

CZU: 621.867

DOI: 10.46727/c.17-18-05-2024.p196-205

**DETERMINAREA ELEMENTELOR GEOMETRICE SI CONSTRUCTIVE
PENTRU ANGRENAJELE UNUI TRANSPORTATOR DE BENZI UTILIZAT
IN DOMENIUL APARATELOR MEDICALE**

**DETERMINATION OF THE GEOMETRIC AND CONSTRUCTIVE
ELEMENTS FOR THE GEAR WHEELS OF A BELT CONVEYOR USED IN
THE FIELD OF MEDICAL DEVICES**

RĂDULESCU Constanța, Ș.L. dr.ing.,
Universitatea „Constantin Brâncuși” din Târgu Jiu, România
ORCID: 0000-0002-7446-6271
constanta.radulescu@e-ucb.ro

GHIMIȘI Ștefan Sorinel, Prof.univ.dr.ing.,
Universitatea „Constantin Brâncuși” din Târgu Jiu, România
ORCID: 0000-0002-0881-1137

RĂDULESCU Laurențiu Petre, Student,
Specializarea Inginerie Medicală, Facultatea de Inginerie, Universitatea „Constantin
Brâncuși” din Târgu Jiu, România
ORCID: 0009-0001-2207-7215

Rezumat: În lucrare se prezintă schița simplificată a unui transportor mecanic de stripuri, utilizat la un aparat medical cu scopul de a transporta banda cu proba de analizat. Transportorul este pus în mișcare de către un motor pas cu pas, iar în componența acestui mecanism intră: axe, roți dințate, roți de curea și curea GT2. De asemenea, sunt determinate prin memoriu justificativ elementele geometrice și constructive ale roților de angrenare, iar în final se prezintă două modalități de verificare și simulare a angrenării roților, verificări care se fac cu ajutorul calculatorului utilizând programele: Solidworks și Gear Generator. În final, se prezintă modelarea mecanismului de transport benzi, modelare realizată cu ajutorul programului Solidworks.

Cuvinte-cheie: mecanism, angrenaj, strip, aparate medicale, modelare

Abstract: The paper presents the simplified sketch of a mechanical strip conveyor, used in a medical device in order to transport the strip with the sample to be analyzed. The conveyor is set in motion by a stepper motor, and this mechanism includes: axles, gears, wheels of belt and belt GT2. The geometric and constructive elements of the gear wheels are also calculated, and finally two ways of checking and simulating the gearing of the wheels are presented, checks that are done with the help

of the computer using the programs: Solidworks and Gear Generator. Finally, the modeling of the belt transport mechanism is presented, modeling done with the help of the Solidworks program.

Keywords: mechanism, gear, strip, medical devices, modeling

Introducere

Transmisia mecanică ajută la deplasarea benzii cu probă din zona exterioară a unui analizor de urină, fig. 1, către zona interioară a aparatului, mecanismul fiind pus în mișcare cu ajutorul unui motor pas cu pas. De pe transportorul cu curea, strip-ul este aruncat cu ajutorul altui mecanism, ce este pus în funcțiune tot de un motor pas cu pas, pe un alt mecanism care va duce strip-ul în zona pad-ului unde află sursa de lumină (led) ce va cădea pe proba, iar semnalul luminos reflectat va fi captat de un detector care va transmite semnalul prin intermediul unui convertor analog digital către un microprocesor prin intermediul căruia sunt obținute rezultatele probei. În final strip-ul utilizat este aruncat în cutia de deșeuri.

