

## 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

### COMPARATIVE STUDY OF THE MIXING SYSTEMS, REGARDING THE FIELDS OF USE AND THE KNEADING PERFORMANCES, WITH DIRECT IMPACT ON THE CONCRETE HOMOGENITY AND THE ENERGY EFFICIENCY OF THE MIXING

Virgil ENESCU

Ing., ICECON INSPECT, România

**Rezumat:** Tehnologia de malaxare a betoanelor utilizează malaxoare de diferite tipodimensiuni, care din punct de vedere constructiv pot fi: cu unul sau cu două axe verticale sau cu două axe orizontale. În vederea analizării sistemelor de malaxare după modul de dispunere a paletelor, s-au comparat între ele malaxoare de aceeași capacitate, cu același producător și având aceleași durate de malaxare recomandate. Se consideră în primul studiu de caz două malaxoare de 1,5 mc, unul cu două axe verticale și celălalt cu două axe orizontale, iar în al doilea studiu de caz două malaxoare de 2,25 mc, unul cu ax vertical cu palete și un agitator și al doilea cu două axe orizontale, pentru care s-au determinat rezistențele specifice la malaxare și vitezele tangențiale de lucru, în vederea evaluării gradului de omogenitate a amestecului preparat și a eficienței energetice pentru fiecare sistem prezentat. Lucrarea își propune deci o analiză a gradului de eficiență la prepararea betoanelor de calitate cu un consum redus de energie, pentru fiecare din cele două studii de caz prezentate, în vederea stabilirii criteriilor de utilizare a malaxoarelor cu diferite sisteme de amestecare și diferite capacități, la prepararea betoanelor de uz general sau de înaltă performanță.

**Cuvinte cheie:** sistem de malaxare, amestecare, omogenitate, eficiență energetică, capacitate malaxor, dispunere palete

**Abstract:** The technology of concrete mixing uses mixers of different types of dimensions, which from constructive point of view can be with one or two vertical shafts or with two horizontal shafts. In order to compare the mixing systems according to the arrangement of the pallets, mixers of the same capacity and with the same manufacturer, were compared. In the first case, two mixers of 1.5 m<sup>3</sup> are considered, one with two vertical shafts and the other with two horizontal shafts, and in the second case two mixers of 2.25 m<sup>3</sup>, one with one vertical shaft and the second with two horizontal shafts, for which the specific resistance to mixing and the tangential working speeds were determined, in order to evaluate the degree of homogeneity of the mixture and the energy efficiency, for each case. The paper therefore aims to analyze the degree of efficiency in the preparation of quality concrete with low energy consumption, for each of the two case studies presented, in order to establish the criteria for the use of mixers with different kneading systems and different capacities, for the preparation of general purpose or high performance concrete.

**Keywords:** mixing system, kneading, homogeneity, energy efficiency, mixer capacity, pallets arrangement

## 1. INTRODUCERE

Tehnologia de malaxare a betoanelor utilizează malaxoare de diferite tipodimensiuni, care din punct de vedere constructiv pot fi cu unul sau cu două axe verticale, sau cu două axe orizontale. Eficiența proceselor de malaxare depinde de compoziția amestecului, de precizia dozării componentelor, de clasa de consistență impusă betonului, precum și de parametrii funcționali și tehnologici ai malaxoarelor. Parametrii funcționali ai malaxoarelor sunt: capacitatea utilă, numărul de palete de amestecare și modul de dispunere a acestora, turația axului(axelor) cu palete, puterea motorului. Ca parametrii tehnologici ai malaxoarelor se consideră: rezistența specifică la malaxare, viteza tangențială de lucru, durata de malaxare recomandată, consumul maxim de energie consumată.

