

Mašinski fakultet  
Univerziteta u Nišu

Faculty of Mechanical Engineering  
University of Nis

27. Savetovanje proizvodnog maštva  
Jugoslavije sa mejunarodnim učesjem  
27. Conference on Production Engineering  
of Yugoslavia with foreign participants



Dobro došli >>>>

Welcome >>>>



Copyright CIM TTC lab. Mašinskog fakulteta u Nišu

Autori: Ivan Mitić, dipl.ing.el, sa saradnicima CIM TTC-a i studentima Mašinskog fakulteta

**Radovi**  
Radovi



*- Spisak radova po oblastima*

*- Spisak autora*



**povratak na meni**

# Spisak autora

Vilotić Dragiša, (1) (2) (3) (4)  
Vučičević Miroslav,  
Vujanac Srećko,  
Vujović Vlado, (1) (2) (3) (4)  
Vukčević Milan,  
Vukajlović Miloš,  
Vukićević Dušanka,  
Vuksanović Sava,  
Vulićević Ljubomir,  
Z  
Zakharov N.V., (1) (2) (3) (4) (5)  
Zdravković Milan,  
Zebrowski H., (1) (2)  
Zeljković Željko,  
Zeljković Milan,  
Zeljković Vladimir,  
Zindović Milojica,  
Zoran Milojević,  
Ž  
Živanović Saša,  
Živković Radiša,  
Živković Srđan,  
Žmiko Milena,



**povratak na meni**

## Obrada metala plastičnom deformacijom (1)

- Živanović Saša  
**Prilog proračunu dinamike noseće strukture paralelne masine alatke**
- Šljivić Milan  
**THIXO deformisanje, tehnološki izazov**
- Adamović Dragan, Milentije Stefanović, Miodrag Petrović  
**Analiza naponsko-deformacionog stanja dubokog izvlačenja sa stanjenjem zida metodom gomje procene**
- Aleksandrović Srbislav, Milentije Stefanović  
**Obradivost tankih limova izvlačenjem pri promenljivim kontaktnim uslovima**
- Bogdanov Ljubomir, Ljubodrag Đorđević  
**Perspektive razvoja kovanja u hladnom stanju**
- Domazetović Vuko, Milan Vukčević, Mileta Janjić  
**Prilog istraživanju zapreminskog deformisanja primjenom metode diskretizacije**
- Eparu Ion, Bogdan Eparu  
**The Shakedown of Pipes with Thin Walls - Elastična prilagodljivost cevi sa tankim zidovima**
- Gusel Leo  
**Mehaničke karakteristike hladno deformisane legure CuCrZr**
- Hedrih Katica  
**O modelima rezanja sa naslednim vezama i vibroudarnim elementima**



**Spisak radova po oblastima**

**povratak na meni**

**Spisak autora**

Живановић С.<sup>1</sup>

## ПРИЛОГ ПРОРАЧУНУ ДИНАМИКЕ НОСЕЋЕ СТРУКТУРЕ ПАРАЛЕЛНЕ МАШИНЕ АЛАТКЕ

*Резиме*

У оквиру рада се разматра динамичко понашање паралелне машине алатке, и то механизма и носеће структуре. Током рада је развијен читав систем модела раванских и просторних, који се користе у прорачуну, у различитим програмским окружењима за прорачун применом метода коначних елемената (MEKELBA III, ALGOR и Pro/Mehanica).

Кључне речи: паралелна машина алатка, метод коначних елемената

## The Contribution to Computation of Supporting Structure Dynamics of Parallel Machine Tool

*Summary*

The dynamics behavior of parallel Machine Tool is considered in this paper, both mechanism and supporting structure. In the paper, the whole system of models planar and space is developed, used in the computation, in different program environments for computation by the use of finite element method (MEKELBA III, ALGOR and Pro/MECHANICA).