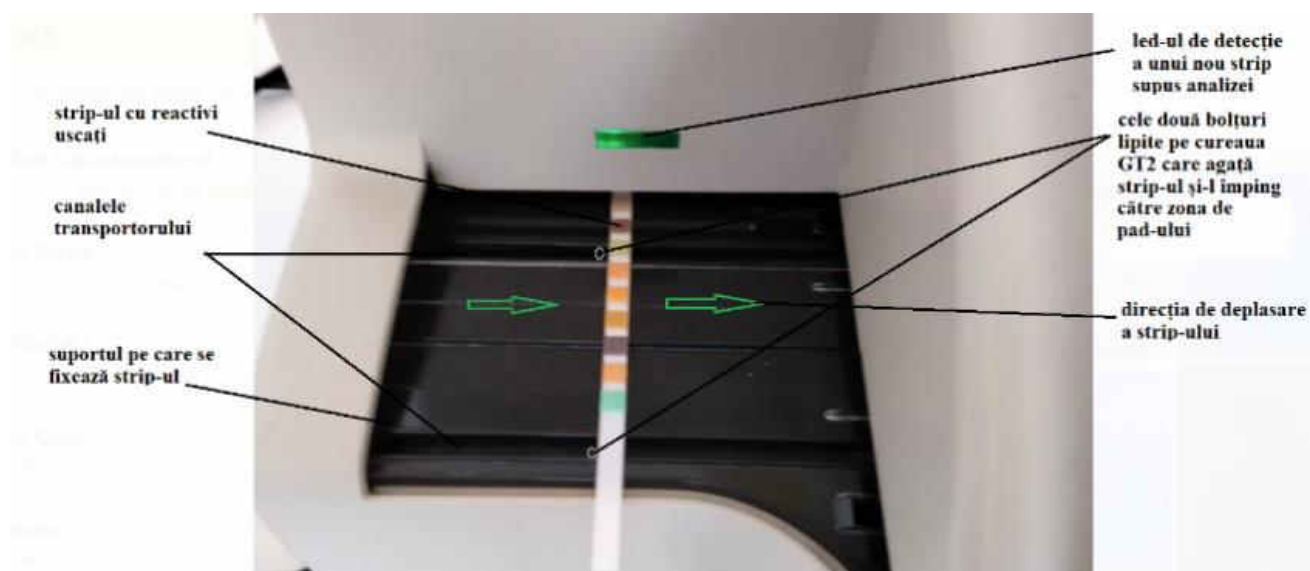


Fig. 1. Strip-ul cu reactivi și probă pus manual în zona exterioară a analizorului

MECANISMUL DE TRANSPORT AL BENZILOR

Ansamblul acestui mecanism este compus din: motorul pas cu pas, angrenajele cu roți dințate cilindrice, roțile de curea și curea GT2, axele pe care sunt montate roțile de curea și roțile dințate.

Angrenajul este un mecanism în componența căruia intră două roți dințate, care transmite – prin intermediul dinților aflați succesiv și continuu în contact (angrenare) – mișcarea de rotație dar și momentul de torsiune între cei doi arbori.

Clasificarea angrenajelor se realizează după cum urmează [1], [2], [3] și [4]:

- după poziția relativă a axelor de rotație: angrenaje cu axe paralele; angrenaje cu axe concurente; angrenaje cu axe încrucișate.
- a) după forma roților componente: angrenaje cilindrice; angrenaje conice;
- b) angrenaje hiperboloidale (elicoidale, melcate, hipoide);
- după tipul angrenării: angrenaje exterioare; angrenaje interioare.
- după direcția dinților: angrenaje cu dantură dreaptă; angrenaje cu dantură înclinată; angrenaje cu dantură curbă; angrenaje cu dantură în V.
- după forma profilului dinților: profil evolventic; profil cicloidal; profil în arc de cerc;
- după posibilitățile de mișcare a axelor roților: cu axe fixe; cu axe mobile (planetare).

Schema simplificată a mecanismului de transport al strip-urilor este prezentată în figura 2.

