

MODELAREA UNOR LANȚURI ULTRASONICE CU VIBRAȚII TORSIONALE PENTRU DIVERSE APLICAȚII

MODELING OF ULTRASONIC CHAINS WITH TORSIONAL VIBRATIONS FOR VARIOUS APPLICATIONS

ȘOAGHER Ionuț-Ovidiu, CREȚU Raluca

Facultatea de Inginerie Industrială și Robotică, Specializarea: Nanotehnologii și Sisteme Neconvenționale, Anul de studii: 4, e-mail: creturaluca22@yahoo.com

Conducător științific: Prof.Dr.ing **Daniel GHICULESCU**

ABSTRACT: The paper presents existing theoretical and practical considerations regarding the transformation of longitudinal ultrasonic waves into torsional waves using helical horns, with various geometries, integrated in ultrasonic chains with usual transducers for longitudinal waves. Applications of torsional ultrasonic waves in several fields are also presented, highlighting their advantages related to surface geometry and kinematics required in assisted processes. Several variants of horns were modeled and the propagation of ultrasonic waves was simulated within them, using finite element analysis with the dedicated program, Comsol Multiphysics. The influence of the geometric elements of the horns on the amplification of the oscillations and on the own frequency was studied, in order to obtain the resonance condition necessary for the achievement of the ultrasonic chains.

CUVINTE CHEIE: lanțuri ultrasonice, unde torsionale, modelare, simulare, elemente finite.

1. Introducere

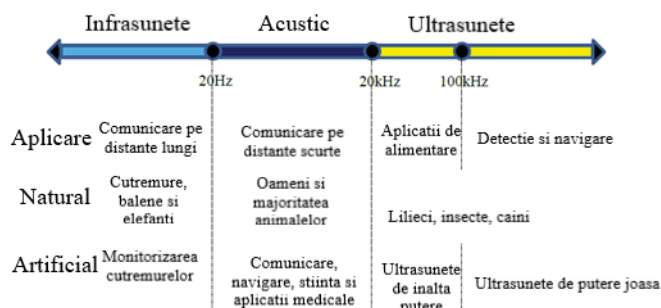


Fig. 1 Clasificarea undelor sonore [1]

vibrație, undele sunt de mai multe tipuri, printre care cele *longitudinale* și *torsionale* (Fig.2).

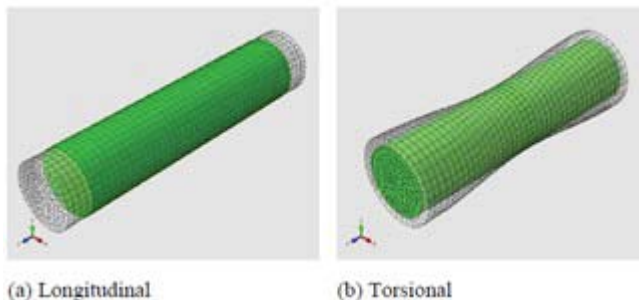


Fig.2 Tipuri de unde [1]

variantă).

„Ultrasonic”(US) este un termen care face referire la aplicarea undelor sonore, în transportul energiei mecanice mai mare decât pragul sonor. Acesta este considerat, uzual, 20kHz. Numărul de secvențe repetate per unitate de timp reprezintă frecvența care poate fi utilizată pentru a clasifica undele sonore (Fig 1). Așadar, cuvântul „ultrasonic” se folosește ca termen scurt pentru orice echipament ce utilizează unde ultrasonice. Având în vedere modul de

Aceste tipuri de unde sunt obținute prin utilizarea - unei *instalații mecanice* de producere a undelor ultrasonice, când energia primară folosită este aceea mecanică (metodă cunoscută pentru producerea frecvențelor ultrasonice de până la 30 kHz, prin utilizarea *fluierului Galton*);
- unei *instalații electro-acustice*, la care energia primară folosită pentru producerea vibrațiilor mecanice este *energia electrică* (cea mai folosită

2. Stadiul actual privind lanțurile ultrasonice care generează vibrații torsionale

Transductorul ultrasonic este elementul care transformă cu randament impus energia primară (electrică) în energie acustică.

