 kg/mc, a/c= 0,66;
- C 16/20, q= 2359 kg/mc, a/c= 0,61;
- C 20/25, q= 2369 kg/mc, a/c= 0,56;
- C 25/30, q= 2365 kg/mc, a/c= 0,51;
- C 30/37, q= 2370 kg/mc, a/c= 0,47;
- C 35/45, q= 2378 kg/mc, a/c= 0,41.

**Valori calculate pentru factorul rețetă:**

- pentru C 12/15, $f_{r2}$ = 0,0856; $f_{r1}$ = 0,0856
- pentru C 16/20, $f_{r2}$ = 0,0769; $f_{r1}$ = 0,156
- pentru C 20/25, $f_{r2}$ =0,0858; $f_{r1}$ =0,228
- pentru C25/30, $f_{r2}$ = 0,0877; $f_{r1}$ = 0,296
- pentru C 30/37, $f_{r2}$ = 0,0803;$f_{r1}$ = 0,352

- pentru C 35/45, $f_{r2}$ = 0,130; $f_{r1}$ = 0,437.

Relația pentru $t_m$ , $t_m = t_0 k_1 + t_0 k_2 \left(1 - \frac{R_{c0}}{R_c}\right)$ s-a aplicat pentru durata prevăzută $t_0$= 30 sec, durata recomandată de malaxare fiind respectată și pentru $k_1$=1.

Valorile obținute, prezentate în tabelul 6.1 vor fi utilizate pentru validarea relației de legătură dintre durata de malaxare și rezistența la compresiune, luându-se în considerare valorile măsurate ca date experimentale $t_{mas}$ și valorile propuse prin relația $t_{m1}$.

Valorile calculate cu relația $t_{m2}$ sunt foarte apropiate de $t_{mas}$ în majoritatea cazurilor, ele demonstrând matematic modul în care se prepară betoanele, cu încercarea de a se menține **durata de malaxare constantă cu variația clasei de beton,** din motive economice.

Tabelul 6.1- Valori obținute pentru malaxorul cu ax vertical

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **$t_{mas}$ (sec)** | 30,54 | 30,78 | 31,16 | 31,52 | 31,68 | 31,9 |
| **$t_{m2}$ (sec)** | 31,2 | 31,5 | 31,8 | 32,0 | 31,9 | 33,1 |
| **$t_{m1}$(sec)** | 32,8 | 35,4 | 37,2 | 39,2 | 41,2 | 43,5 |
| **$R_c$(N/mm$^2$)** | 18,4 | 28,9 | 32,9 | 38,7 | 48,7 | 52,7 |
| **Clasa de rezistență** | C 12/15 | C 16/20 | C 20/25 | C 25/30 | C 30/37 | C 35/45 |

**Validarea relațiilor de legatură pentru malaxorul cu ax vertical**

Validarea relațiilor de legătură se face prin determinarea functiilor polinomiale în cazul duratelor de malaxare efective $t_{mas}$ și a duratelor de malaxare propuse $t_{m1}$ considerate optime, în raport cu valorile experimentale pentru rezistența determinată în laborator.

După validarea metodei se urmărește determinarea valorilor pentru durata de malaxare pentru care se obțin **valori maxime ale rezistenței la compresiune ale betonului**.

În figurile 6.9 și 6.10 sunt reprezentate grafic valorile obținute pentru rezistența la compresiune față de valorile măsurate $t_{mas}$ și față de valorile $t_{m1}$ ale duratei de malaxare și funcțiile polinomiale aferente rezultateY= f(X).