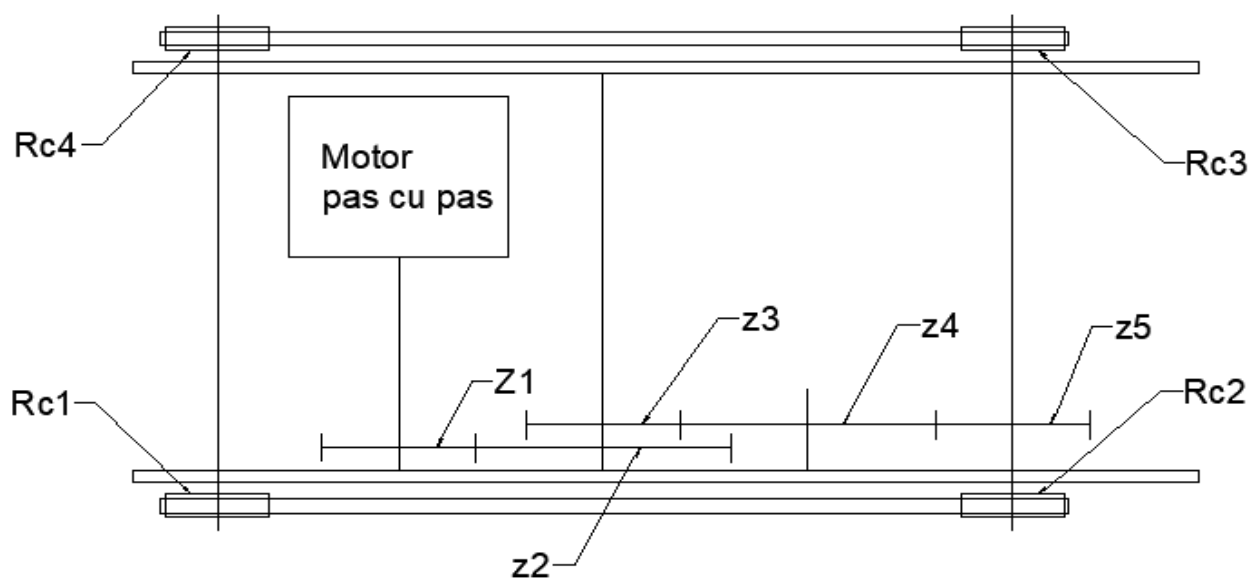


Fig. 2. Schema simplificată a transportorului de strip-uri

Din această schemă se pot observa: angrenajele formate z_1-z_2 , z_3-z_4 , z_5-z_6 ; motorul pas cu pas, roțile de curea Rc_1 , Rc_2 , Rc_3 , Rc_4 și 2 curele transportoare.

CALCULUL ELEMENTELOR GEOMETRICE ȘI CONSTRUCTIVE ALE ANGRENAJELOR

Pentru calcularea angrenajului mecanismului transportor se cunosc: modulul roților dințate pe prima treaptă $m=0,5$ mm pentru toate roțile angrenajului; raportul de transmitere total $i_t=1$; puterea motorului $P_i=1,86$ Watt; numărul de pași $n_p=200$ pași;

trei grupe de angrenaje (grupa I: $z_1=24$ dinți și $z_2=60$ dinți; grupa II: $z_3=24$ dinți și $z_4=60$ dinți; grupa III: $z_4=60$ dinți și $z_5=24$ dinți); materialul roților este din aluminiu 2017 A (AlCu4MgSi).

În tabelul 1, este prezentată corespondența acestui material dintre diferite standarde, iar în tabelul 2 se prezintă compoziția chimică a acestuia [5] și [6].

Tabelul 1. Corespondență standarde pentru materialul 2017 A (AlCu4MgSi).

Europa EN 573	Franța AFNOR	Germania DIN	Marea Britanie BS	Italia	USA ASTM	Japon JIS
2017 A (AlCu4MgSi)	2017 A	AlCuMg1	2017 A	3579 9002/2	2017 A	A 2017

Tabelul 2. Compoziția chimică a materialului.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,20- 0,80%	Max. 0,8%	3,5- 4,5%	0,40 – 1,0%	0,40 – 1,0%	0,1%	0,25%	-	Solde

Acest material are conductivitate termică foarte bună, prelucrabilitate bună. rezistența la coroziune a aerului acceptabilă. Este utilizat la confecționarea componente mecanice, pieselor de mașină, plăci de bază etc. Conform standarde europene NF EN 573-1 simbolizarea materialului este 2017 A (AlCu4MgSi), iar semifabricatele pot fi: plăci laminate: NF EN 485-2; bare, tuburi, profile, fire: NF EN 755-2; bare, tuburi, trase: NF EN 754-2.