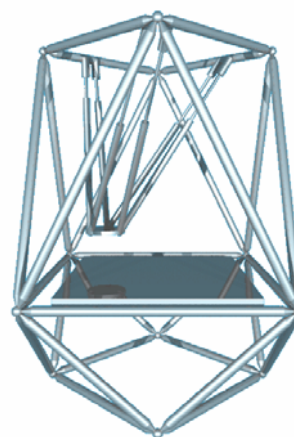
Key words: parallel machine tool, finite element method

### 1.0 УВОДНЕ НАПОМЕНЕ НА ПРИМЕРУ ПРОТОТИПА ПАРАЛЕНЕ МАШИНЕ АЛАТКЕ

Паралелне машине алатке, припадају новој генерацији машина, код којих структура машине и актуатори делују паралелно. Ове машине су способне за обављање до скоро незамисливо сложених задатака у машинској обради. За разлику од традиционалних машина алатки код којих главно вретено прати правац вођица, главно вретено код паралелних машина алатки се покреће управљањем и слагањем кретања по 6 виртуалних оса, одговарајућом програмском подршком. Нове машине имају неслућену агилност и покретљивост у току обраде.

У оквиру овог рада разматра се једна реална концепција машине алатке са паралелним механизмом, чија је носећа структура реализована у облику решетке, састављене углавном из троуглова (слика 1.). Тип примењеног стјуартовог механизма је Хехапод, и представља прототип који је урадила LME (Laboratory for Micro Enterprise) [5].

Могуће су различите конфигурације самог паралелног механизма. Једна од најчешћих структура приказана је на слици 1, уз напомену, да је по нешто од горњег дела структуре, ногу, као и постоља изостављено због јасноће.



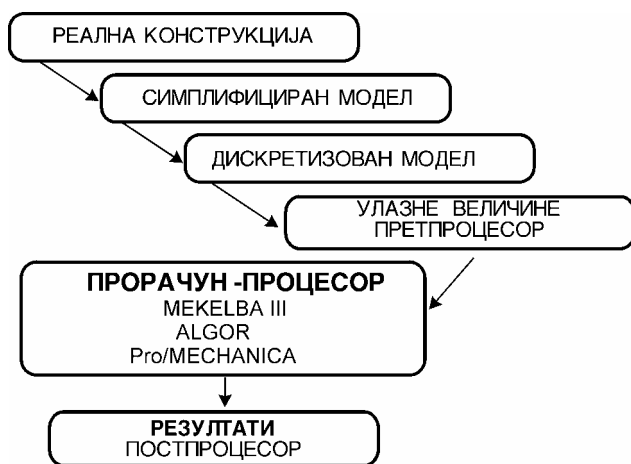
Слика 1. LME  
Hexapod Machine [5]

<sup>1</sup> Živanović Saša, dipl.maš.inž., Katedra za Proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu, 27. Martra 80, e-mail: ZIVANOS@CENT.MAS.BG.AC.YU

Носеће структуре машинских конструкција састављене су од више основних, или базних елемената. Ови елементи обједињују и обезбеђују релативни положај свих осталих елемената. У експлоатацијским условима конструкције, у носећој структури се затвара ток статичких и динамичких сила.

## 2.0 СИСТЕМ МОДЕЛА

Метод КЕ у неком од програмских пакета који се баве овом проблематиком подразумева одређен процес моделовања носеће структуре неке конструкције. Тај процес садржи низ активности, од анализе конструкције



