

# CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND RANDAMENTUL ANGRENAJULUI MELCAT GLOBOIDAL CU BILE LA VARIAȚIA UNOR PARAMETRI GEOMETRICI

Conf. dr. ing. R. COTEȚIU - Universitatea de Nord din Baia-Mare

**Abstract:** *Taking in account the lower values of classical wormgears efficiency, the studies of the wormgears with rolling elements is important. The paper presents theoretical and experimental results regard the values of efficiency in various function conditions and the influence of geometrical parameters variation.*

**Cuvinte cheie:** angrenaje melcate, randament, rostogolire, coeficient de frecare.

## 1. Introducere

Performanța unui angrenaj, indiferent de tipul său, se analizează prin luarea în considerare a unui grup de factori, care exprimă fiecare un mod specific de manifestare a unor pierderi de energie. Acești factori sunt: capacitatea portantă, vibrațiile, zgomotul angrenajelor, încălzirea angrenajelor, ș.a. Toate acestea reprezintă pierderi sub diferite forme, care în final se regăsesc, ca o sumă a lor în valoarea randamentului, ca o concluzie finală asupra modului de comportare a angrenajului sub aspectul eficienței de lucru.

## 2. Elemente generale privind randamentul angrenajului melcat

Randamentul unui angrenaj melcat este definit ca un raport dintre lucrul mecanic util și lucrul mecanic consumat. Prin analogie cu șuruburile de mișcare se poate determina randamentul cu relația:

$$\eta_a = \frac{\operatorname{tg} \gamma_0}{\operatorname{tg}(\gamma_0 + \varphi')} ; \quad (1)$$

în care:  $\gamma_0$  este unghiul de înclinare a elicei de referință;  $\varphi'$  este valoarea unghiului de frecare.

Se observă din relația (1) dependența valorii  $\eta_a$  de unghiul de înclinare a elicei  $\gamma_0$  și de starea suprafeței, exprimată prin valoarea unghiului de frecare  $\varphi'$ .

Din motive tehnologice de prelucrare  $\gamma_0 = \max.(25^\circ - 30^\circ)$ ; peste aceste valori se obțin creșteri minore ale randamentului. Unghiul de frecare ( $\varphi$ ), prin intermediul coeficientului de frecare ( $\mu$ ), are implicații mari în valoarea randamentului. Astfel, cu cât unghiul de frecare ( $\varphi$ ) scade, randamentul ( $\eta$ ) crește

Randamentul danturii este influențat deasemenea, în cazul angrenajelor melcate clasice, și de coeficientul diametral ( $q$ ) și de numărul de începuturi ale melcului ( $z_1$ ).

Cu cât crește coeficientul diametral  $q$  cu atât: crește rigiditatea melcului, scade panta elicei de referință, crește viteza periferică, scade randamentul.

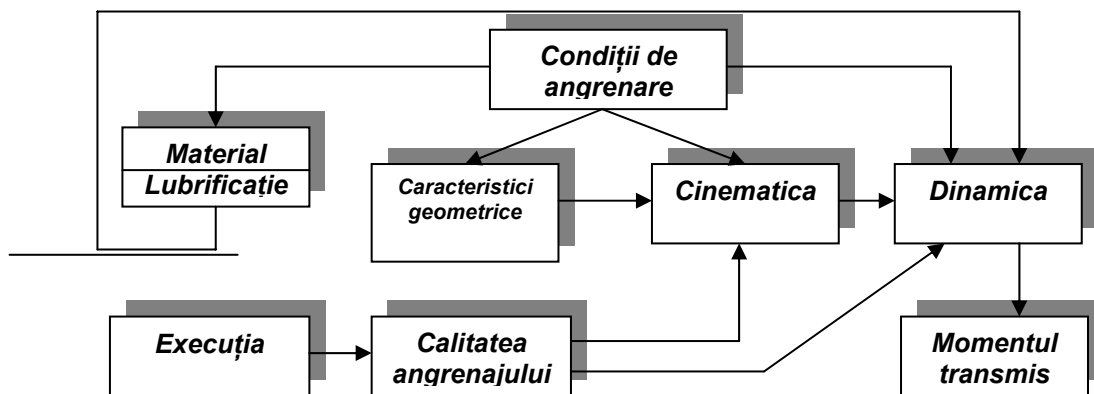
Cu cât este mai mare numărul de începuturi, cu atât randamentul angrenajului melcat crește.