Determinarea elementelor dimensionale, fig.3 ale angrenajului cilindric cu dinți drepți se face pe baza unor formule prezentate în sursele bibliografice [1], [2], [3] și [4].

Se calculează:

Raportul de transmitere pentru prima treaptă:

Avem numărul de dinți pentru: $z_1=24$ dinți și $z_2=60$ dinți.

Raportul de transmitere :

$$z_1 z_2 = z_2 z_1 = 60 \cdot 24 = 2,5 \quad (1)$$

Raportul de angrenare:

$$u_1 z_2 = u_2 z_1 = 60 \cdot 24 = 2,5 \quad (2)$$

Distanța dintre axe:

$$a_1 z_2 = m_1 z_2 z_1 + z_2 = 0,25 \cdot 84 = 21,00 \text{ mm} \quad (3)$$

Se alege $a_{STAS} = 21,00 \text{ mm}$

Coefficientul de modificare a distanței dintre axe:

$$y_{12} = a_{STAS} - a_{12} a_{12} = 0 \quad (4)$$

Unghiul de angrenare

$$w_{12} = \arccos \frac{a_{12}}{a_{STAS}} \cos 20^\circ = \arccos 0,9273 = 20^\circ \quad (5)$$

Coefficienții de deplasare:

$$x_s = x_1 + x_2 = \operatorname{inv} w_{12} - \operatorname{inv} 20^\circ z_1 + z_2 \operatorname{tg} 20^\circ = 0 \quad (6)$$

Diametrele de divizare:

$$d_{d1} = m_{12} z_1 = 0,5 \cdot 24 = 12 \text{ mm} \quad (7)$$

$$d_{d2} = m_{12} z_2 = 0,5 \cdot 60 = 30 \text{ mm}$$

Diametrele de rostogolire:

$$d_{w1} = d_{d1} \cos \alpha \cos w = 12 \cos 20^\circ \cos 20^\circ = 12 \text{ mm} \quad (8)$$

$$d_{w2} = d_{d2} \cos \alpha \cos w = 30 \cos 20^\circ \cos 20^\circ = 30 \text{ mm}$$

Diametrele de picior:

$$d_{f1} = d_{d1} - 2m_{hof}^* - x_1 = 11 \text{ mm} \quad (9)$$

$$d_{f2} = d_{d2} - 2m_{hof}^* - x_2 = 29 \text{ mm}$$

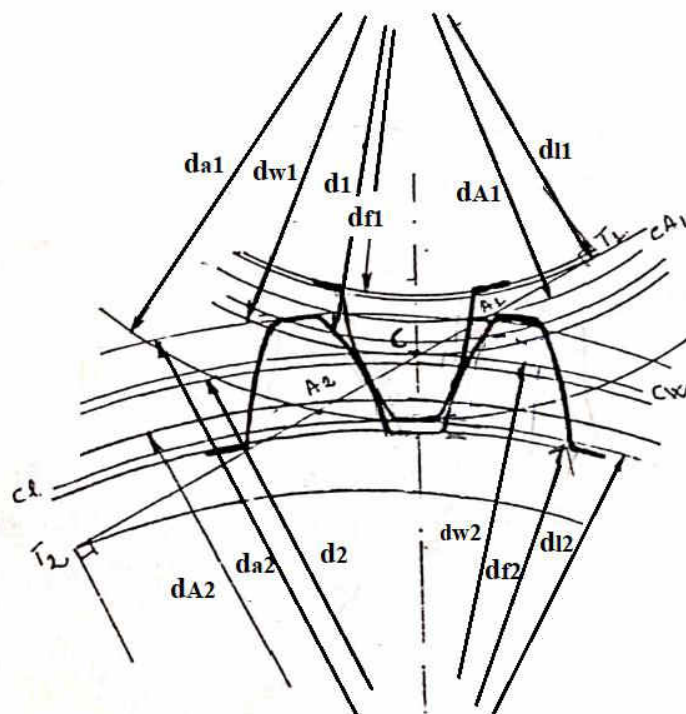


Fig. 3. Elementele geometrice ale angrenajelor [1], [2].