Concentratorul ultrasonic permite ca energia acustică să fie concentrată într-un volum mai mic și să se obțină unde ultrasonice de intensități ridicate; face legătura între transductor și obiectul de transfer (scula) cu scopul de a mări amplitudinea de oscilație și de a asigura un acord de impedanță între transductor și sarcina din spațiul de lucru.[2]. Cel mai folosit tip de transductor piezoelectric, se numește transductor Langevin și uneori este sub forma unui “sandwich” Fig 3.

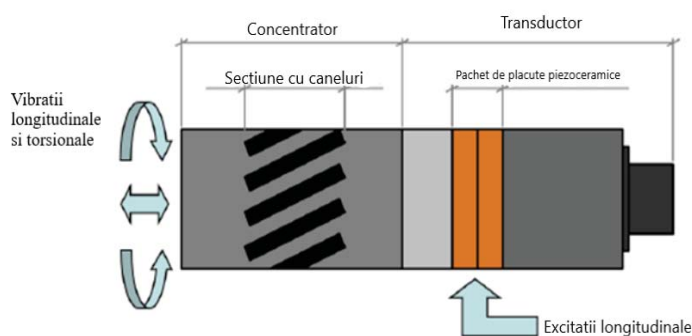


Fig. 3 Schema de degenerare a vibrațiilor longitudinale într-un transductor sandwich. [1]

Se pot folosi mai multe tipuri de concentratoare [2]. Forma concentratoarelor ultrasonice poate fi: conică, cilindrică în trepte, exponențială, catenoidală, etc.

Transductorul cu prindere cu șurub central și răcire forțată are principalele elemente componente constructiv funcționale.[2]

Există mai multe variante de asamblare a concentratorului de transductor utilizând: a) prezon; b) șurub prevăzut cu suprafețe plane pentru strângere cu cheie fixă; c) cu bușă filetată și strângere cu cheie cu știfturi radiale; d) cu bușă filetată

conică [2]

Structura complexă a concentratorului are un miez solid uniform și fantele profilate elicoidale înfășurate pe o suprafață conică. Sunt evidențiate forțele și momentele care acționează asupra concentratorului în timpul funcționării.[1]

3. Aplicații ale vibrațiilor torsionale

Vibrațiile longitudinale și torsionale (LT) sunt utilizate în multe aplicații industriale pentru a îmbunătăți performanța. Aplicații precum: prelucrarea găurilor și microgăurilor cu axa longitudinală curbă; sudarea cu ultrasunete[6]; foraj (gaurire) cu ultrasunete[8], motoarele cu ultrasunete, disecția cu ultrasunete[6].

De asemenea, introducerea mișcării torsionale în forajul cu ultrasunete poate îmbunătăți considerabil procesul de foraj. Se raportează că mișcarea pe traiectorie elicoidală, care se obține prin această cuplare vibrațională, poate crește cuplul în motoarele cu ultrasunete și poate spori rezistența și uniformitatea lipirii la sudarea cu ultrasunete

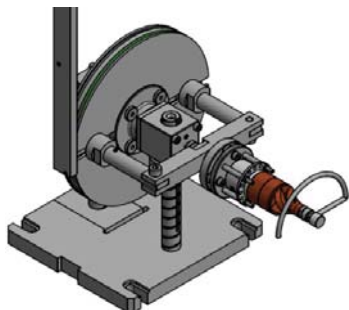


Fig. 4 Echipament pentru Prelucrarea găurilor și microgăurilor curbe [3]

Echipamentul pentru prelucrarea găurilor și microgăurilor cu axa longitudinală curbă este prezentat în fig.4. Acesta execută vibrații torsionale în jurul axei longitudinale care coincide cu axa de rotație a roții conducătoare [3].

Echipamentul pentru strunjirea interioară[4] prezintă un lanț ultrasonic, iar aplicarea vibrațiilor torsionale permite reducerea forțelor de așchiere și creșterea preciziei de prelucrare prin reducerea deformațiilor sistemului tehnologic.

Electrodul-sculă este montat la capătul unui lanț ultrasonică, în care se produc vibrații torsionale transformate din cele longitudinale.