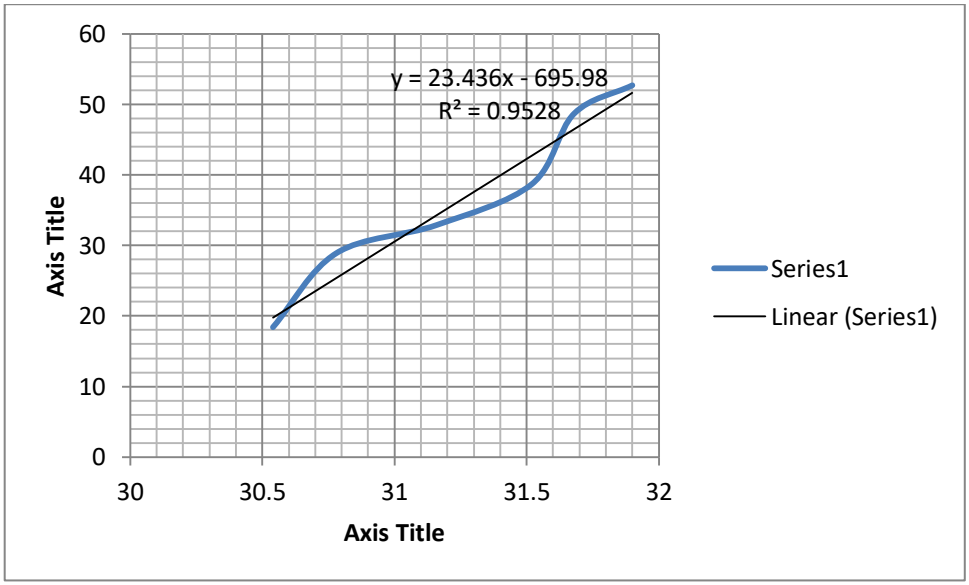



Figura 6.9- Funcția polinomială obținută pentru $t_{mas}$ în raport cu $R_c$ la malaxor cu un ax vertical

**Calculul duratei de malaxare pentru rezistența maximă la compresiune**

Se definește **rezistența maximă** la compresiune ca fiind rezistența minimă la compresiune pe cuburi la care se adaugă 12 unități [8] și se determină durata de malaxare necesară obținerii rezistenței maxime la compresiune pentru fiecare clasă de beton preparat, prin aplicarea ambelor funcții polinomiale rezultate.

Valori ale rezistenței maxime la compresiune- tabel 6.2 [8]:

$R_{cmax}$=27; 32; 37; 42; 49; 57 N /mm$^2$.

**Tabel 6.2 -Rezistența maximă recomandată a betonului**

| Clasa de rezistență a betonului | Rezistența minima la 28 zile (Mba) pe cuburi | Intervalul în care ar trebui să se găsească rezistența medie (Mpa) |
|---|---|---|
| C 8/10 | 10 | 16…22 |
| C 12/15 | 15 | 21…27 |
| C 16/20 | 20 | 26…32 |
| C 18/22,5 | 22,5 | 28,5...34,5 |
| C 20/25 | 25 | 31…37 |
| C 25/30 | 30 | 36…42 |
| C 28/35 | 35 | 41…47 |
| C 30/37 | 37 | 43…49 |
| C 32/40 | 40 | 46…52 |
| C 35/45 | 45 | 51…57 |
| C 40/50 | 50 | 56…62 |
| C 45/55 | 55 | 61…67 |
| C 50/60 | 60 | 66…72 |

a) Cazul funcției polinomiale obținute prin introducerea valorilor efectiv măsurate. Funcția polinomială obținută este:

$R_c$= 23,436 $t_m$ – 695,98 (6.14)

Aplicând relația 6.14 obținem valori pentru $t_m$ pentru care se obțin valori maxime ale $R_c$ :

- pentru clasa C12/15, $t_m$= 30,85 sec;
- pentru clasa C16/20, $t_m$=31,06 sec;
- pentru clasa C 20/25, $t_m$=31,27 sec;
- pentru clasa C 25/30, $t_m$=31,49 sec;
- pentru clasa C 30/37, $t_m$=31,78 sec;
- pentru clasa C 35/45, $t_m$=32,13 sec.

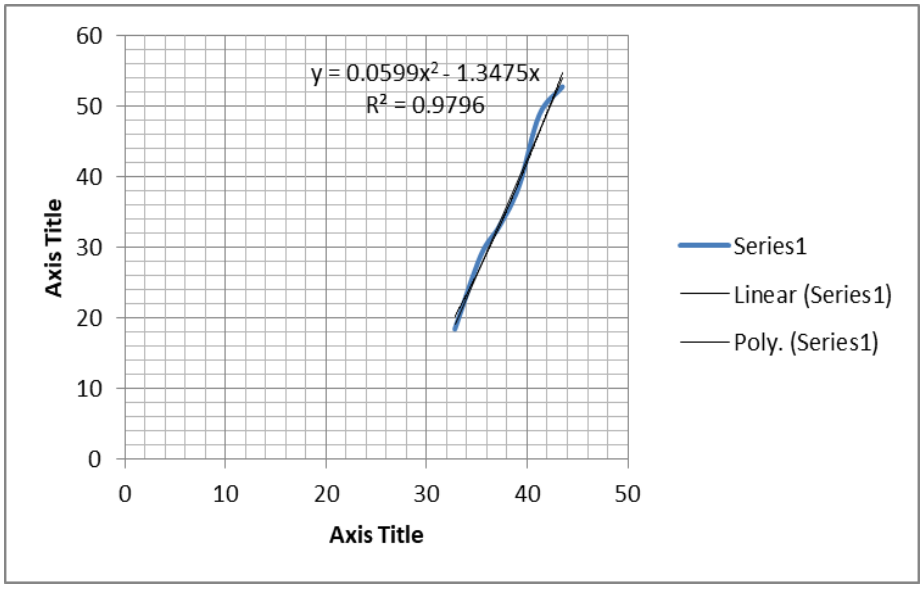



Figura 6.10- Funcția polinomială obținută pentru $t_{m1}$ în raport cu $R_c$ la malaxor cu un ax vertical