Diametrele de cap:

$$d_{a1} = d_{d1} + 2m_{hof}^* + x_1 = 13 \text{ mm} \quad (10)$$

$$d_{a2} = d_{d2} + 2m_{hof}^* + x_2 = 31 \text{ mm}$$

Înălțimea dinților:

$$h_1 = d_{a1} - d_{f1} = 22 = 1 \text{ mm} \quad (11)$$

$$h_2 = d_{a2} - d_{f2} = 22 = 1 \text{ mm}$$

Diametrele cercurilor de bază:

$$d_{b1} = m \cdot z_1 \cdot \cos 20^\circ = 0,5 \cdot 24 \cdot \cos 20^\circ = 11,27 \text{ mm} \quad (12)$$

$$d_{b2} = m \cdot z_2 \cdot \cos 20^\circ = 0,5 \cdot 60 \cdot \cos 20^\circ = 29,19 \text{ mm}$$

Unghiul de presiune la capul dintelui:

$$a_1 = \arccos \frac{d_{b1}}{d_{a1}} = \arccos \frac{11,27}{22} = 29^\circ 50' \quad (13)$$

$$a_2 = \arccos \frac{d_{b2}}{d_{a2}} = \arccos \frac{29,19}{60} = 24^\circ 35' \quad (14)$$

Arcul dintelui pe cercul de cap s_{a1} și s_{a2} :

$$s_{a1} = d_{a1} \pi + 4 \cdot x_1 \cdot \operatorname{tg} a_2 \cdot z_1 = 132 \cdot 24 = 0,8 \quad (15)$$

$$s_{a2} = d_{a2} \pi + 4 \cdot x_2 \cdot \operatorname{tg} a_2 \cdot z_2 + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} w_1 = 312 \cdot 60 = 0,8$$

Diametrele cercurilor începutului profilului evolventic:

$$\begin{aligned} d_{l1} &= d_{b1} + \operatorname{tg} a_2 - 2 \cdot x_1 \cdot z_1 \cdot \sin a_2 \cos a_2 = \\ &= 11,27 + \operatorname{tg} 20^\circ - 2 \cdot 1 \cdot 24 \cdot \sin 20^\circ \cdot \cos 20^\circ = 11,3315 \text{ mm} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} d_{l2} &= d_{b2} + \operatorname{tg} a_2 - 2 \cdot x_2 \cdot z_2 \cdot \sin a_2 \cos a_2 = \\ &= 29,19 + \operatorname{tg} 20^\circ - 2 \cdot 1 \cdot 60 \cdot \sin 20^\circ \cdot \cos 20^\circ = 30,1623 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diametrele cercului începutului profilului activ al flancului danturii roților:

$$\begin{aligned} d_{A1} &= d_{b1} + 2 \cdot a_1 \cdot \sin a_2 - d_{a2} - d_{b2} = \\ &= 11,27 + 2 \cdot 21 \cdot \sin 20^\circ - 312 - 29,19 = 11,93 \text{ mm} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} d_{A2} &= d_{b2} + 2 \cdot a_2 \cdot \sin a_2 - d_{a1} - d_{b1} = \\ &= 29,19 + 2 \cdot 21 \cdot \sin 20^\circ - 132 - 11,27 = 30,23 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pentru a exista o angrenare corectă a celor două roți dințate, adică pentru a evita interferența danturii în procesul de angrenare este necesar să fie îndeplinite condițiile:

$$d_{A1} d_{l1}$$

$$d_{A2} d_{l2}$$

Gradul de acoperire:

$$\begin{aligned} &= z_1 \cdot 2 \pi \operatorname{tg} a_1 + z_2 \cdot 2 \pi \operatorname{tg} a_2 - z_1 + z_2 \cdot 2 \pi \operatorname{tg} w \\ &= 24 \cdot 2 \pi \operatorname{tg} 29,50 + 60 \cdot 2 \pi \operatorname{tg} 24,35 - 84 \cdot 2 \pi \operatorname{tg} 20 = 1,6168 \end{aligned} \quad (18)$$

