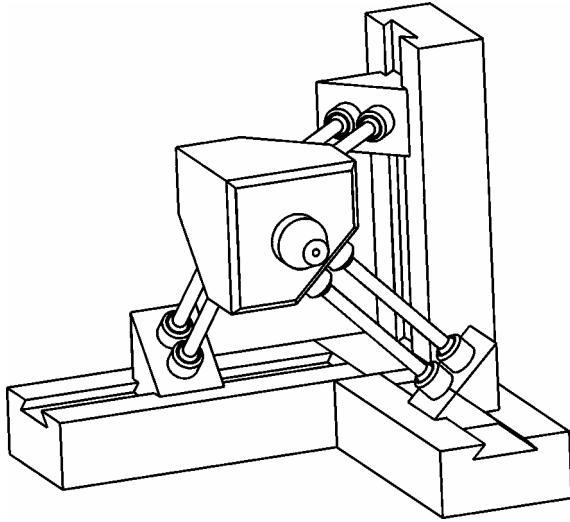


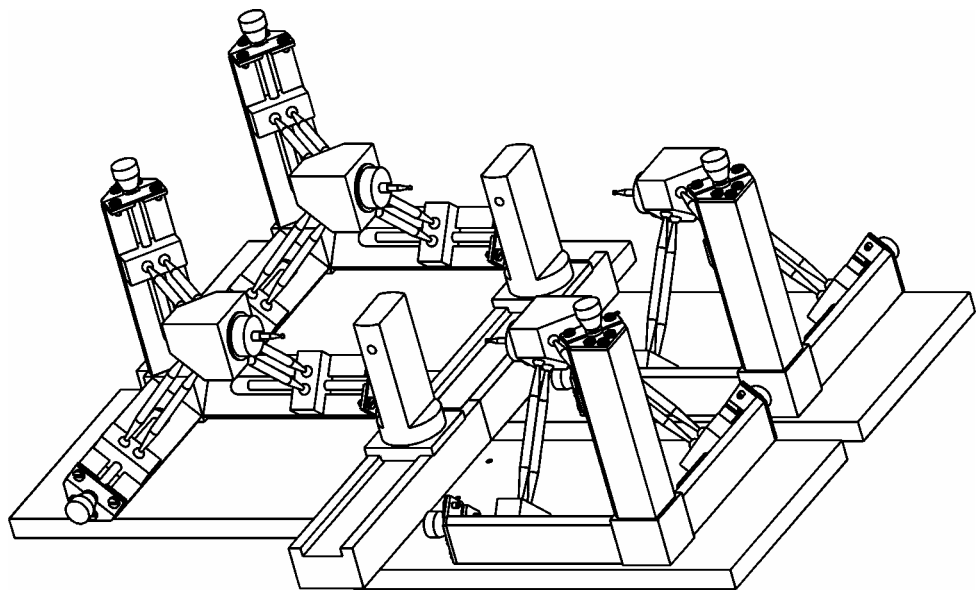
UNIVERZITET U BEOGRADU
MAŠINSKI FAKULTET



Saša Živanović

Magistarska teza

TEHNOLOŠKI MODUL SA PARALELNIM MEHANIZMOM



Beograd, 2000.

**UNIVERZITET U BEOGRADU
MAŠINSKI FAKULTET**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:
RBR
Identifikacioni broj:
IBR
Tip dokumentacije: Monografska publikacija
TD
Tip zapisa: Tekstualni štampani materijal
TZ
Vrsta rada: Magistarska teza
VR
Autor: Saša Živanović, dipl.maš.inž.
AU
Mentor/Komentor: Prof. Dr Miloš Glavonjić
MN

Naslov rada: **TEHNOLOŠKI MODUL SA PARALELNIM
NR MEHANIZMOM**

Jezik publikacije: srpski
JP
Jezik izvoda: srpski/engleski
JI
Zemlja publikovanja: Jugoslavija
ZP
Uže geografsko područje: Srbija
UGP
Godina: 2000.
GO
Izdavač: Autorski reprint
IZ
Mesto i adresa: 11000 Beograd, YU, 27. marta 80
MA
Fizički opis rada:
(broj poglavlja/strana/lit.citata/slika/tabela/priloga) 7/248/95/270/32/5
FO
Naučna oblast: Proizvodno mašinstvo
NO
Naučna disciplina: Mašine sa paralelnom kinematikom
ND
UDK 681.323.621.91(043.2)