b) Cazul funcției polinomiale obținute prin introducerea valorilor propuse pentru durata de malaxare cu relația $t_{m1}$. Funcția polinomială obținută este:

$R_c$= 0,0599 $t_m^2$- 1,3475 $t_m$ (6.15)

Aplicând relația 6.15 obținem valori pentru $t_m$ pentru care se obțin valori maxime ale $R_c$:

- pentru clasa C12/15, $t_m$= 35,27 sec;
- pentru clasa C16/20, $t_m$=36,79 sec;

- pentru clasa C 20/25, $t_m$=38,52 sec;
- pentru clasa C 25/30, $t_m$=40,01 sec;
- pentru clasa C 30/37, $t_m$=41,98 sec;
- pentru clasa C 35/45, $t_m$=44,08 sec.

**Cazul malaxorului cu două axe verticale.** Se consideră cazul preparării unor betoane de clasă C 12/15- C 30/37, clase de consistență S 3, granula maximă a agregatului ø 16 mm, utilizând un malaxor cu două axe verticale și palete model SICOMA, de capacítate utilă 2,0 mc. Valorile duratei de malaxare s-au măsurat cu cronometrul din figura 5.1, iar valorile rezistenței la compresiune pentru betoanele C 12/15, C 16/20, C 18/22,5, C 20/25, C 25/30 și C 30/37 au fost determinate în laboratorul de încercări al stației respective de betoane.

***Calculul factorului malaxor*** pentru malaxorul cu două axe verticale de 2,0 mc, $\mathbf{f_m}$**= 0,12**

***Calculul factorului rețetă după dozarea componentelor***

Betoanele preparate au avut următoarele caracteristici:
- C 8/10, q= 2325 kg/mc, a/c= 0,70;
- C 12/15, q= 2328 kg/mc, a/c= 0,65;
- C 16/20, q= 2331 kg/mc, a/c= 0,61;
- C 18/22,5 q= 2327 kg/mc, a/c= 0,57;
- C 20/25, q= 2333 kg/mc, a/c= 0,53;
- C 25/30, q= 2341 kg/mc, a/c= 0,49;
- C 30/37, q= 2344 kg/mc, a/c= 0,45.

**Valori calculate pentru factorul rețetă**
- pentru C 12/15, $f_{r2}$ = 0,072; $f_{r1}$ = 0,072
- pentru C 16/20, $f_{r2}$ = 0,063; $f_{r1}$ =0,130;
- pentru C 18/22,5, $f_{r2}$ =0,064; $f_{r1}$ =0,186;
-pentru C 20/25, $f_{r2}$ = 0,072; $f_{r1}$ = 0,245;
- pentru C 25/30, $f_{r2}$ = 0,078; $f_{r1}$ = 0,304;
- pentru C 30/37, $f_{r2}$ = 0,082; $f_{r1}$ = 0,362.

Tabelul 6.3- Valori obținute pentru malaxorul cu două axe verticale

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **$t_{mas}$ (sec)** | 30,56 | 30,72 | 31,14 | 31,35 | 31,58 | 32,06 |
| **$t_{m2}$ (sec)** | 31,05 | 31,1 | 31,2 | 31,4 | 31,7 | 31,9 |
| **$t_{m1}$(sec)** | 32,8 | 34,4 | 35,8 | 37,2 | 39,05 | 41 |
| **$R_c$(N/mm$^2$)** | 19,7 | 24,1 | 27,2 | 29,3 | 34,7 | 41,6 |
| **Clasa de rezistență** | C 12/15 | C 16/20 | C 18/22,5 | C 20/25 | C 25/30 | C 30/37 |

Relația 6.12 pentru $t_m$ , s-a aplicat pentru $t_0$= 30 sec, durata recomandată 40 de secunde pentru malaxorul SICOMA și pentru $k_1$=1.Valorile rezultate sunt prezentate în tabelul 6.3.