слика 2. Редослед активности моделирања и добијања резултата

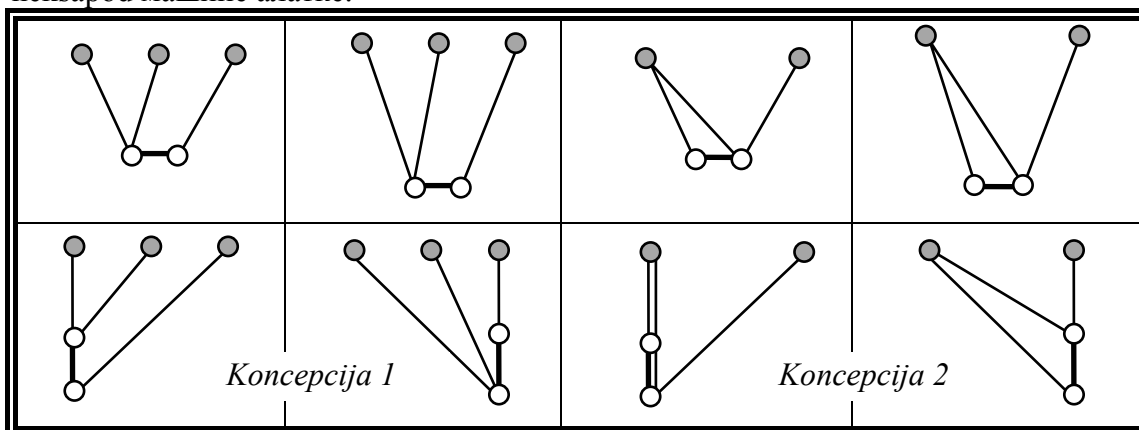
реалног физичког модела, до добијања резултата прорачуна. Активности у процесу моделовања и пута до добијања резултата приказане су на слици 2.

За носећу структуру LME Нехарод машине алатке, приказане на слици 1, очигледно је да се ради о просторној решетки чије се цеви у структури могу моделирати као греде (*beam*), с обзиром да ће у експлоатацији бити оптерећене како аксијално тако и на сложено савијање.

Модел је са 4 ослоне чворне тачке укљештен за

подлогу, чиме су дефинисана ограничења. Материјал носеће структуре је челик  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ ,  $E = 2.1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ .

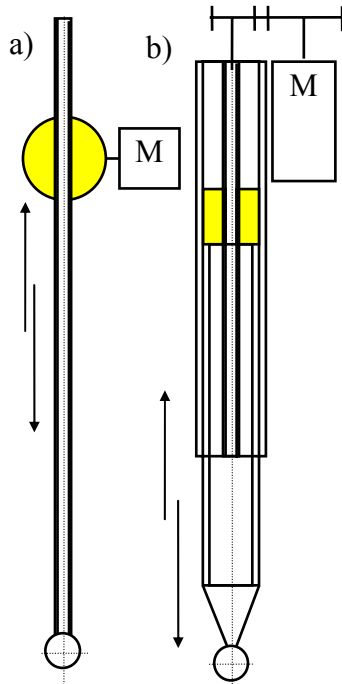
Овде је интересно посматрати феномен крутости паралелног механизма у односу на серијске. Најпре је извршено упрошћавање паралелног механизма на равански случај уз разматрање две карактеристичне концепције. При томе су основне димензије базе и платформе задржане од реалног механизма LME *heksapod* машине алатке.



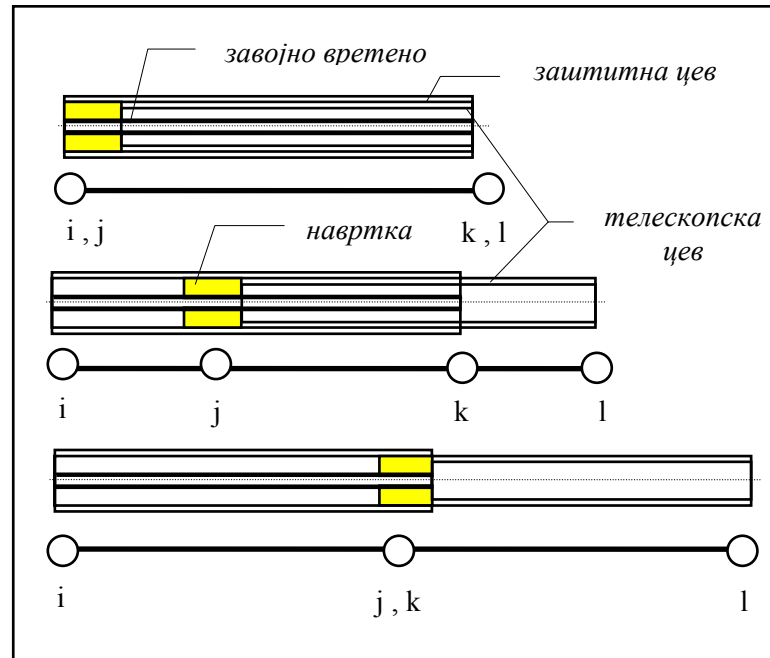
Слика 3. Приказ раванских механизма за две различите концепције [6]