Malaxoarele cu unul sau două axe verticale cu palete sunt utilizate pentru amestecarea betoanelor umede și uscate, fiind caracterizate de o foarte bună fiabilitate, datorită comportării elastice în funcționare a sistemului braț-paletă și de un randament ridicat al procesului de omogenizare, datorită poziționării permanente a paletelor în interiorul stratului de material pe durata malaxării, precum și a vitezelor tangențiale în general mai mari. Aceste tipuri de malaxoare nu sunt utilizate pentru malaxarea amestecurilor bituminoase (mixture asfaltice) dar pot fi utilizate cu un randament foarte bun la malaxarea betoanelor uzuale și deasemenea la prepararea betoanelor de înaltă performanță.

Malaxoarele cu două axe orizontale se caracterizează printr-o mare rezistență la uzură, fapt care le recomandă în special la prepararea mixturilor asfaltice și a betoanelor vârtoase, cu conținut mare de ciment și dimensiunea maximă a agregatului mai mare de 16 mm (betoane de înaltă rezistență).

Studiul comparativ al malaxoarelor cu moduri diferite de dispunere a paletelor de amestecare, se face pornind de la stabilirea parametrilor funcționali și determinarea parametrilor tehnologici, urmată de compararea lor în vederea stabilirii criteriilor de utilizare, la prepararea betoanelor cu diferite clase de rezistență, de uz general sau de înaltă performanță.

## 2. STUDIUL MALAXOARELOR CU UNUL SAU DOUĂ AXE VERTICALE CU PALETE

### 2.1 Cazul malaxorului cu două axe verticale

Calculul puterii necesare acționării fiecărui ax cu palete, considerată ca fiind egală cu puterea fiecărui motor de acționare, utilizând relația :

$$P_m = M\omega, \quad (1) \text{ din care rezultă:}$$

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

relație din care se determină  $k_m$ , ca rezistență specifică medie, determinată pentru fiecare ax cu palete;

În relația (2)  $n$  este turația axelor cu palete (rot/min),  $\eta_{tr}$  este randamentul transmisiei motor-malaxor,  $S_i$  reprezintă suprafețele paletelor,  $\alpha_i$  și  $\beta_i$  sunt unghiurile de înclinare a paletelor în plan vertical/orizontal, iar  $A_{si}$  reprezintă suprafața porțiunii de braț de malaxare aflată în interiorul materialului pe durata malaxării și de determină cu relația (3):

$$A_{si} = \frac{\pi d}{2} (h_m - h_p \cos \beta_i) \text{ cm}^2, \quad (3),$$

în care  $d$  este diametrul brațului de malaxor,  $h_m$  este înălțimea stratului de material, iar  $h_p$  este înălțimea paletei.

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

Determinarea rezistenței la malaxare pentru cele ( $n \times 2$ ) palete (câte  $n$  palete amplasate pe fiecare ax) se face considerând raza medie a paletelor:  $r_{m1} = r_{m2} = \frac{1}{n} \sum r_i \text{ cm}$  (4);

Pentru fiecare paletă se aplică relația:  $k_i = \frac{r_i}{r_m} k_m \text{ daN/cm}^2$ , (5)

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

$$v_i = \omega r_{ie} = \frac{\pi n}{30} r_{ie} \text{ m/s}, (6),$$

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

**Consumul maxim de energie (kWh/m<sup>3</sup>)** se determină cu relația:  $C_e = \frac{P_m}{P_{tm}}$ , [kWh/m<sup>3</sup>] (7)

în care  $P_m$  este puterea instalată a motorului(motoarelor) de acționare iar  $P_{tm}$  este productivitatea malaxorului pentru durata de malaxare recomandată,  $t_{mr}$ , îsecș definită cu relația :

$$P_{tm} = 3600 \times \frac{C_u}{t_{mr}} [\text{m}^3/\text{h}] (8)$$

## 2.2 Cazul malaxorului cu un ax vertical cu palete și agitator

În cazul malaxorului cu un ax vertical cu palete, se aplică relațiile de calcul de la punctual 2.1, cu deosebire că toate cele  $n$  palete și agitatorul montat suplimentar se află dispuse pe un singur ax, acționat de un singur motor electric și prin urmare relația (4) devine

$$r_m = \frac{1}{n} \sum r_i \text{ cm} (9)$$

iar în relația (2) se va introduce doar puterea necesară acționării celor  $n$  palete (nu și aceea necesară acționării agitatorului).