**Validarea relațiilor de legatură pentru malaxorul cu două axe verticale**

Validarea relațiilor de legătură se face prin determinarea functiilor polinomiale în cazul duratelor de malaxare efective $t_{mas}$ și a duratelor de malaxare propuse $t_{m1}$ considerate optime, în raport cu valorile experimentale pentru rezistența determinată în laborator.

După validarea metodei se urmărește determinarea duratelor de malaxare pentru care se obțin valori maxime ale rezistenței la compresiune.Cele două funcții polinomiale aferente Y= f(X) pentru malaxorul cu două axe verticale sunt prezentate în figurile 6.11 și 6.12.

**Calculul duratei de malaxare pentru rezistența maximă la compresiune**

Valori ale rezistenței maxime la compresiune pentru cele șase clase de beton preparat
- tabel 6.2[8]:$R_{cmax}$=27; 32; 34,5; 37; 42; 49 N /mm$^2$.

a) Cazul funcției polinomiale obținute prin introducerea valorilor efectiv măsurate:

$R_c$= 13,733 $t_m$ – 399,49 (6.16)

Aplicând relația 6.16 obținem valori pentru $t_m$ pentru care se obțin valori maxime ale $R_c$:
- pentru clasa C12/15, $t_m$= 31,05 sec;
- pentru clasa C16/20, $t_m$=31,42 sec;
- pentru clasa C 18/22,5, $t_m$=31,60 sec;
- pentru clasa C 20/25, $t_m$=31,78 sec;
- pentru clasa C 25/30, $t_m$=32,14 sec;
- pentru clasa C 30/37, $t_m$=32,65 sec;

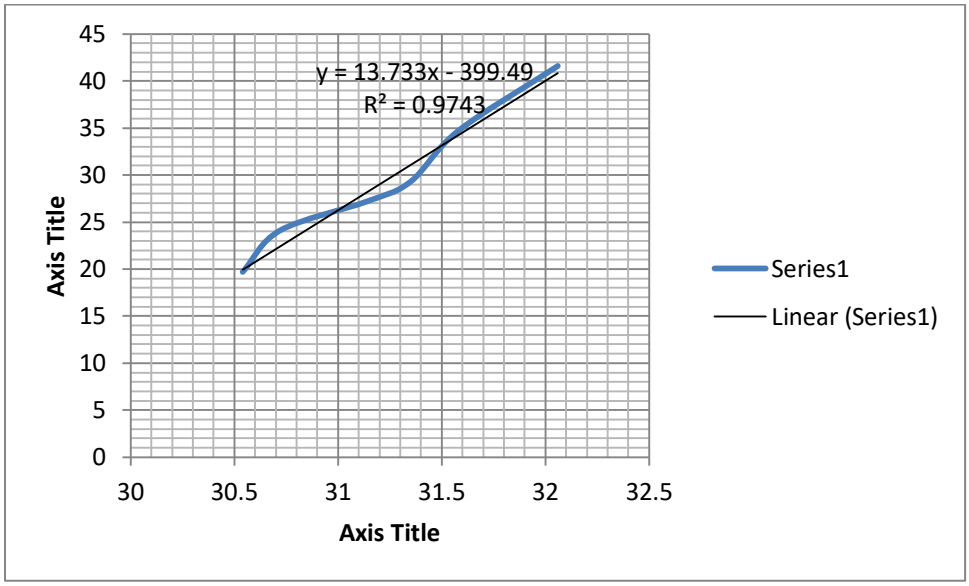



Figura 6.11- Funcția polinomială obținută pentru $t_{mas}$ în raport cu $R_c$ la malaxor cu două axe verticale