4. Etape de modelare cu metoda elementelor finite

Modelul matematic are ca punct de plecare, relațiile de mai jos pentru un concentrator de formă simplă. Astfel, pentru concentratorul în trepte, după Merkulov și Kharitonov [2], pentru a avea amplificarea K ,

$$K = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \quad (1)$$

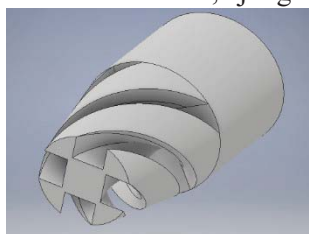
unde D_1 și D_2 sunt diametrele de intrare și de ieșire ale concentratorului, lungimile treptelor l_1 și l_2 ale concentratorului trebuie să satisfacă relațiile:

$$l_1 = 1,5 / \alpha \quad [m] \quad (2)$$

$$l_2 = 1,6 / \alpha \quad [m] \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad [m] \quad (4)$$

Numărul de undă α din relațiile (2) și (3) este $\alpha = 2\pi / \lambda$ unde: λ este lungimea de undă; c - viteza sunetului în materialul concentratorului; f - frecvența; E - modulul de elasticitate; ρ - densitatea materialului. În cadrul modelării (v. parametrii modelelor, etapa 1 la modelul creat integral în Comsol), a fost modificată geometria concentratoarelor, ajungându-se la variantele prezentate în continuare.



Model 3D

modelul, alegând spațiul 3D.

Etapele modelării sunt prezentate în continuare:

Modelarea geometrică a fost abordată în programul Inventor, unde se realizează forma secțiunii concentratorului, raza acestuia, conicitatea și lungimea acestuia. Construirea concentratorului s-a realizat în funcție de secțiunea și diametrul acestuia. Determinarea frecvenței proprii a concentratorului și simularea funcționării acestuia s-a realizat în programul Comsol Multiphysics. Se alege spațiul de lucru, urmând să se importe Fig.5

Pasul următor este selectarea modului de calcul, Solid Mechanics, Eigenfrequency (Fig.6). În etapa următoare se alocă materialul din meniul Materials.

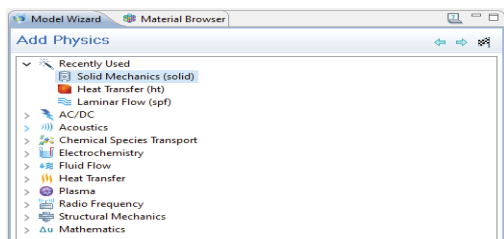


Fig.6 Selectarea modului de calcul

Selectarea frecvenței în meniul Eigenfrequency unde putem selecta și numărul de frecvențe căutate. Rularea programului și apoi selectarea frecvenței astfel încât concentratorul să nu se înconvoaie (vibrații transversale) în modul de vibrație selectat. În figura 7 se prezintă discretizarea unui model. În final se vizualizează rezultatele și simulează funcționarea concentratorului, utilizând facilitatea "Play". Aceasta simulează modul de vibrație și afișează pe lângă frecvența proprie și amplificarea la diverse momente de timp (Fig.8).

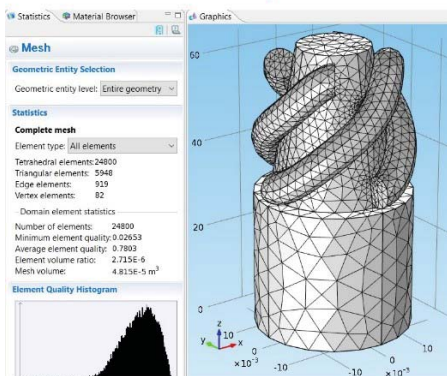


Fig.7. Statistica discretizării pentru modelul creat integral în Comsol

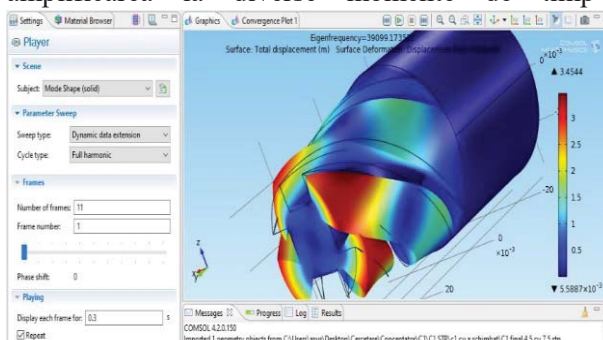
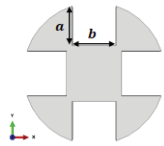
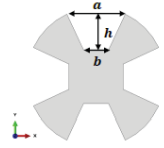
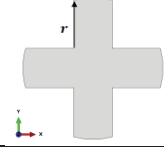
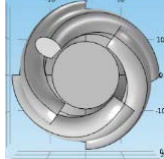