Predmetna odrednica/Ključne reči:
PO

Čuva se:
ČU

Važna napomena:
VN

Izvod:
IZ

paralelni mehanizam (Stjuartova platforma),
mašina sa paralelnom kinematikom (MPK),
tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom,
holon, agilni tehnološki sistem
u Biblioteci Mašinskog fakulteta u Beogradu,
YU, 11000 Beograd, 27. marta 80
nema

Predmet teze je obradni sistem sa mašinom
alatkom, koja je sagrađena pomoću paralelnog
mehanizma, potrebnih pogona, prenosnika i
pripadajućeg uparvljanja. Takav obradni sistem ima,
po pravilu, šest osa i kinematički je redudantan u
odnosu na većinu metoda obrade rezanjem, koji se
ostvaruju tradicionalnim mašinama alatkama.
Ugrađeni paralelni mehanizam ima paralelne ose, pa
se za ovakve mašine alatke kaže da imaju virtuelne
ose. Ta virtualnost je posledica principa rada
paralelnog mehanizma. Prvi put se pojavljuje na
ovakvim mašinama alatkama. Svojtvena joj je
neuparenost osa mašine i potrebnih kretanja alata u
odnosu na obradak u programiranju. Do sada je bilo
uobičajeno jedinično preslikavanje sa potrebnih
koordinatnih kretanja u Dekartovom koordinatnom
sistemu obratka na raspoloživa kretanja na mašini,
jer su u tradicionalnim mašinama alatkama bili
ugrađeni serijski ortogonalni mehanizmi.

Na osnovu uvida u postojeća dostignuća u
pogledu realizacije mašina alatki sa paralelnom
kinematikom, i sopstvenih istraživanja, u radu se
prava znanja planiraju ostvariti metodom nedovršene
konceptije, koji bi se mogao iskazati kao pristup po
kome je bolje samostalno koncipirati i u gradnji
odmaći dovoljno daleko na svojoj konceptiji, umesto
da se kupi tuđi nedovršeni proizvod. Radi toga je i
planirano konstruisanje odgovarajućeg tehnološkog
modula sa paralelnim mehanizmom. Ideja je da se
iskoriste raspoloživi resursi tradicionalne tehnološke
opreme na netradicionalan način, da bi se napravio
sopstveni eksperimentalni i edukacioni sistem, bez
upuštanja u razvoj i gradnju tipskih komponenata za
komunikaciju, programiranje, pogon i upravljanje.

Datum prihvatanja teme od strane
Naučno-nastavnog veća:

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

Prof. Dr Milisav Kalajdžić,
Mašinski fakultet Beograd
Prof. Dr Dragan Milutinović,
Mašinski fakultet Beograd
Prof. Dr Miloš Glavonjić, mentor,
Mašinski fakultet Beograd

**UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING**

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Type of record:

TR

Content code:

CC

Author:

AU

Menthor/Komenthor:

MN

Monographic publication

Textual material printed

M. Sc. thesis

Saša Živanović, B. Sc. in mech. eng.

Professor Dr Miloš Glavonjić, Ph. D.

Title:

TI

**Manufacturing Module with Parallel
Mechanism**

Language of text:

LT

Language of abstract:

LA

Country of publication:

CP

Locality of publication

LP

Publication year:

GO

Publisher:

PY

Publication place:

PP

Physical description:

(chapter/page/literature/pictures/tables/add.lists)

PD

Scientific field:

SF

Scientific discipline:

SD

UDK

serbian

serbian/english

Yugoslavia

Serbia

2000.

Author's reprint

11000 Belgrade, YU, 27. marta 80

7/248/95/270/32/5

Production engineering

Parallel kinematic Machine

681.323.621.91(043.2)

Subject/Key words:
SKW

Parallel mechanism (Stewart platform), Parallel kinematic Machine (PKM), Manufacturing Module with Parallel Mechanism, Holon, Agile Manufacturing System

Holding data:
HD

on the library of Mechanical Engineering Faculty in Belgrade,
YU 11000 Belgrade, 27. marta 80

Note:
NO

Abstract:
AB

The subject of this thesis is the machining system with machine tool, designed by the parallel mechanism necessary motors, transmission and corresponding control. Such processing system has got, by the rule, six axes and it is kinematic redundant in relation to most methods of cutting which is carried out by traditional machine tools. Incorporated parallel mechanism has got parallel axes, so these machine tools are said to have virtual axes. This virtuality is the consequence of parallel mechanism working principle. This is the first time it appears on such machine tools. Its characteristic is difference between machine axes and necessary tool movements in relation to workpiece in programming. Until present times the unit mapping from necessary movement coordinates in Decart coordinate system on available machine movements was possible, because in traditional machine tools serial ortogonal mechanisms were incorporated.