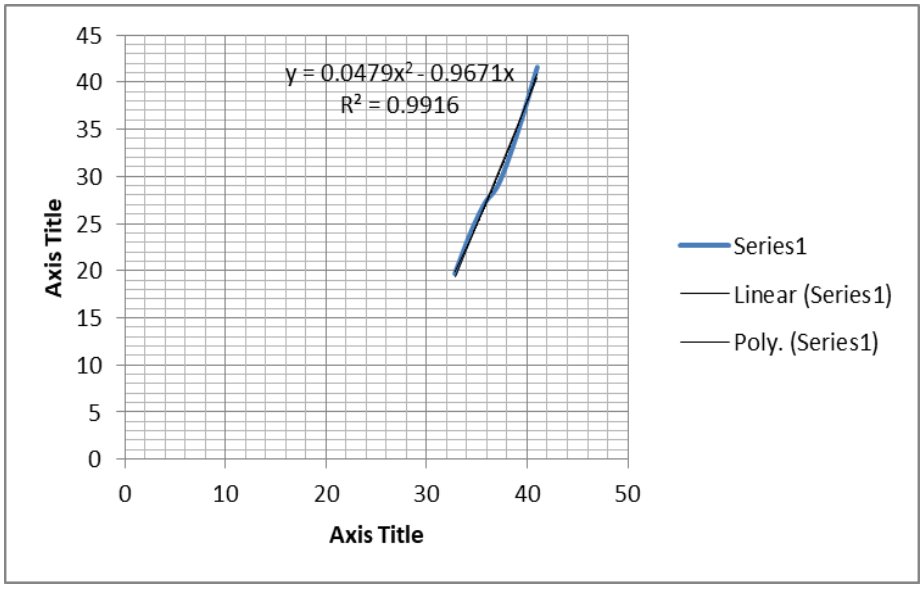



Figura 6.12- Funcția polinomială obținută pentru $t_{m1}$ în raport cu $R_c$ la malaxor cu două axe verticale

b) Cazul funcției polinomiale obținute prin introducerea valorilor propuse pentru durata de malaxare cu relația $t_{m1}$:

$R_c$= 0,0479 $t_m^2$- 0,9671 $t_m$ (6.17)

Aplicând relația 6.17 obținem valori pentru $t_m$ pentru care se obțin valori maxime ale $R_c$:
- pentru clasa C12/15, $t_m$= 35,93 sec;
- pentru clasa C16/20, $t_m$=37,84 sec;
- pentru clasa C 18/22,5, $t_m$=38,76 sec;
- pentru clasa C 20/25, $t_m$=39,66 sec;

- pentru clasa C 25/30, $t_m$=41,38 sec;
- pentru clasa C 30/37, $t_m$=43,63 sec.

**Cazul malaxorului cu două axe orizontale.** Se consideră cazul preparării unor betoane de clasă C 12/15- C 35/45, clase de consistență S 3, granula maximă a agregatului ø 16 mm, utilizând un malaxor cu două axe orizontale și palete model AMMANN, de capacítate utilă 1,0 mc.Valorile duratei de malaxare s-au măsurat cu cronometrul prezentat în figura 5.1, iar valorile rezistenței la compresiune pentru betoanele C 12/15, C 16/20, C 20/25, C 25/30, C 30/37 și C 35/45 au fost determinate în laboratorul care deservea stația de betoane.

***Calculul factorului malaxor*** pentru malaxorul cu două axe orizontale de 1,0 mc, $\mathbf{f_m}$**= 0,18**

***Calculul factorului rețetă*** **după dozarea** componentelor:

Betoanele preparate au avut următoarele caracteristici determinate:

- C 8/10, q= 2330 kg/mc, a/c= 0,75;
- C 12/15, q= 2336 kg/mc, a/c= 0,69;
- C 16/20, q= 2329 kg/mc, a/c= 0,63;
- C 20/25, q= 2339 kg/mc, a/c= 0,57;
- C 25/30, q= 2341 kg/mc, a/c= 0,50;
- C 30/37, q= 2338 kg/mc, a/c= 0,45;
- C 35/45, q= 2342 kg/mc, a/c= 0,40.

**Valori calculate pentru factorul rețetă:**

- pentru C 12/15, $f_{r2}$ = 0,082; $f_{r1}$ = 0,082;
- pentru C 16/20, $f_{r2}$ = 0,084; $f_{r1}$ = 0,159
- pentru C 20/25, $f_{r2}$ =0,099; $f_{r1}$ =0,243;
- pentru C25/30, $f_{r2}$ = 0,123; $f_{r1}$ = 0,336;
- pentru C 30/37, $f_{r2}$ = 0,099; $f_{r1}$ = 0,402;
- pentru C 35/45, $f_{r2}$ = 0,112; $f_{r1}$ = 0,469.

Relația 6.12 pentru $t_m$ s-a aplicat pentru $t_0$= 50 sec, durata recomandată 40 de secunde pentru malaxorul AMMANN și pentru $k_1$=1.În tabelul 6.4 sunt prezentate valorile obținute.

Tabelul 6.4- Valori obținute pentru malaxorul cu două axe orizontale

| **$t_{mas}$ (sec)** | 51,26 | 52,34 | 52,46 | 53,81 | 54,32 | 55,18 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **$t_{m2}$ (sec)** | 52,3 | 52,8 | 53,5 | 54,5 | 53,8 | 54,3 |
| **$t_{m1}$(sec)** | 57,5 | 61,4 | 65,1 | 69,1 | 72,4 | 76,2 |
| **$R_c$(N/mm$^2$)** | 23,5 | 30,6 | 34,8 | 38,8 | 43,7 | 52,6 |
| **Clasa de rezistență** | C 12/15 | C 16/20 | C 20/25 | C25/30 | C 30/37 | C 35/45 |

**Validarea relațiilor de legatură pentru malaxorul cu două axe orizontale**

Validarea relațiilor de legătură se face prin determinarea functiilor polinomiale în cazul duratelor de malaxare efective $t_{mas}$ și a duratelor de malaxare propuse $t_{m1}$ considerate optime, în raport cu valorile experimentale pentru rezistența determinată în laborator.