Приказани модел се разматра као закључан механизам што значи да платформа има фиксну позицију и оријентацију, па целокупну структуру машине - носећу структуру + паралелни механизам, третирамо као једну просторну решетку. Конфигурација актуатора може бити са покретним вретенима, која су

пролазна кроз горњи зглоб у коме је смештен и погон у оси ноге (слика 4-a). Друга конфигурација има обртно завојно вретено транслаторно непокретно уз покретну навртку која омогућава извлачење телескопских цеви ногу механизма. Пример за ову другу конфигурацију ноге је управо разматрани модел LME Нехарод машине алатке.



Слика 4. Две конфигурације актуатора за ногу паралелних механизма



Слика 5. Шематски приказ моделирања ногу паралелног механизма за три посматрана случаја

Ноге паралелног механизма за модел LME Нехарод-а се могу разматрати за нека три карактеристична положаја (слика 5): максимално увучене ноге, средњи положај ногу и максимално извучене ноге. Пошто се ради о ногама механизма које своју дужину мењају телескопским извлачењем, за различите положаје телескопске цеви постојаће и различити попречни пресеци механизма. Због тога ће механизам у укупном моделу бити моделиран за три горе поменути случаја. У првом ће се поклапањем по две чворне тачке модел ноге свести на један део са једним попречним пресеком. У другом ће се разликовати три попречна пресека, што одговара средњем положају. У трећем се поклапају средишње чворне тачке па се нога своди на два елемента са различитим попречним пресецима. На слици 5. су приказана ова три карактеристична положаја ноге механизма, као и одговарајућа дискретизација за модел ногу који ће током прорачуна бити коришћен.

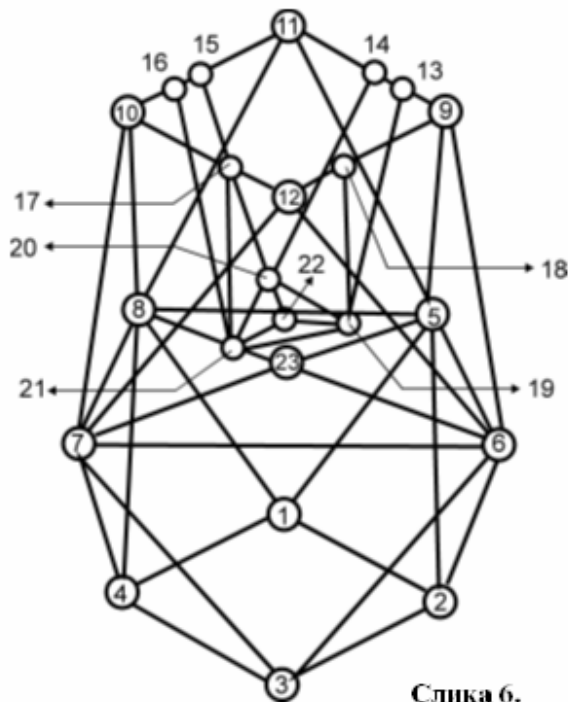
У табели Таб I су дати облици попречних пресека са димензијама, површином, аксијалним моментима инерције и поларним моментима инерције, за разматрани модел целокупне структуре модела LME Нехарод машине алатке, који ће у даљем раду бити коришћени у току прорачуна. За раванске моделе важе попречни пресеци: за ноге (нога 1  $\phi 20$ ) и платформа ( $\phi 40$ ). Код раванских модела су концентрисане масе постављене у обе чворне тачке (по 10 кг) на платформи, док су код просторних модела концентрисане масе постављене у чворним тачкама 13 до 18 (по 10 кг од серво мотора) и 22 (20 кг од вретеништа).