## 3.STUDIUL MALAXOARELOR CU DOUĂ AXE ORIZONTALE.

Calculul puterii necesare acționării fiecărui ax cu palete, considerată ca fiind egală cu puterea motorului de acționare, utilizând relația (1),  $P_m = M\omega$ , obținem:

$$P_m = \frac{\psi z n k_m b (r_e^2 - r_i^2)}{2 \times 95500 \times \eta_{tr}} \times \cos \alpha [\text{kW}], (10)$$

în care:  $\psi = 0,6 \dots 0,7$  este coeficientul de umplere a cuvei,  $z$  este numărul total de palete cu lățimea  $b$ , înclinate cu unghiul  $\alpha$  față de planul longitudinal al cuvei,  $r_e$  și  $r_i$  sunt razele exterioare și interioare ale paletelor așezate în plan vertical radial,  $\eta_{tr}$  este randamentul transmisiei motor-malaxor;  $k_m$  reprezintă rezistența specifică medie la malaxare, egală cu rezistența la malaxare pentru fiecare paletă, deoarece în cazul acestui tip de malaxor putem considera  $r_i = r_m$

Vitezele periferice egale pentru cele 12 palete se determină cu relația (6), în care  $r_{ie} = r_e$

## 4. STUDII DE CAZ

### 4.1 Studiul de caz 1

Se consideră cazul a două malaxoare cu același producător și aceeași capacitate de 1,5 mc, unul cu două axe verticale și celălalt cu două axe orizontale cu palete, pentru care se vor

determina parametrii tehnologici în vederea comparării lor cu scopul evaluării randamentului de malaxare; durata de malaxare recomandată pentru aceste malaxoare este de **40 de secunde**.

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

Considerând:  $d = 5 \text{ cm}$ ,  $h_m = 46,6 \text{ cm}$ , iar  $h_p = 12,8 \text{ cm}$ ,  $S_i = 332 \text{ cm}^2$ ,  $\alpha_i = 40^\circ$ ,  $\beta_i = 25^\circ$  și razele paletelor pe cele două axe ca fiind de 62, 60 și 58 de cm, prin aplicarea formulei (3) obținem:

$$A_{si} = 274 \text{ cm}^2; S_i \cos \alpha_i \cos \beta_i = 230 \text{ cm}^2$$

$$\sum r_{mi} (S_i \cos \alpha_i \cos \beta_i + A_{si}) = 90720 \text{ cm}^3, \text{ pentru fiecare ax al malaxorului;}$$

În relația (2), introducând puterea motorului de acționare la un ax de 30 kW, considerată ca putere de acționarea acelor trei palete active (fără a mai lua în considerare puterea consumată de paletel răzuitor) și  $\eta_{tr} = 0,85$  va rezulta pentru rezistența maximă specifică la malaxare valoarea  **$k_m = 1,88 \text{ daN/cm}^2$**

Aplicând relația (5) obținem următoarele valori ale rezistenței specifice la malaxare pentru cele trei palete de pe fiecare ax :  $k_1 = 1,94 \text{ daN/cm}^2$ ;  $k_2 = 1,88 \text{ daN/cm}^2$ ;  $k_3 = 1,81 \text{ daN/cm}^2$ .