După validarea metodei se urmărește determinarea valorilor pentru durata de malaxare pentru care se obțin valori maxime ale rezistenței la compresiune.Cele două funcții polinomiale aferente Y= f(X) pentru malaxorul cu două axe verticale sunt prezentate în figurile 6.13 și 6.14.

**Calculul duratei de malaxare pentru rezistența maximă la compresiune**

Valori ale rezistenței maxime la compresiune pentru cele șase clase de beton preparat- tabel 6.2 [8] : $R_{cmax}$=27; 32; 37; 42; 49; 57 N /mm$^2$

a) Cazul funcției polinomiale obținute prin introducerea valorilor efectiv măsurate:

$R_c$= 6,8683 $t_m$ – 328,26 (6.18)

Aplicând relația 6.18 obținem valori pentru $t_m$ pentru care se obțin valori maxime ale $R_c$:

- pentru clasa C12/15, $t_m$= 51,72 sec;
- pentru clasa C16/20, $t_m$=52,45 sec;
- pentru clasa C 20/25, $t_m$=53,18 sec;
- pentru clasa C 25/30, $t_m$=53,90 sec;
- pentru clasa C 30/37, $t_m$=54,92 sec;
- pentru clasa C 35/45, $t_m$=56,09 sec.

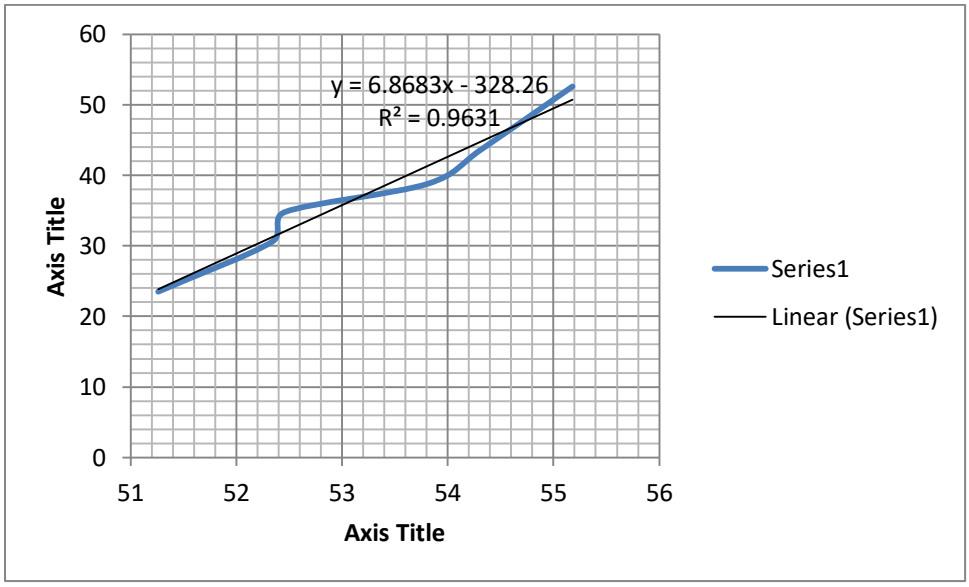



Figura 6.13- Funcția polinomială obținută pentru $t_{mas}$ în raport cu $R_c$ la malaxor cu două axe orizontale