Таб I Карактеристике попречних пресека греда

пресек	стубови	платформа	нога 1 (зав.вр.)	нога2 (телеск/зав.вр.)	нога3 (телескоп)
Дим. [mm]	φ55 / φ38 и φ20	φ40	φ20	φ47 / φ38 и φ20	φ47 / φ38
A [m <sup>2</sup> ]	1.4332e-3	1.2566E-3	3.1416e-4	9.1499e-4	6.0083e-4
I <sub>x</sub> [m <sup>4</sup> ]	3.3135e-7	1.2566e-7	7.854e-9	1.4503e-7	1.3718e-7
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ]	3.3135e-7	1.2566e-7	7.854e-9	1.4503e-7	1.3718e-7
I <sub>T</sub> [m <sup>4</sup> ]	6.6271e-7	2.5133e-7	1.5708e-8	2.9006e-7	2.7435e-7

Таб. II Координате чворних тачака

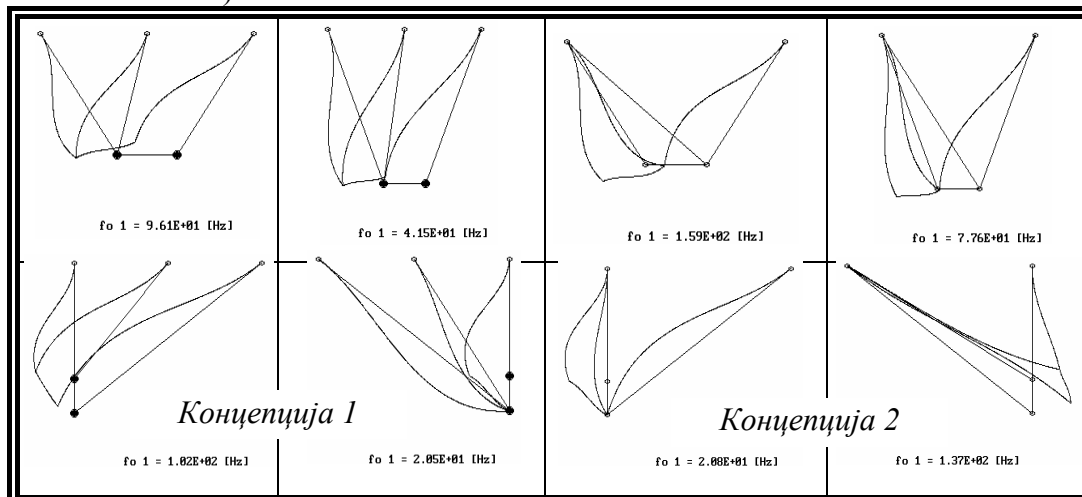
Рбр.	X [m]	Y [m]	Z [m]
1	0	0	-0.75
2	0.75	0	0
3	0	0	0.75
4	-0.75	0	0
5	0.6	0.725	-0.6
6	0.6	0.725	0.6
7	-0.60	0.725	0.6
8	-0.6	0.725	-0.6
9	0	2.3	-0.75
10	-0.75	2.3	0
11	0	2.3	0.75
12	0.75	2.3	0
13	0.6	2.3	-0.149
14	0.406	2.3	-0.341
15	-0.406	2.3	-0.341
16	-0.6	2.3	-0.149
17	-0.1125	2.3	0.6375
18	0.1125	2.3	0.6375
19	0.130	1.25	0.075
20	0	1.25	-0.150
21	-0.130	1.25	0.075
22	0	1.25	0
23	0	0.725	0



Слика 6. LME модел

### 3.0 РЕЗУЛТАТИ ПРОРАЧУНА

У току рада извршен је најпре динамички прорачун раванског паралелног механизма, за по 4 карактеристична положаја двеју концепција. При томе је исти модел пропустан кроз различита окружења као што су (MEKELBA, ALGOR и Pro/MECHANICA).