Numărul minim de dinți ai roților z_{\min} :

$$z_{\min 1,2} = 2 \cdot \operatorname{ho} a_2^* \cdot x_{1,2} \cdot \sin^2 a_2 = 17,09 \quad (19)$$

Pentru evitarea interferenței la generarea danturii se recomandă:

$$z_{1,2} \geq z_{\min}$$

Relații de calcul pentru verificarea dimensională a danturii roților dințate

Pentru a asigura executarea roților dințate pentru elementele geometrice calculate anterior mai trebuie determinate o serie de elemente geometrice necesare controlului dimensional și anume [16]:

- lungimea sau cota peste N dinți, notată cu W_N :

$$W_{N1} = N_1 - 0,5 + 2 \cdot x_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha + z_1 \cdot \operatorname{inv} \alpha \cdot m \cdot \cos \alpha \quad (20)$$

unde: N – reprezintă numărul de dinți peste care se măsoară lungimea W_N , care se calculează cu relația:

$$N_1 = 0,111 \cdot z_1 - 0,232 \cdot x_1 + 0,5 = 0,111 \cdot 24 + 0,5 = 3,164 \text{ dinți}$$

$$\text{Alegem: } N_1 = 3 \text{ dinți}$$

$$N_2 = 0,111 \cdot z_2 - 0,232 \cdot x_2 + 0,5 = 0,111 \cdot 60 + 0,5 = 7,16 \text{ dinți}$$

$$\text{Alegem: } N_2 = 7 \text{ dinți}$$

Atunci:

$$W_{N1} = 3 - 0,5 + 24 \cdot \operatorname{inv} 20 \cdot 0,5 \cdot \cos 20 = 3,8581 \text{ mm}$$

$$W_{N2} = 7 - 0,5 + 60 \cdot \operatorname{inv} 20 \cdot 0,5 \cdot \cos 20 = 10,0146 \text{ mm}$$

- coarda de divizare a dintelui s:

$$s_1 = s_1 - s_{136} \cdot d_{12}$$

unde: s_1 reprezintă arcul de divizare al dintelui:

$$\bullet \quad s_1 = m \cdot 2 + 2 \cdot x_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha = 0,52 = 0,7853$$

$$\bullet \quad s_1 = m \cdot 2 + 2 \cdot x_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha = 0,52 = 0,7853$$

În aceste condiții avem:

$$s_1 = s_1 - s_{136} \cdot d_{12} = 0,7853 - 0,785336 \cdot 122 = 0,7847 \quad (21)$$

$$s_2 = s_2 - s_{236} \cdot d_{22} = 0,7853 - 0,785336 \cdot 302 = 0,7820$$

Observație:

1. Verificarea cotei peste N dinți este indicată la danturi exterioare care au module mai mici de 8mm.
2. Verificarea prin metoda de măsurare a corzii dintelui se face la verificarea danturilor exterioare cu modul mai mare de 8 mm.

Aceste calcule sunt valabile și pentru grupe de angrenaje: $Z_3 = 24$ dinți și

$Z_4 = 60$ dinți, respectiv : $Z_4 = 60$ dinți și $Z_5 = 24$ dinți

Este de specificat că roata Z_3 este pe același ax cu roata Z_2 .

În acest caz raportul de transmisie total:

$$i_T = 60 \cdot 24 / 60 \cdot 24 = 2,5$$

Ceea ce înseamnă că la o turație de 200rot/min cât este la ieșirea din motor, vom avea o turație la roțile de curea de 80rot/min.

UTILIZAREA PROGRAMELOR DE SIMULARE

Pentru a se face verificarea calculelor geometrice ale angrenajelor și pentru a vedea modul de angrenare al acestora, am folosit un program de simulare numit **GEAR GENERATOR**, fig.4.