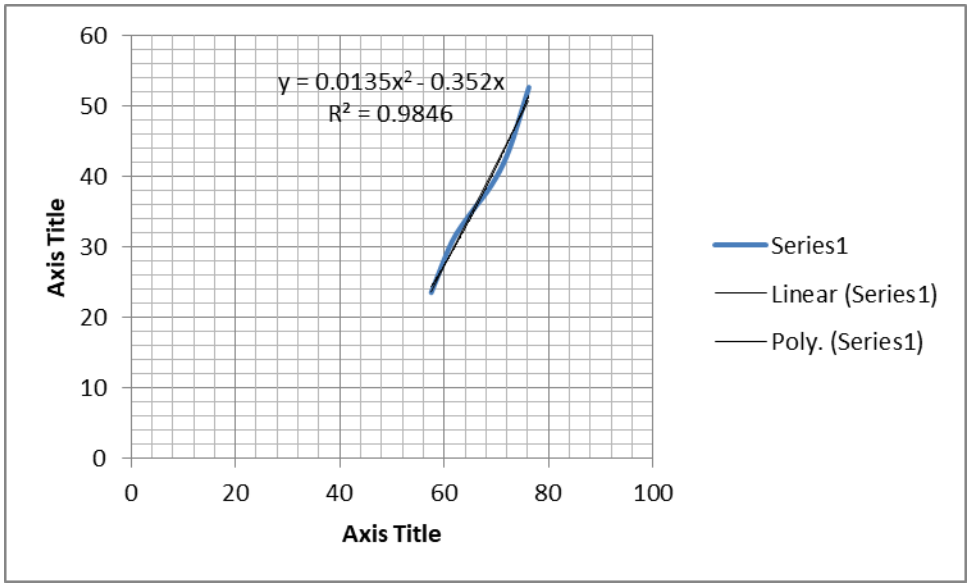



Figura 6.14- Funcția polinomială obținută pentru $t_{m1}$ în raport cu $R_c$ la malaxor cu două axe orizontale

b) Cazul funcției polinomiale obținute prin introducerea valorilor propuse pentru durata de malaxare cu relația $t_{m1}$:

$R_c$= 0,0135 $t_m^2$- 0,352 $t_m$ (6.19)

Aplicând relația 6.19 obținem valori pentru $t_m$ pentru care se obțin valori maxime ale $R_c$:

- pentru clasa C12/15, $t_m$= 59,61 sec;
- pentru clasa C16/20, $t_m$=63,42 sec;
- pentru clasa C 20/25, $t_m$=66,97 sec;
- pentru clasa C 25/30, $t_m$=70,31 sec;
- pentru clasa C 30/37, $t_m$= 74,66 sec;

- pentru clasa C 35/45, $t_m$=79,31 sec.

**Concluzii referitoare la valorile obținute pentru cele trei tipuri de malaxoare:**
-factorii de regresie obținuți pentru toate cele șase variante de funcții polinomiale sunt buni, cu valori între 0,95 și 0,99, fiind mai mari pentru sistemul de malaxare cu două axe verticale (datorită sistemului "planetar") și mai mici pentru sistemul de malaxare cu un ax vertical;
-factorii de regresie obținuți pentru valorile calculate cu relația propusă $t_{m1}$ sunt superiori celor obținuți la introducerea duratelor efective, fapt care indică valabilitatea metodei propuse de stabilire a variației duratelor de malaxare cu clasa de rezistență a betonului;
- ținând cont de factorul malaxor al fiecărui sistem, de volumul șarjei de beton și de duratele de malaxare măsurate și determinate cu relațiile propuse, se poate concluziona ca omogenizarea betoanelor fluide și semi-uscate este mai ușor de realizat în malaxoarele cu unul sau două axe verticale în raport cu malaxoarele cu două axe orizontale, acestea din urmă fiind mai eficiente în cazul preparării betoanelor grele, a betoanelor rutiere și a balastului stabilizat cu ciment.

## CAPITOLUL VII
## *CONTRIBUŢII PERSONALE ŞI DIRECŢII VIITOARE DE CERCETARE*

***Contribuții personale*** ale autorului acestei teze de doctorat:
a) realizarea unei evaluări a stadiului actual al cercetării în domeniul monitorizării în timp real a parametrilor stațiilor de betoane cu comandă manuală, automatizate sau modernizate;
b) analizarea nivelelor de performanță pentru diverse stații de betoane;
c) studiul fiabilității în funcționare a stațiilor de betoane automatizate;
d) modelarea matematică a malaxării pentru betoanierele cu amestecare forțată cu ax vertical;
e) efectuarea unui studiu comparativ experimental pe un lot reprezentativ de stații de betoane;
f) propunerea de relații de corelare a duratei de malaxare cu rezistența la compresiune, validarea relațiilor propuse prin determinarea funcțiilor polinominale aferente și găsirea valorilor duratei de malaxare corespunzătoare rezistențelor maxime la compresiune.