Слика 7. Приказ првих облика осциловања за модел раванског паралелног механизма са гредама у MEKELBI

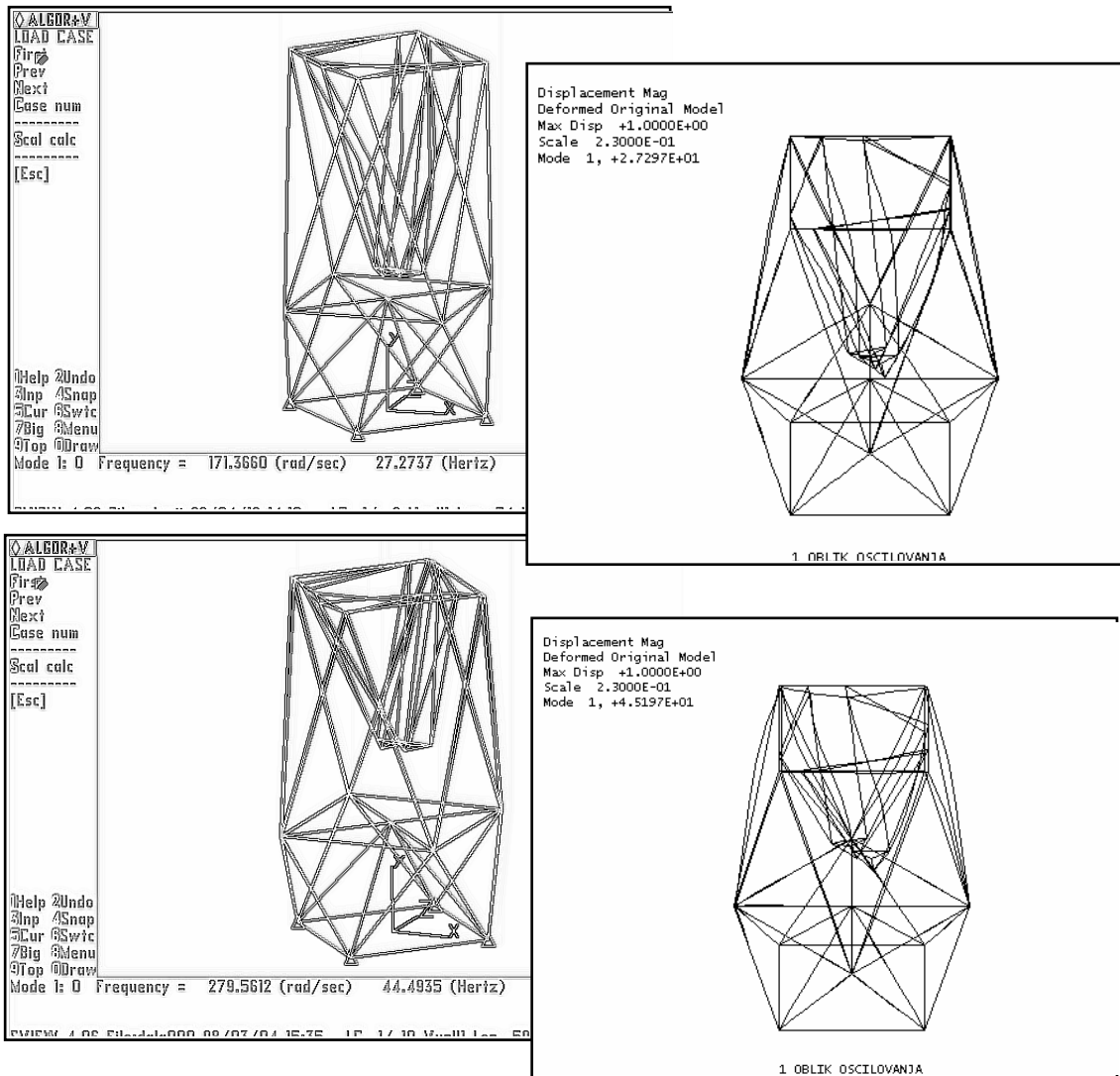
Прорачун је најпре остварен у MEKELBI применом штапова. Пошто штапови због појаве сингуларних положаја и немогућности затварања троуглова у тим положајима дају нереално ниске сопствене фреквенце, за даљи прорачун су усвојени модели са гредама.