Cu creșterea mărimii unghiului  $\gamma_0$ , randamentul angrenajului ( $\eta_a$ ) crește până la valoarea de:  $\gamma_0 = 45^\circ - \varphi/2$ , pentru care randamentul angrenajului este maxim ( $\eta_a = \eta_{max}$ ).

Peste această valoare randamentului angrenajului  $\eta_a$  scade. Pentru a determina valoarea  $\eta_{max}$  se poate face derivata:  $\frac{\delta\eta}{\delta\gamma} = 0 \Rightarrow \gamma_0 = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$ , apoi semnul derivatei a doua pentru a observa

descreșterea peste valoarea unghiului de înclinare a elicei  $\gamma = 45^\circ - \varphi/2$ .

În cazul angrenajelor melcate clasice de modul mic ( $m < 1$ ), factorii care influențează momentul transmis prin angrenaj sunt prezentați în figura 1 [4].



**Fig.1**

*Factorii care influențează momentul transmis prin angrenajul melcat [4]*

Condițiile de angrenare, caracteristicile geometrice ale angrenajului și calitatea sa determină cinematica angrenării, care, legată de aspectele dinamice, dau o anumită valoare și variație momentului de transmis.

În lucrarea [4] autorii studiază și confirmă următoarele:

a. Influența mărimilor geometrice și a coeficientului de frecare asupra randamentului angrenajului melcat cu alunecare.

b. Randamentul se îmbunătățește simțitor pe măsură ce  $\gamma_1 < 30^\circ$ .

c. Dependența randamentului ( $\eta$ ) față de numărul de începuturi ( $z_1$ ).

d. Cuplul de materiale, încărcarea și turația melcului influențează randamentul.

e. Numărul de dinți ai roții melcate ( $z_2$ ) influențează foarte puțin randamentul.

f. Creșterea abaterii distanței dintre axe ( $f_{ar}$ ) duce la scăderea pronunțată a randamentului ( $\eta$ ).

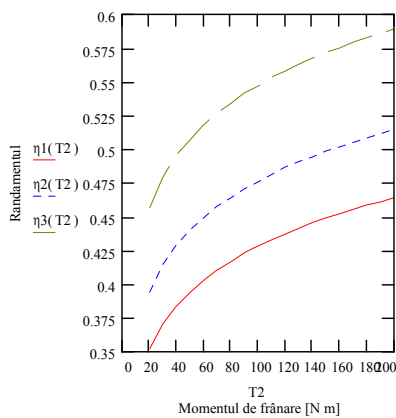
## **2. Studiul privind variația randamentului angrenajului melcat globoidal cu variația unor parametri geometrici și de funcționare.**

Autorii au abordat studiul privind variația randamentului angrenajului melcat globoidal cu variația unor parametri geometrici și de funcționare. Pornind de la expresia (3) a randamentului [5], [1] și relația (4) care prezintă relația de calcul a coeficientului de frecare de rostogolire, în care s-a ținut seama de condițiile reale de funcționare, s-au trasat curbele

teoretice de variație a randamentului cu variația turației, a încărcării, la diametrul maxim, respectiv la diametrul minim al melcului globoidal, avându-se în vedere și variația unghiului de înclinare al elicei melcului.

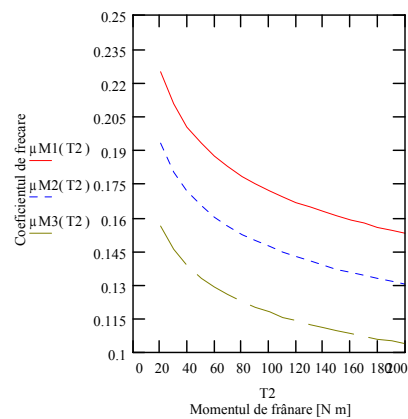
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\left( \cos \gamma_0 - \frac{\mu}{\cos \alpha_n} \cdot \sin \gamma_0 \right) \cdot d_2}{\left( \sin \gamma_0 + \frac{\mu}{\cos \alpha_n} \cdot \cos \gamma_0 \right) \cdot d_1 i_{12}} \quad (3)$$

$$\mu_{M1}(T_2) := \mu a_2 \cdot \phi(\lambda_{21}) \cdot \left[ 0.73 \cdot \lambda_{21}(T_2)^{-0.75} + \frac{E' \cdot \sigma \theta}{\sigma_0(T_2)} \cdot 0.026 \cdot (3 - \lambda_{21}(T_2))^{0.5} \right] \quad (4)$$