Vitezele periferice pentru cele trei palete, determinate cu relația (6) sunt următoarele:

$$v_1 = 1,1 \text{ m/s}; v_2 = 1,06 \text{ m/s}; v_3 = 1,02 \text{ m/s}$$

**Consumul maxim de energie electrică la mc de beton preparat (kWh/m<sup>3</sup>),** determinat cu relația (7) va rezulta:

$$C_e = \frac{40 \times (30 + 30)}{3600 \times 1,5} = 0,44 \text{ kWh/mc beton}$$



Figura 1

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

4.1.2. Malaxorul de 1,5 mc cu două axe orizontale, prezentat în figura 2, are următoarele caracteristici tehnice:

puterea instalată a motorului de acționare a celor două axe 55,2 kW, numărul de palate active 6+6= 12, puterea de acționare a paletelor active 55,2 kW (fără a se ține cont de energia consumată de paletel razeuitor) turația celor două axe cu palete 25 rot/min

Introducând în relația (10) valorile:  $\psi = 0,7$ ,  $z = 12$ ,  $b = 28$  cm,  $\alpha = 40^\circ$ ,  $r_e = 50$  cm,  $r_i = 35$  cm și  $\eta_{tr} = 0,85$ , obținem pentru rezistența medie specifică valoarea  $k_m = 1,56 \text{ daN/cm}^2$   
Viteza periferică rezultată la palete, după aplicarea relației (6) este:  $v = 1,31 \text{ m/s}$

**Consumul maxim de energie (kWh/m<sup>3</sup>)** =  $\frac{40 \times 55,2}{3600 \times 1,5} = 0,41 \text{ kWh/mc beton}$

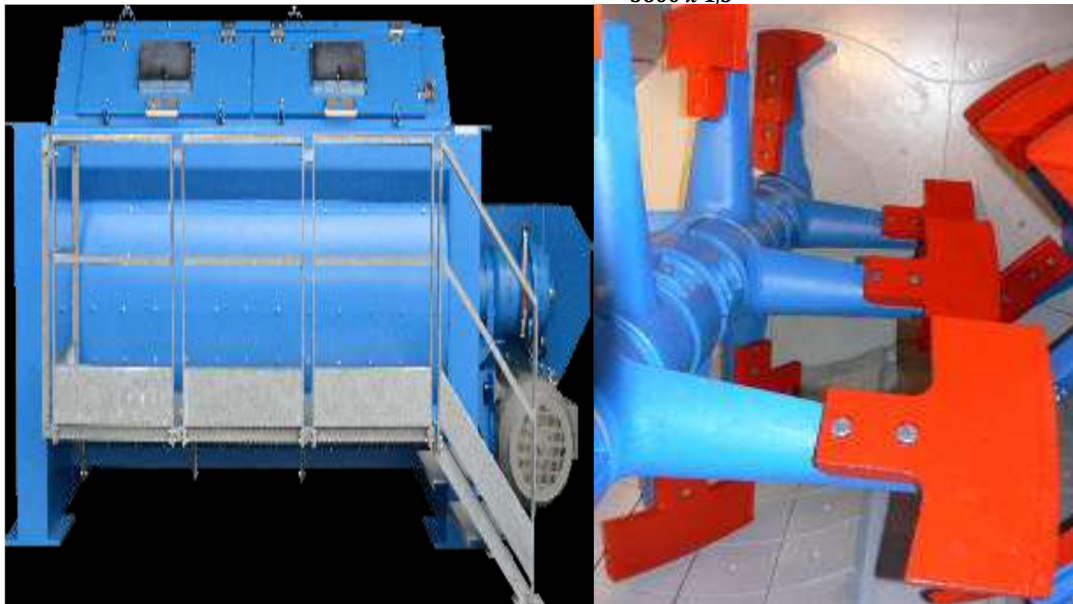


Figura 2

## 4.2 Studiul de caz 2

Se consideră cazul a două malaxoare cu același producător și aceeași capacitate de 2,25 mc, unul cu un ax vertical cu palate și un agitator montat suplimentar și celălalt cu două axe orizontale cu palete, pentru care se vor determina parametrii tehnologici în vederea comparării lor cu scopul evaluării randamentului de malaxare; durata de malaxare recomandată pentru aceste malaxoare este de **30 de secunde**.