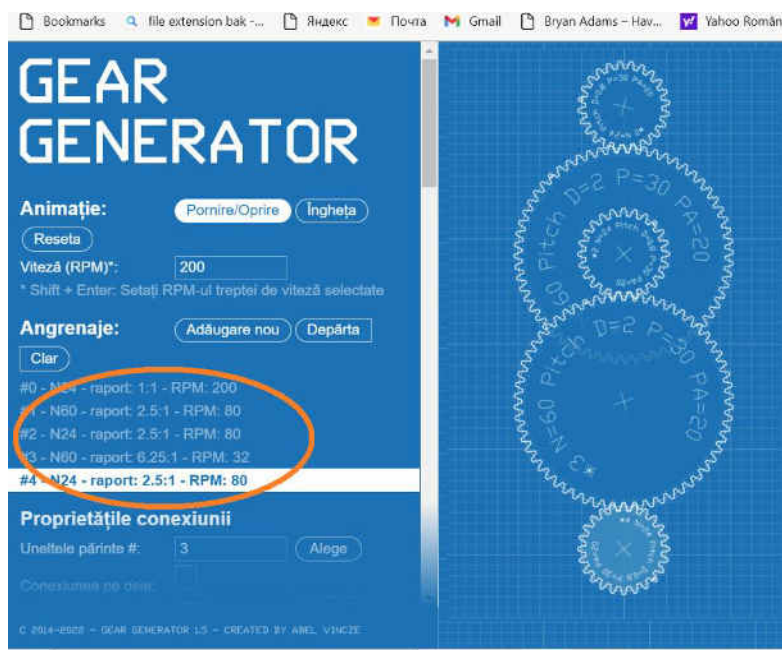


Fig. 4. Simularea angrenajelor în programul GEAR GENERATOR

Pentru a putea face simularea programul ne cere câteva date geometrice legate de roțile dințate: diametrul de cap, diametrul de divizare, diametrul de picior, numărul de dinți, înălțimea dinților, precum și distanța dintre axe.

După ce au fost introduse aceste date programul poate rula, practic face simularea transmisiei mecanice proiectate.

Este de specificat faptul că tot în acest program se poate introduce turația de intrare (turația motorului) și acesta calculează turația de ieșire, calculând raportul de transmitere pentru fiecare treaptă în parte. Acest lucru se poate vedea și în fig. 4, în zona încercuită cu galben. Se poate vedea că turația de intrare este de 150 rot/min, iar turația de ieșire este de 60 rot/min.

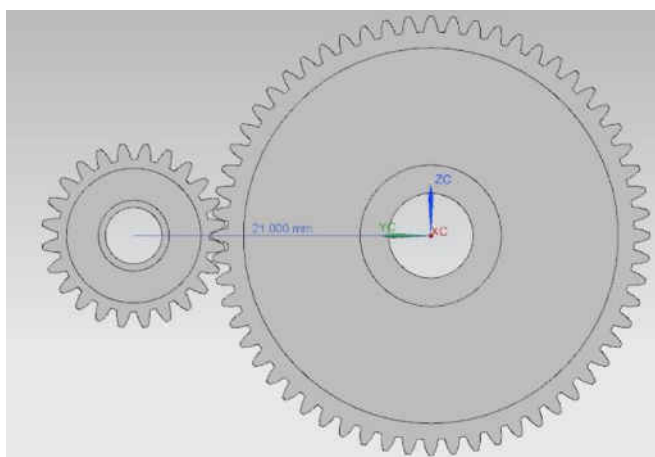


Fig. 5. Verificarea angrenării roților Z_1 și Z_2 în SolidWorks.

O altă verificare de angrenare a roților dințate rezultă în urma construcției acestora în programul de proiectare Solidworks, fig. 5, unde se poate observa, spre exemplu, distanța dintre axe de 21,00 mm.

În schema simplificată din fig. 2 au fost prezentat părțile componente principale ale mecanismului de transport, dar acesta în realitate are mult mai multe componente, printre care putem menționa: suportți mecanismului, axele pe care vin montate roțile, rulmenții, elemente de prindere, etc.