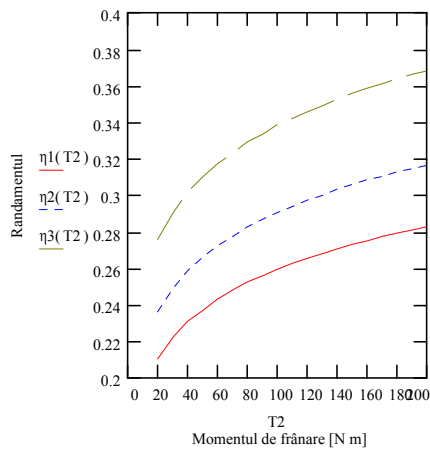
**Fig. 2**

*Variația randamentului cu creșterea sarcinii și variația turației de lucru (teoretic)*



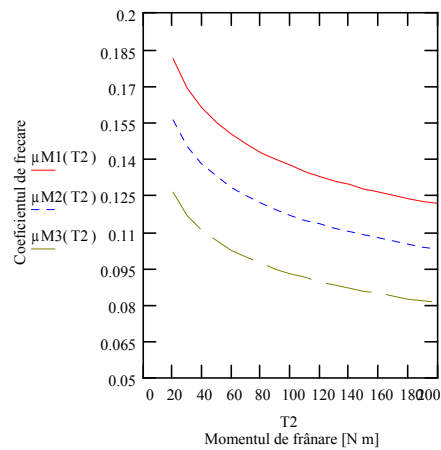
**Fig. 3**

*Variația coeficientului de frecare de rostogolire cu creșterea sarcinii și variația turației de lucru*



**Fig. 4**

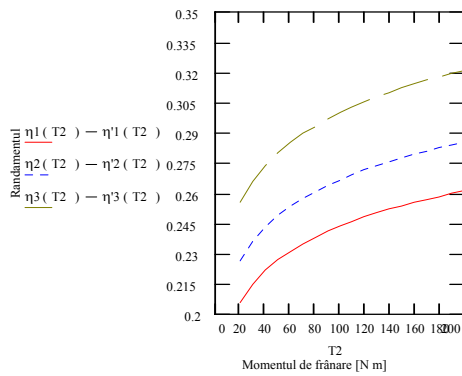
*Randamentul angrenajului cu rostogolire pentru diametrul maxim al melcului*



**Fig. 5**

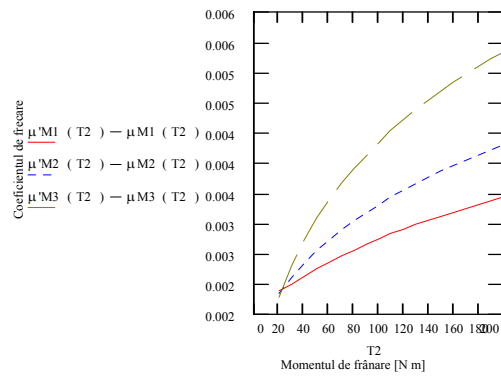
*Coeficienții de frecare la rostogolire pentru diametrul maxim al melcului*

S-a studiat modul în care variază randamentul în diferite zone ale angrenajului melcat necilindric cu bile, influențele venind din variația unghiului de înclinare a elicei, variația diametrului melcului vitezele diferite de rostogolire a bilelor. Dacă figura 2 prezintă valorile randamentului pentru diametrul minim al melcului, figura 4 prezintă valorile pentru diametrul maxim al melcului, iar figura 6 și figura 7 evidențiază diferențele care apar între valorile randamentului și ale coeficienților de frecare dintre cele două secțiuni.