***Direcții viitoare de cercetare***
- corelarea duratei de malaxare cu rezistența la compresiune pentru fiecare clasă de beton, prin variația duratei de malaxare pentru clasa respectivă și determinarea în diferite stații de betoane a valorilor duratei de malaxare pentru care betonul își atinge rezistența maximă;
- analizarea prin inspecții tehnice a fiabilității în funcționare și a nivelului de automatizare a echipamentelor ce intră în dotarea stațiilor de betoane la nivel național, precum și urmărirea gradului de asigurare a calității betoanelor preparate în stațiile de betoane modernizate;
- verificarea în cadrul inspecțiilor tehnice a gradului de implementare la nivel national a conceptului de monitorizare a funcționării autobetonierelor, prin instalarea programelor GPS;
- implementarea prin efectuarea de inspecții tehnice a analizei multicriteriale a nivelului de performanță pentru instalațiile de preparat mixturi asfaltice, dotate cu sisteme de monitorizare în timp real a principalilor parametrii.

## BIBLIOGRAFIE

[1] Polidor BRATU, Ion –Jan NECȘOIU**,** , Alexandru VLĂDEANU, Valentin ȘOIMUȘAN Gheorghe MLADIN (2004), *Influența neconformităților echipamentelor tehnologice asupra calității,* Conferința Națională de "Echipamente, Instalații și Inginerie de Proces" Comunicări, UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI, Septembrie 2004.

[2] Ștefan MIHĂILESCU, Valeriu GORAN, Polidor BRATU, 1986, *Mașini de Construcții volumul 3*, Editura tehnică , București.

[3] Ștefan MIHĂILESCU, Polidor BRATU, Gheorghe Petre ZAFIU, Alexandru VLĂDEANU, Aurelian GAIDOȘ, Sorin MIHĂILESCU, 2005, *Tehnologii și Utilaje pentru Executarea, Întreținerea și Reabilitarea Suprastructurilor de Drumuri*, Editura IMPULS, București.

[4] Polidor BRATU, 2011, *Analiza structurilor elastice. Comportarea la acțiuni statice și dinamice,* Editura Impuls București.

[5] Polidor BRATU, 2001, *Analiza dinamică a echipamentelor cu arbori elastici*, Universitatea "Dunărea de Jos" Galați.

[6] I. UNGUREANU, B. ISPAS, E. CONSTANTINESCU, 1995, *Rezistența Materialelor I (curs),* Universitatea Tehnică de Construcții București.

[7] Indira ANDREESCU, Ștefan MOCANU, 2005, *Compendiu de Rezistența Materialelor (curs),* Editura Matrix Rom, București.

[8] Minighid de Proiectare a compozițiilor de beton uzual C 8/10…C 35/45 cu cimenturi CARPATCEMENT CEM I, CEM II/A-S și CEM II/A-LL, Ediția 1-2017, HEIDELBERGCEMENT.

[9] ***Codul de practică pentru producerea betonului CP 012/1- 2007.

[10] ***Reglementare tehnică PCC 020-2015- Procedură pentru inspecția tehnică a stațiilor pentru prepararea betoanelor.

[11]***Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat şi beton precomprimat partea 1: producerea betonului Indicativ NE 012-1: 2007.

[12] ***Tests standards, SR EN 12390-1,2,3,7-2009.

[13]*** Prospecte malaxoare model TEKA, tip BAF 750 l și 1500l, producător S.C. SATURN S.A - Satu Mare

[14]*** Prospecte malaxoare SICOMA - https://www.themixingsolution.com/en/.

[15]***Prospecte de malaxoare LIEBHERR - https://www.liebherr.com/en/usa/products/construction-machines/concrete-technology/mixer-systems/mixer-systems.html.

[16]*** Prospecte de stații de betoane LIEBHERR, STETTER, MARCANTONINI, SIMEM, OCMER, ELKON, LEBLAN, CIFA, SCM 2.

[17]*** Prospecte de stații de betoane UNISERV INTERNAȚIONAL, PROSOFT INDUSTRY.

[18] https://www.liebherr.com/en/ind/products/construction-machines/concrete-technology/control-systems/litronic-mps/litronic-mps.html

[19] Virgil ENESCU (2020), *Studiu comparativ al sistemelor de malaxare, referitor la domeniile de utilizare și performanțele de amestecare, cu impact direct asupra omogenității betonului și eficienței energetice a malaxării,* Sinteze de Mecanică Teoretică și Aplicată-SMTA, nr. 3, Volumul 11/2020, Editura Matrix Rom [INDEX PROQUEST/SCOPUS].

[20] Virgil ENESCU (2021**)** *Parameters variation of the vibration movement of the elastic arm-pallete system at the mixers with vertical axis, by modifying the stiffness in order to improve the homogenization process,* ACTA TECHNICA NAPOCENSIS - Universitatea Tehnică din Cluj Napoca,vol. 64, Issue 3, September 2021[INDEX EMERGING SOURCES THOMSON REUTERS, COPERNICUS INTERNATIONAL, OCLC World Cat].