Fig.8. Simularea modului de vibrație prin facilitatea "Play"

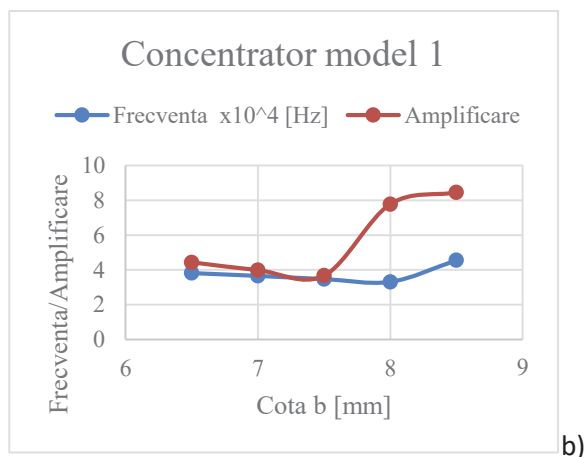
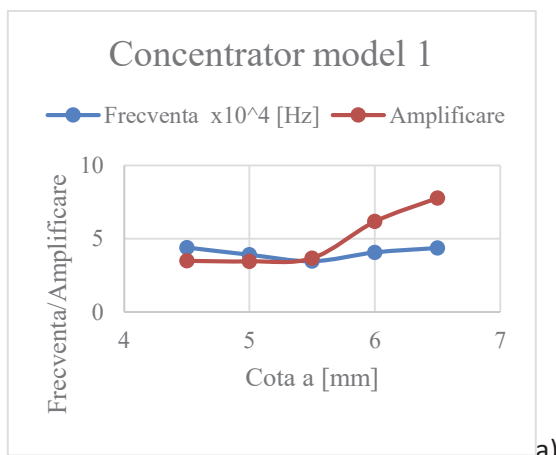
5. Rezultatele modelării cu metoda elementelor finite:

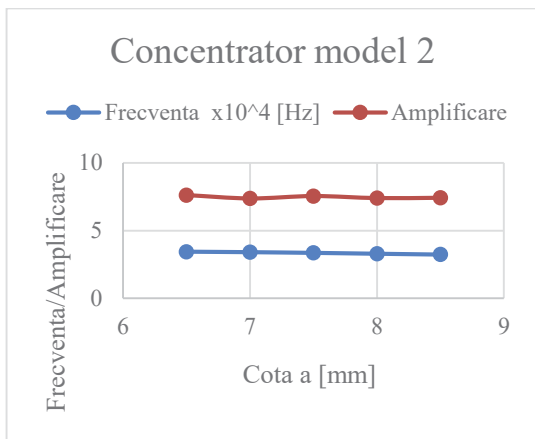
În tabelul 1 sunt prezentate în sinteză, rezultatele în urma simulării modelelor realizate:

Tabelul 1. Rezultatele obținute la modelarea concentratoarelor

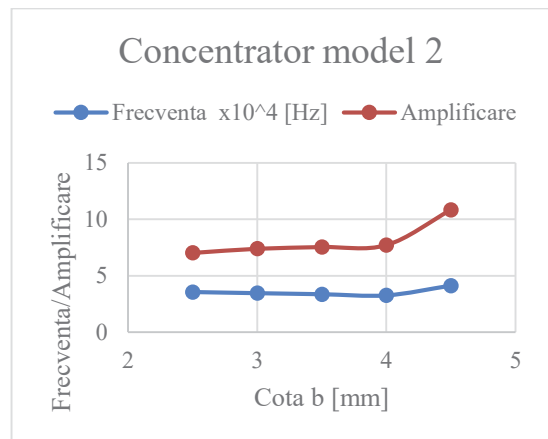
Nr. crt	Secțiune transversală model	Cote	Frecvența [Hz]	Amplificarea maximă
1.		a=5.5mm b=8.5mm Geometrie modelată în Inventor și importată în Comsol	45547	8.4526
2.		a=7,5mm b=4,5mm h=7mm Geometrie modelată în Inventor și importată în Comsol	41242	10.8420
3.		r=7 mm Geometrie modelată în Inventor și importată în Comsol	46021	8.8843
4.		K=0.10; raportul dintre raza mare și mică a conului, Geometrie creată și modelată integral în Comsol	45831	7.2527