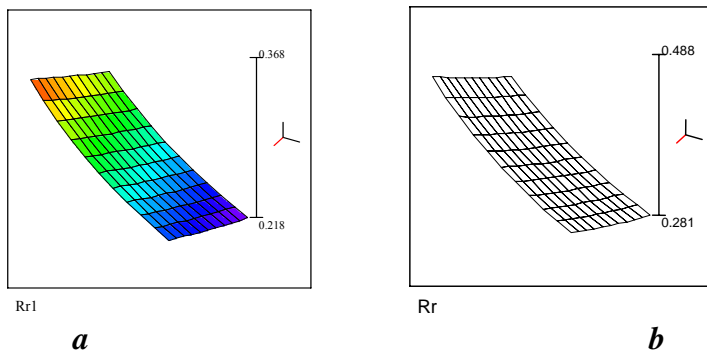
**Fig. 6**

*Diferența de randament la angrenajul cu rostogolire pentru diametrul maxim și minim al melcului*



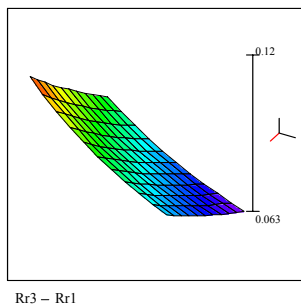
**Fig. 7**

*Diferența dintre coeficienții frecare pentru diametrul maxim al melcului la rostogolire*



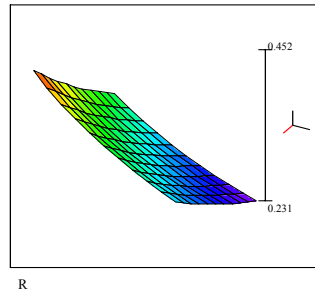
**Fig. 8**

*Variația randamentului cu variația diametrului melcului și variația unghiului de înclinare a elicei melcului pentru turația maximă (a) și minimă (b) - ROSTOGOLIRE*



**Fig. 9**

*Diferența dintre variația randamentului produsă la variația diametrului melcului și variația unghiului de înclinare a elicei melcului pentru turația maximă și minimă la angrenajul cu rostogolire.*



**Fig. 10**

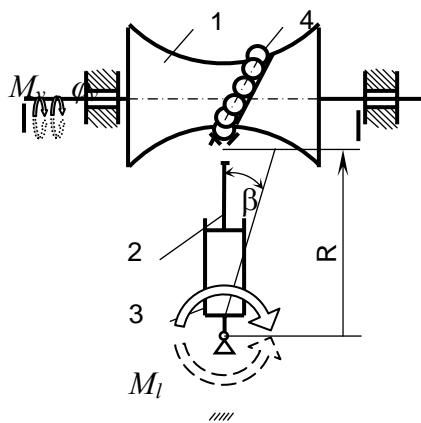
*Variația randamentului cu variația diametrului melcului și variația valorii coeficientului de frecare de rostogolire*

Ținând seama de valorile coeficienților de frecare determinați cu relația (4) și de relația randamentului (3) s-a studiat influența asupra acestuia a variației unghiului de înclinare a elicei ( $\gamma$ ), a valorii coeficienților de frecare ( $\mu$ ) și a diametrului melcului.

Pentru studiul comportării randamentului la variația diametrului melcului și variația unghiului de înclinare a elicei melcului valoarea coeficientului de frecare de rostogolire au fost fixate și luate ca media valorilor obținute pentru aceștia la secțiunea de diametru maxim și minim al melcului. Studiul a fost realizat pentru cele trei turații utilizate la măsurările practice. Evoluția randamentului pentru cazul cu rostogolire este prezentată în figura 8. Figura 9 se prezintă diferența dintre valorile randamentului prin modificarea

turației melcului pentru cazul cu rostogolire.