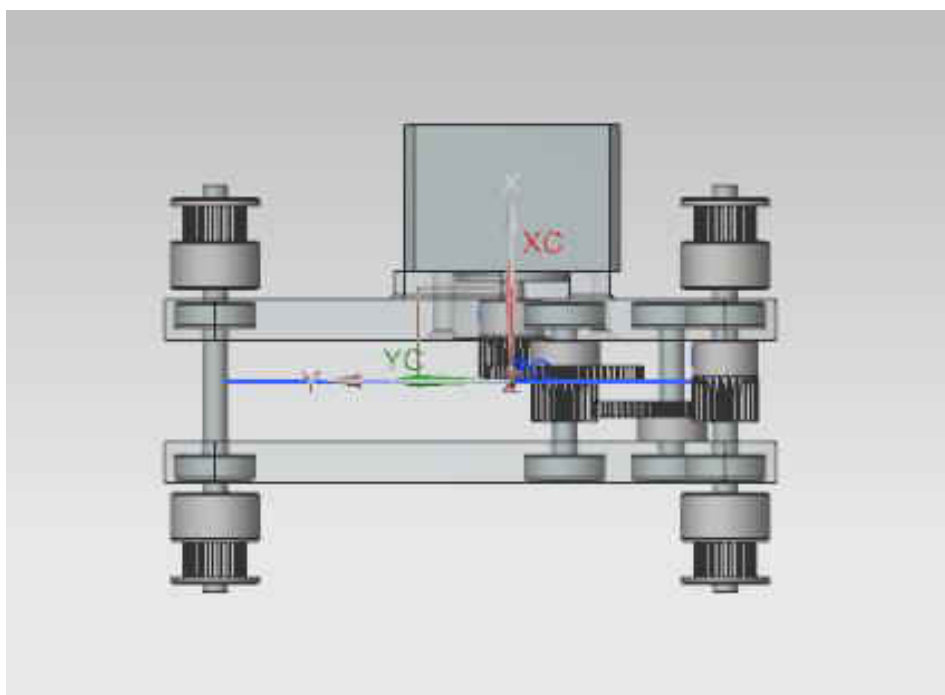


Fig. 6. Mecanismul de transport al benzilor cu probă – modelare în SolidWork

Toate acestea au fost prezentate prin realizarea modelării cu ajutorul software-ului CAD a mecanismului de transport al strip-urilor cu reactivi preluate din zona exterioară a analizorului de urină și duse în interiorul acestuia, în zona padului, modelare prezentată în fig. 6.

Concluzii

Proiectarea mecanismelor, nu doar cele utilizate în aparatura biomedicală, ci în general, a început să devină mai ușor de înțeles datorită programelor de simulare. Practic prin simularea mecanismului proiectat se pot verifica atât performanța mecanismului, dar și anumite elemente de proiectare. Astfel, programul Gear Generator ne poate determina rapoartele de transmitere pentru fiecare treaptă în parte,

turația la ieșire, precum și simulare angrenării roților, bineînțeles în urma introducerii în program a unor caracteristici geometrice și constructive ale roților dințate.

O altă simulare se poate face cu ajutorul programului de proiectare Solidwork, dar aceasta este mai complexă, datorită faptului că este necesar a fi proiectate toate elementele componente ale mecanismului. Totuși chiar dacă această variantă necesită un timp mai mare de lucru, ea îți oferă o imagine reală a mecanismului proiectat.

Bibliografie

1. GHIMISI Ș. Organe de mașini, vol. I, Editura Academica Brâncuși, 2002.
2. GHIMISI Ș., SAVU T. Organe de mașini – îndrumar de proiectare, vol. II, Universitatea „Constantin Brâncuși” din Tg-Jiu, 1994.
3. GHIMISI Ș., SAVU T. Organe de mașini – îndrumar de proiectare, vol. III, Universitatea „Constantin Brâncuși” din Tg-Jiu, 1994.
4. GHIMIȘI Ș. Transmisii Mecanice, Editura Didactica si Pedagogica, București, 2005.
5. EN 10083-2: 2006, Oțeluri pentru călire și revenire. Condiții tehnice de livrare pentru oțel nealiat.
6. DIN EN 573-1. Aluminium and aluminium alloys – Chemical composition and form of wrought products – Part 1: Numerical designation system.
7. <https://geargenerator.com>
8. <https://www.solidworks.com>