Graficele de variație ale frecvenței și amplitudinii pentru cele 4 modele, în funcție de parametrii geometrici ai secțiunii transversale sunt prezentate în figura 9 (a-g):

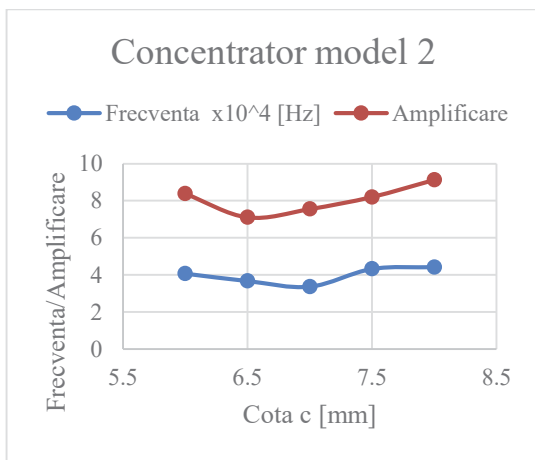




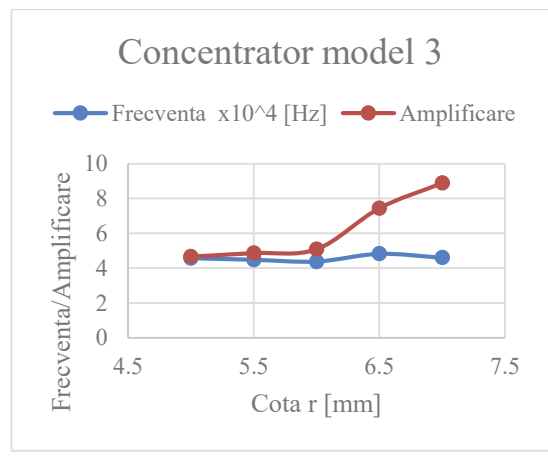
c)



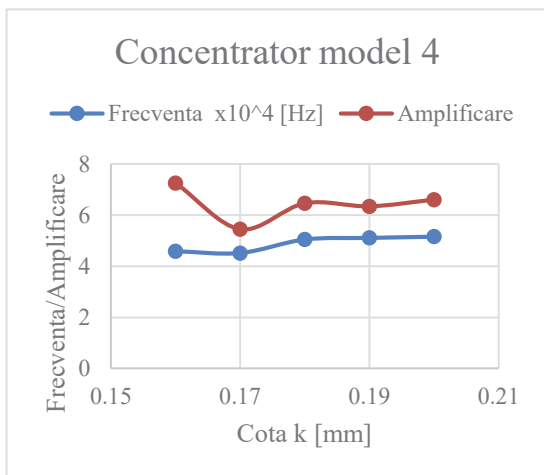
d)



e)



f)



g)

Din analiza graficelor privind influența parametrilor geometrici ai secțiunii transversale asupra variației frecvenței proprii și amplitudinii se observă următoarele:

- La modelul 1, creșterea cotei a determină o creștere a amplificării; frecvența proprie se menține relativ constantă, cu o ușoară creștere, determinată de condiția ca modul de vibrație al concentratorului să nu implice și vibrații transversale, ci numai torsionale – condiție verificată la fiecare model, cu facilitatea de animație *play*; , variația cotei b , presupune o creștere a amplificării;

La modelul 2, care implică trei parametri geometrici, creșterea cotei a nu modifică substanțial amplificarea, în schimb, creșterea cotei b determină, creșterea semnificativă a amplificării, atingându-se, valoarea maximă în cazul acestui model; la cota c , înălțimea trapezului se obține o amplificare maximă la valorile extreme ale acestui parametru.