4.2.1. Malaxorul de 2,25 mc cu un ax vertical cu 5 palete și agitator, prezentat în figura 3, are următoarele caracteristici tehnice: puterea instalată a motorului de acționare 90 kW, puterea de acționarea a celor 5 palete (fără răzuitoare și agitator) **70 kW**, turația rotorului 20,7 rot/min

Considerând:  $d = 5,2$  cm,  $h_m = 51,8$  cm, iar  $h_p = 12$  cm,  $S_i = 336 \text{ cm}^2$

$\alpha_i = 40^\circ$ ,  $\beta_i = 25^\circ$  și razele paletelor fiind de: 142, 128, 114, 103 și 88 de cm, prin aplicarea formulelor obținem următoarele rezultate:  $A_{si} = 325 \text{ cm}^2$ ;  $S_i \cos \alpha_i \cos \beta_i = 233 \text{ cm}^2$

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

În relația (2), introducând puterea motorului de acționare pentru cele 5 palete de 70 kW și  $\eta_{tr} = 0,85$  va rezulta pentru rezistența maximă specifică la malaxare valoarea  **$k_m = 0,86 \text{ daN/cm}^2$**

Aplicând relația (5) obținem următoarele valori ale rezistenței maxime specifice la malaxare pentru cele cinci palete:

$k_1 = 1,06 \text{ daN/cm}^2$ ;  $k_2 = 0,95 \text{ daN/cm}^2$ ;  $k_3 = 0,85 \text{ daN/cm}^2$ ;  $k_4 = 0,77 \text{ daN/cm}^2$ ;  $k_5 = 0,65 \text{ daN/cm}^2$

Vitezele unghiulare pentru cele cinci palete se determină cu relația (6) sunt următoarele:  $v_1 = 3,37 \text{ m/s}$ ;  $v_2 = 3,03 \text{ m/s}$ ;  $v_3 = 2,70 \text{ m/s}$ ;  $v_4 = 2,47 \text{ m/s}$ ;  $v_5 = 2,16 \text{ m/s}$

**Consumul maxim de energie electrică (kWh/m<sup>3</sup>), determinat cu relația (7):**

$$C_e = \frac{30 \times 90}{3600 \times 2,25} = 0,33 \text{ kWh/mc beton}$$

4.22. Malaxorul de 2,25 mc cu două axe orizontale, prezentat în figura 4 are următoarele caracteristici tehnice:

Puterea instalată a motorului de acționare 75 kW, număr de palete 12, puterea de acționare a celor 12 palete (fără paletele răzuitor) **70 kW**, turația rotorului 20,7 rot/min;

Introducând în relația (10) valorile:  $\psi = 0,7$ ,  $z = 12$ ,  $b = 28 \text{ cm}$ ,  $\alpha = 40^\circ$ ,  $r_e = 57 \text{ cm}$ ,  $r_i = 42 \text{ cm}$  și  $\eta_{tr} = 0,85$  obținem pentru rezistența medie specifică valoarea  **$k_m = 2,05 \text{ daN/cm}^2$**