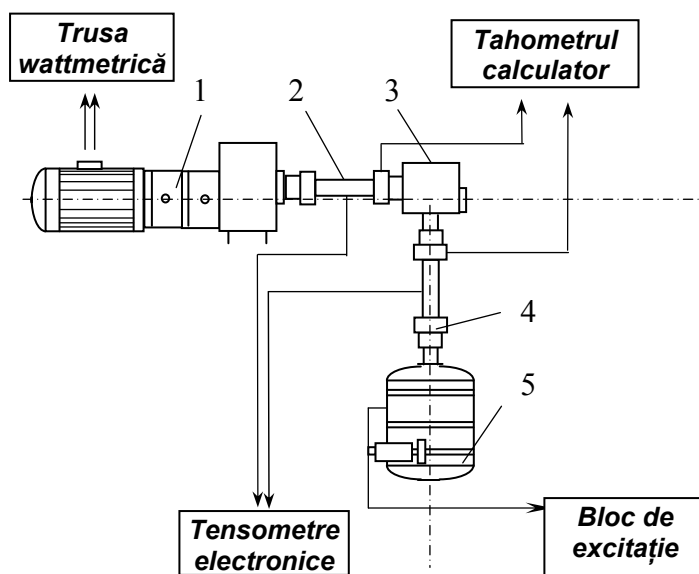
Pentru studiul randamentului cu variația diametrului melcului și variația valorii coeficientului de frecare de rostogolire au fost fixată și luată ca media valorilor unghiului de înclinare a elicei melcului pentru secțiunea de diametru maxim și minim al melcului. Studiul a fost realizat pentru cele trei turații utilizate la măsurările practice. Evoluția randamentului ținând seama de variația diametrului melcului și variația coeficientului de frecare de rostogolire este prezentată în figura 9.



**Fig. 11**

Schema cinematică a modelului mecanic experimental, varianta cu rostogolire cu bile

motoreductor planetar (1) tip M3P113/1-001-0 (Angred S.A.), acționat de o serie de motoare electrice asincrone cu rotor în scurtcircuit, alimentate de la un circuit trifazat de tensiune alternativă 380V, 50Hz, cu turațiile de  $660 \text{ min}^{-1}$ ,  $910 \text{ min}^{-1}$ . Motoreductorul transmite mișcarea la arborele de intrare al angrenajului cu turații de intrare diferite funcție de turația



- 1 – motoreductor planetar
- 2 - cuplă tensometrică la intrare
- 3 - caseta cu angrenajul melcat

- 4 - cuplă tensometrică la ieșire
- 5 - frâna cu pulberi magnetice

**Fig.12**

Schema standului pentru studiul randamentului la angrenajele melcate necilindrice cu corpuri de rostogolire

2321 cu două canale N-2314, traductori rezistivi, tahometru calculator tip N2603-6-1.10<sup>6</sup> min<sup>-1</sup>; trusa wattmetrică tip QN10 Elveția) următorilor parametri: puterea de intrare în circuit sau puterea absorbită pentru punerea în funcțiune și încercarea în sarcină a angrenajului; turația de intrare și turația de ieșire din angrenaj; puterea de ieșire; momentul de frânare aplicat pe arborele de ieșire a angrenajului.

### 3 Descrierea modelului experimental

Modelul experimental cu rostogolire a fost realizat [3] pe baza unei casete de direcție, prin înlocuirea rolei triple cu piesa o piesă numită element roată, restul sistemului rămânând neschimbat. Această piesă modelează dinții roții melcate și angrenează cu rostogolire, prin intermediul bilelor, cu melcul globoidal. În această variantă este suprimată mișcarea de rotație în jurul axului 6 din furca de sprijin 3 (fig.11).

### 4 Stand pentru studiul parametrilor funcționali ai angrenajului melcat cu bile

Standul de încercare (fig.12) este compus din următoarele părți [3]:

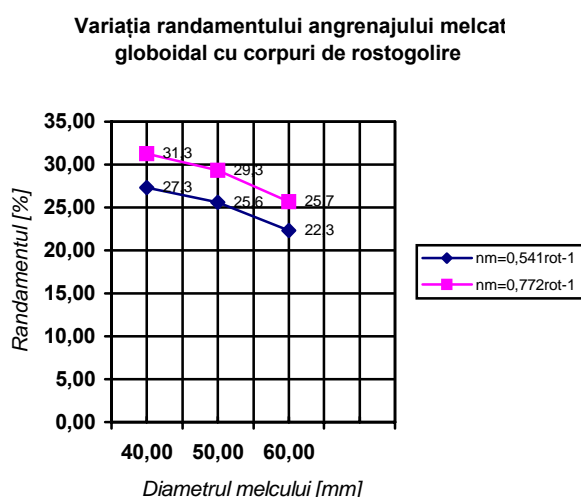
*Sistemul de acționare* este format dintr-un sistem de acționare este format dintr-un motoreductor planetar (1) tip M3P113/1-001-0 (Angred S.A.), acționat de o serie de motoare electrice asincrone cu rotor în scurtcircuit, alimentate de la un circuit trifazat de tensiune alternativă 380V, 50Hz, cu turațiile de  $660 \text{ min}^{-1}$ ,  $910 \text{ min}^{-1}$ . Motoreductorul transmite mișcarea la arborele de intrare al angrenajului cu turații de intrare diferite funcție de turația motorului electric cu care este echipat.