Таб III Резултати прорачуна раванског паралелног механизма - концепција 1

MEKEL штапови	MEKEL греде	ALGOR греде	Pro/MEC греде	MEKEL штапови	MEKEL греде	ALGOR греде	Pro/MECH греде
98.3	96.1	96.9047	90.143	43.3	41.5	42.1801	47.477
109	102	105.7953	113.6542	<b>0.584</b>	20.5	22.2566	33.739

Таб IV Резултати прорачуна раванског паралелног механизма - концепција 2

MEKEL штапови	MEKEL греде	ALGOR греде	Pro/MEC греде	MEKEL штапови	MEKEL греде	ALGOR греде	Pro/MECH греде
164	159	160.6020	165.56	81.3	77.6	78.4559	75.831
<b>1.22</b>	20.8	22.4454	20.239	135	137	130.6648	139.71



Слика 8. Графички приказ првих облика осциловања за крајње положаје у ALGOR-у и Pro/MECHANICI

#### 4.0 ЗАКЉУЧНЕ НАПОМЕНЕ

Рад представља анализу једне реалне конструкције LME Hexapod машине алатке, за коју је на основу расположивих података истраживача реконструисан прорачунски модел, и извршен динамички прорачун решеткасте конструкције уз приказ добијених резултата. У раду су приказани добијени резултати од раванског механизма до целокупног просторног модела и то преко графичких приказа екрана са облицима социловања(сл. 7 и 8), као и преко упоредних табела (Таб III, IV и V). Вредност сопствених фреквенци по очекивању опада са извлачењем ногу механизма. У разматрању модела боља конвергенција резултата се добија када се једна греда истог или различитих попречних пресека издели на већи број коначних елемената. Пример за ово су резултати за положај средњи.

Ваља напоменути да је разматрана машина прототип паралелне машине алатке намењене пре свега за обраду дрвета и неферитних материјала. То значи да је ово машина за лабораторијска истраживања и да би до комерцијалне примене требала да прође кроз још неколико итерација. У некој даљој итерацији ишло би се на повећање вредности сопствених фреквенција облика осциловања и крутости машине варирањем изабраних параметара. Паралелне машине алатке се пре свега користе у индустрији прераде метала, при обради врло сложених површина, тако да машине у комерцијалној примени (INGERSOLL, VARIAX и др.) имају прве облике осциловања са сопственим фреквенцијама и преко 200 Hz.

#### 5.0 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Живановић С.,Главоњић М., Преглед модерних брзоходних машина алатки, 22. ЈУПИТЕР Конференција, Зборник радова, Машински факултет, Београд, 1996, стр. 3.47-3.52
- [2] Калајџић М., MEKELBA III, Метод коначних елемената у BASIC-у, Грађевинска књига, Београд, 1990.
- [3] Pro/MECHANICA, STRUCTURE, User's Guide, Release 16.0, PTC, 1996.
- [4] <http://www.hexel.com/>
- [5] <http://www.i-way.co.uk/~Storrs/lme/LMEHexapodMachine.html>
- [6] Живановић С., Динамичко понашање паралелног механизма и структуре паралелне машине алатке, Семинарски рад, Машински факултет, Београд, 1998.

Таб V Резултати првих 6 вредности сопствених фреквенци

положај	Pro / MECHANICA	ALGOR
г о р њ и	1. 4.519656e+01	1. 4.4494E+01
	2. 4.885603e+01	2. 4.9942E+01
	3. 5.973746e+01	3. 5.9940E+01
	4. 6.087775e+01	4. 6.0546E+01
	5. 6.921174e+01	5. 9.5643E+01
	6. 7.074381e+01	6. 1.1937E+02
с р е д њ и	1. 3.065295e+01	1. 3.1028E+01
	2. 4.212904e+01	2. 4.2806E+01
	3. 5.362993e+01	3. 5.4966E+01
	4. 5.610425e+01	4. 5.5066E+01
	5. 5.983760e+01	5. 5.9248E+01
	6. 6.078320e+01	6. 5.9355E+01
д о њ и	1. 2.729744e+01	1. 2.7274E+01
	2. 3.971701e+01	2. 3.8899E+01
	3. 5.156378e+01	3. 4.6437E+01
	4. 5.174617e+01	4. 4.8609E+01
	5. 5.784874e+01	5. 5.0408E+01
	6. 5.835075e+01	6. 5.1353E+01