În ceea ce privește, influența asupra frecvenței proprii, creșterea parametrului a determină o evoluție relativ constantă a frecvenței proprii; creșterea parametrului b determină o creștere a frecvenței proprii, iar în ceea ce privește cota c se obține valori relative mari la capetele intervalului de variație.

La modelul 3, creșterea parametrului r presupune, amplificarea concentratorului, în timp ce frecvența proprie se menține relativ constantă;

La modelul 4, prin variația parametrului k care reprezintă raportul dintre razele conului pe care se înfășoară cele patru elice poziționate la un unghi de 90 pe circumferința conului, amplificarea maximă, se obține la valoare mică a parametrului k și valori mai mari odată cu creșterea acestui parametru; frecvența proprie a concentratorului crește odată cu mărirea parametrului k .

5. Concluzii

1. A fost abordată modelarea concentratoarelor ultrasonice, integrate în lanțurile ultrasonice care prezintă transductoare uzuale care produc vibrații longitudinale și care sunt transformate în vibrații torsionale de către concentratoare - varianta mai puțin costisitoare decât utilizarea transductoarelor cu vibrații torsionale.

Lucrarea subliniază importanța vibrațiilor torsionale, prin prezentarea aplicațiilor acestui tip de vibrații ultrasonice în cazuri cum sunt: realizarea găurilor și microgăurilor cu axă longitudinală curbă și a suprafețelor elocoidale prin electroeroziune, asistarea prelucrărilor prin așchiere, sudarea suprafețelor, chirurgie, foraj etc.

Se evidențiază complexitatea geometriei concentratoarelor, a căror realizare practică presupune o etapă premergătoare de modelare computerizată cu metoda elementelor finite în vederea obținerii condiției de rezonanță. Aceasta este condiția de funcționare a lanțurilor ultrasonice, care presupune egalarea frecvenței proprii a concentratorului cu aceea a transductorului.

Parametrii geometrici ai secțiunii transversale, care este baleiată pe o elice, înfășurată pe o suprafață conică influențează decisiv amplificarea oscilațiilor realizată de concentrator și frecvența proprie a acestuia. Modelarea cu elemente finite în Comsol Multiphysics furnizează valorile pentru amplificare maximă și frecvența proprie și parametrii constructivi pentru realizarea concentratoarelor.

6. Bibliografie

- [1] Al-Budairi H.D., *Design and analysis of ultrasonic horns operating in longitudinal and torsional vibration*, PhD thesis., UK, 2012, disponibil la <http://theses.gla.ac.uk/3851/>, accesat la: 6.04.2020
- [2] Marinescu N.I, Ghiculescu, D. s.a. Tehnologii cu oscilații ultrasonice, Printech, București, 2019.
- [3] Ghiculescu L.D., Marinescu N.I., Alupei O.D., Popa L., *Echipament pentru prelucrarea găurilor și microgăurilor curbe prin electroeroziune asistată de ultrasunete*, Brevet 2016, disponibil la: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/057351231/publication/RO131489A0?q=ghiculescu> accesat la: 6.04.2020
- [4] Ghiculescu L.D., Marinescu N.I., Alupei O.D., Popa L., *Echipament pentru prelucrarea suprafețelor elicoidale prin electroeroziune asistată de ultrasunete*, Brevet, 2016, disponibil la <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/057351257>, accesat la: 6.04.2020
- [5] Ionescu, N., *Nanotehnologii pentru fabricarea produselor*, curs, master INPN, anul I, 2019, disponibil la: <https://fiir.curs.pub.ro/2019/>, accesat la: 6.05.2020.
- [6] Ding H.J; Fu H.; Jiang F.; Ma Y.; Zhao Q.; ZhaoW., *Ultrasonic torsional vibration deep hole boring device*, Brevet, 2007, disponibil la: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/050219359/>, accesat la: 26.04.2020
- [7] Mackool R, James Y.C., *Torsional Ultrasound Hand Piece That Eliminates Chatter*, Brevet, 2006, disponibil la <https://patents.google.com/patent/US20100324581A1/en>, accesat la: 26.04.2020
- [8] K. Ragulskis, K. Kanapeckas, R. Jonušas, K. Juzėnas, *Applications of torsional vibrations for vibro-drilling operations*, Brevet, 2011, disponibil la: <http://mechanika.ktu.lt/index.php/Mech/article/view/726> accesat la: 26.04.2020.