*Sistemul de încărcare* este format din frâna cu pulberi magnetice (6) tip 2PB25 și 4B25 VibroMeter. Frâna VibroMeter asigură aplicarea sarcinii pe arborele de ieșire a angrenajului supus studiului.

*Sistemul de măsurare* este constituit dintr-o serie de aparate de măsură, transmitere și prelucrare a mărimilor (unitate de excitație tip BEC 50/12; tensometre electronice tip N-

*Sistemul de protecție* este realizat în cadrul sistemului de acționare și constă din: protecția la scurt circuit realizat prin siguranțe fuzibile; protecția la suprasarcină utilizând relee termice bimetalice și intercalarea unui știft de siguranță, prin care se poate limita forța maximă care se aplică sistemului.

## 5. Rezultate experimentale



**Fig. 13**

Variația randamentului angrenajului melcat cu corpuri de rostogolire cu variația diametrului și a unghiului de înclinare a elicei melcului globoidal

creșterea sarcinii. Observația privind comportarea cu creșterea sarcinii trebuie privită cu o anumită reținere datorită contradicțiilor care există în literatură, unele rezultate confirmând creșterea, altele confirmând scăderea. Consider că fenomenul trebuie tratat de la caz la caz, funcție de condițiile concrete de cuplu de materiale, ungere și condiții de funcționare.

Variația vitezei periferice odată cu modificarea diametrului căii de rulare a melcului, precum și modificarea unghiului de înclinare al elicei are rolul de a determina modificarea datelor în cadrul cărora se desfășoară fenomenul de frecare, cu efecte în valoarea randamentului și a coeficientului de frecare.

## Bibliografia

1. Cotețiu, R. Cercetări și soluție constructivă pentru îmbunătățirea comportării tribologice și creșterii randamentului la angrenajele melcate necilindrice. Teza de doctorat. Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, 1998.
2. Cotețiu, R., Cotețiu, A. Cercetări teoretice și experimentale privind influența sarcinii asupra evoluției randamentului angrenajului melcat cu corpuri de rostogolire. Buletinul Științific al Universității de Nord, seria C, vol.12, Baia Mare, 1998, p. 55
3. Cotețiu, R., Cotețiu, A. Stand pentru studiul randamentului angrenajelor melcate. Buletinul Științific al Universității de Nord, Seria C, vol.12, Baia Mare, 1998, p. 61.
4. Krause, W., Tran Phan Dat, Demian, T., Grecu, E. Asupra randamentului angrenajelor de modul mic utilizate în mecanica fină. Tribotehnica 87, vol.I, București.
5. Lobonțiu, M., Pay, E., Moldovan, Al. Reductoare cu bolțuri. Considerații cinematice și de randament. Al VII lea Simpozion de roboți industriali și mecanisme spațiale, MERO 1987, vol. IV, București, 1987.
6. Maros, D., ș.a. Angrenaje melcate. București, Editura tehnică, 1966.

Pe standul prezentat la punctul 4, utilizând modelul prezentat la punctul 3, s-au efectuat măsurători de randament pentru trei mărimi de diametre: 40mm, 50mm și 60mm, constatându-se variația prezentată în figura 13.

## 6 Concluzii

Comparând curbele teoretice de variație ale randamentului cu modificarea valorilor unghiului de înclinare a elicei și ale diametrului melcului globoidal se observă tendința de scădere a acestora cu creșterea diametrului și cu scăderea unghiului de înclinare al spirei.

Deasemenea se constată creșterea valorii randamentului cu creșterea turației de funcționare și cu