Viteza periferică rezultată la palete:  **$v = 1,3 \text{ m/s}$**

**Consumul maxim de energie (kWh/m<sup>3</sup>) va fi:**

$$C_e = \frac{30 \times 75}{3600 \times 2,25} = 0,28 \text{ kWh/mc beton}$$

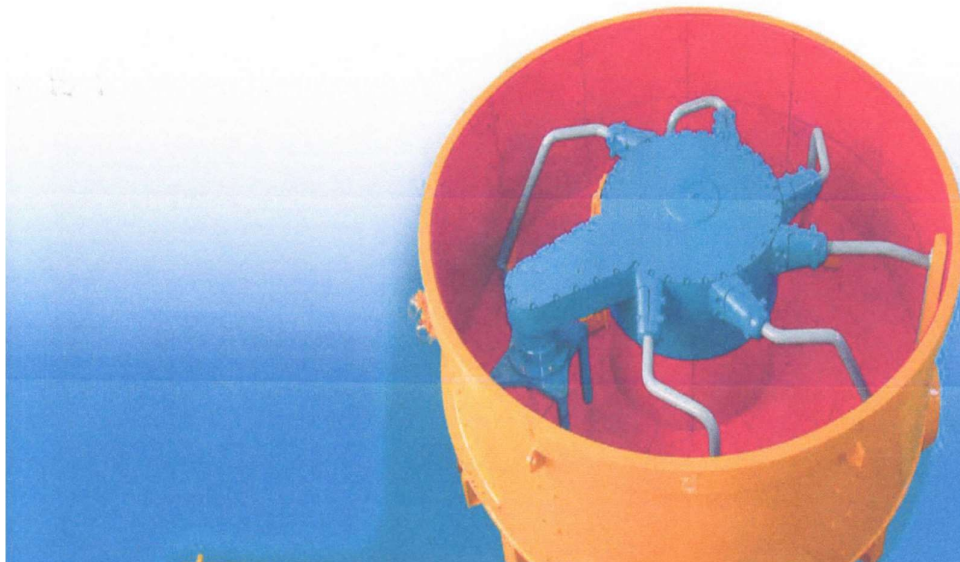


Figura 3



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

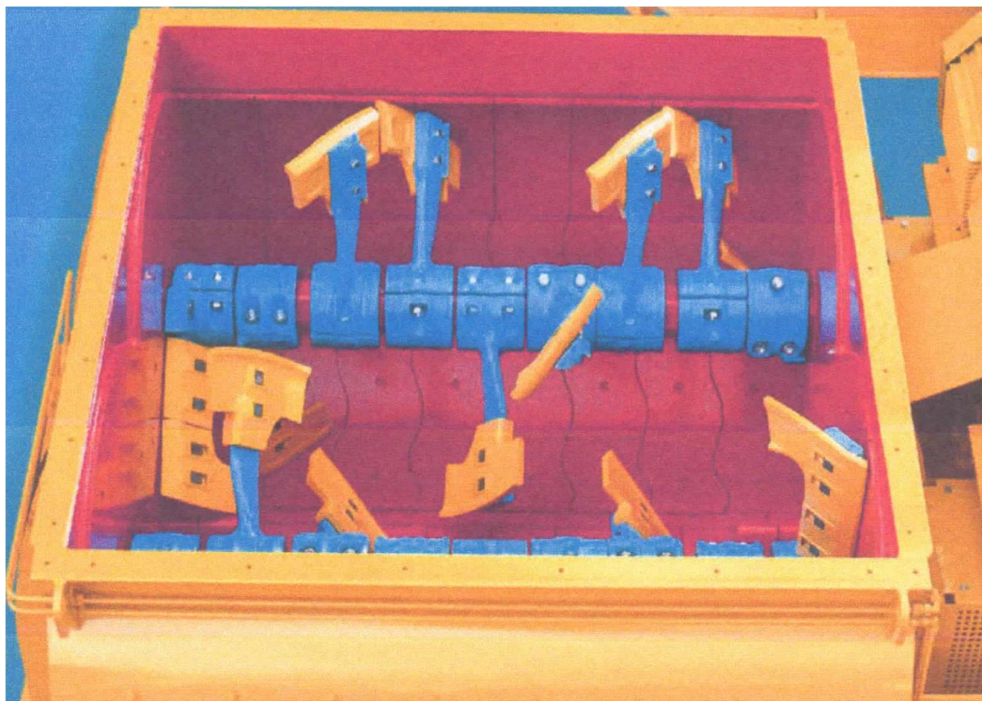


Figura 4

## 5. CONCLUZII

### 5.1 Concluzii referitoare la studiul de caz 1

În conformitate cu rezultatele obținute pentru parametrii tehnologici ai malaxoarelor de 1,5 mc se pot sintetiza următoarele concluzii:

- ambele malaxoare se pot utiliza atât la prepararea betoanelor de uz general cât și la prepararea betoanelor pentru construcții speciale (cu clase de rezistență mai mari de C 35/45); malaxorul cu două axe verticale este recomandat de asemenea pentru prepararea betoanelor pentru elemente prefabricate și a balastului stabilizat;
- malaxorul cu două axe orizontale prezintă un grad de omogenitate mai bun al amestecului decât cel cu două axe verticale, din punct de vedere al vitezei tangențiale superioare;
- eficiența energetică a malaxorului cu două axe orizontale este superioară celui cu două axe verticale, ținând cont de consumul maxim de energie raportat la productivitatea de beton preparată

### 5.1 Concluzii referitoare la studiul de caz 2

În conformitate cu rezultatele obținute pentru parametrii tehnologici ai malaxoarelor de 2,25 mc se pot sintetiza următoarele concluzii:

- malaxorul cu ax vertical are în dotare un agitator și are viteza tangențială de lucru la palete superioară malaxorului cu două axe orizontale, oferind un grad de omogenitate superior amestecului la prepararea betoanelor fluide sau vâtoase de uz general;

- rezistența specifică la malaxare determinată la malaxorul cu două axe orizontale este mult mai mare decât cea de la paletel malaxorului cu ax vertical la aceeași putere de acționare a paletelor, malaxorul cu două axe orizontale fiind destinat în special preparării de betoane vârtoase sau cu destinații speciale (cu clase de rezistență mai mari de C40/50);
- malaxorul cu două orizontale este mai eficient energetic decât cel cu ax vertical, ținând cont de consumul maxim de energie raportat la productivitatea de beton preparată.

## 5.2 Concluzii generale

Comparând sistemele de malaxare prezentate în cele două studii de caz, după numărul de axe, numărul de palete și modul de dispunere al acestora, și ținând cont de duratele de malaxare recomandate, putem sintetiza următoarele concluzii:

- cele două malaxoarele cu axe orizontale , precum și cel cu două axe verticale au rezistențe la malaxare mai mari și se recomandă a fi utilizate într-un domeniu mai larg, cuprinzând și betoanele cu clase de rezintență peste C 35/45 și de clase de consistență S1 sau S2, cu dimensiuni maxime mai mari ale agregatelor utilizate;
- malaxorul cu un ax vertical și agitator prezintă viteze tangențiale superioare celorlalte trei și cea mai mică rezistență la malaxare raportată la puterea instalată pentru acționarea paletelor, ceea ce îl recomandă la prepararea betoanelor fluide sau vârtoase de uz general, din punct de vedere al randamentului la amestecare sporit și a eficienței energetice superioare.
- malaxoarele de 2,25 mc au eficiență energetică superioară celor de 1,5 mc, ținând cont de duratele de malaxare recomandate mai mici și de consumurile energetice mai mici, raportate la productivitatea de beton preparat.
- malaxoarele cu două axe orizontale au o eficiență energetică mai bună decât cele cu unul sau două axe verticale, dar gradul de omogenitate al amestecului este mai ridicat la malaxoarele cu unul sau două axe verticale, ținând cont de sistemului de amplasare a paletelor, care permite contactul permanent al acestora cu betonul, pe durata preparării șarjelor.

## BIBLIOGRAFIE

- 1.Ștefan Mihăilescu, Valeriu Goran, Polidor Bratu, *Mașini de Construcții volumul 3*, Editura tehnică , București, 1986, pag. 50-72
2. Ștefan Mihăilescu, Polidor Bratu, Gheorghe Petre Zafiu, Alexandru Vlădeanu , Aurelian Gaidoș, Sorin Mihăilescu, *Tehnologii și Utilaje pentru Executarea, Întreținerea și Reabilitarea Suprastructurilor de Drumuri*, Editura IMPULS, București 2005, pag 227-231
- 3.Sârbu Laurențiu, *Utilaje și procese tehnologice din industria materialelor de construcții – Elemente de calcul și proiectare tehnologică, volumul 2*, Editura Matrix Rom, București, 2003
4. <https://www.themixingsolution.com/en/>
- 5.<https://www.liebherr.com/en/usa/products/construction-machines/concrete-technology/mixer-systems/mixer-systems.html>