On the basis of insight into already existing accomplishment in realizing machine tools with parallel kinematics and my own researches this paper plan to carry out real knowledge by the method of unfinished concept, which it is better to make self concepts and develop further this conception instead of buying somebody else's unfinished product. That is why designing of certain manufacturing module with parallel mechanism was planned. The idea is to use available resources of traditional manufacturing equipment in an untraditional an educational system without getting into dvelopment and building of typical components for communication, programming motors, and control.

Accepted by the Scientific board on:
ASB

Defended on:
DE

Thesis defended board:
KO

Professor Dr Milisav Kalajdžić, Ph. D.,
Faculty of mechanical engineering, Belgrade
Professor Dr Dragan Milutinović, Ph. D.,
Faculty of mechanical engineering, Belgrade
Professor Dr Miloš Glavonjić, Ph. D., supervisor,
Faculty of mechanical engineering, Belgrade

SADRŽAJ

| | |
|---|----------|
| UVOD | 1 |
| 1. SISTEMATIZACIJA KONCEPCIJA TEHNOLOŠKIH MODULA SA PARALELNIM MEHANIZMOM | 7 |
| 1.1 POJAM I ISTORIJAT PARALELNOG MEHANIZMA | 7 |
| 1.2 PRIMENE PARALELNOG MEHANIZMA | 10 |
| 1.2.1 Primena paralelnog mehanizma za nove generacije mašina alatki i robota | 13 |
| 1.3 ANALIZA IZVEDENIH REŠENJA MAŠINA ALATKI NA BAZI TEHNOLOŠKOG MODULA SA PARALELNIM MEHANIZMOM | 19 |
| 1.3.1 Prve mašine alatke sa paralelnom kinematikom | 21 |
| 1.3.2 Novi koncept mašine alatke za obradu velikim brzinama | 24 |
| 1.3.3 "HEXACT" - kao tehnološki modul za obradu rezanjem | 27 |
| 1.3.4 "TRICEPT - TRIPOD" tehnološki moduli | 29 |
| 1.3.5 "LINAPOD" mašina sa paralelnom kinematikom | 30 |
| 1.3.6 Mašina za troosnu obradu "TRIAGLIDE" | 30 |
| 1.3.7 "HEXAGLIDE" MAŠINA SA PARALELNOM KINEMATIKOM | 31 |
| 1.3.8 "HEXA M Toyoda" | 33 |
| 1.3.9 MPK i krivolinijskim aktuatorima | 34 |
| 1.4 SISTEMATIZACIJA KONCEPCIJA PARALELNIH MEHANIZAMA | 35 |
| 1.4.1 Varijantnost paralelnih mehanizama | 35 |
| 1.4.2 Metodologija sistematizacije paralelnih mehanizama | 39 |
| 1.5 PRIMENA MODULARNOG KONCEPTA U PROJEKTOVANJU TEHNOLOŠKIH MODULA SA PARALELNIM MEHANIZMOM | 50 |
| 1.5.1 Opšti pristup modularnom konceptu | 50 |
| 1.5.2 Koristi primene modularnog principa | 52 |
| 1.5.3 Modularna struktura mašina sa paralelnom kinematikom | 53 |
| 1.5.4 Primena morfološke metode u koncipiranju tehnoloških modula sa paralelnim mehanizmom | 56 |
| 1.6 KONCIPIRANJE BAZE ZNANJA O TEHNOLOŠKIM MODULIMA SA PARALELNIM MEHANIZMOM | 60 |
| 1.6.1 Predstavljanje - prezentacija znanja | 60 |
| 1.6.2 Internet kao globalna baza informacija | 60 |
| 1.6.3 Tehnološki moduli sa paralelnim mehanizmima na Internetu | 63 |

| | |
|---|-----------|
| 2. MODELI TEHNOLOŠKIH MODULA SA PARALELNIM MEHANIZMOM | 67 |
| 2.1 PROCESIRANJE MODELA | 67 |
| 2.1.1 Konceptijske odlike savremenih sistema za automatizovano projektovanje | 67 |
| 2.1.2 Modeliranje proizvoda | 68 |
| 2.1.3 Modeliranje tehnologije | 70 |
| 2.1.4 Opis geometrije brojevima u standardnim formatima | 73 |
| 2.1.5 Koordinatne ose serijskih i paralelnih mašina alatki | 74 |
| 2.2 MOGUĆA INTEGRISANA METODOLOGIJA ZA PROJEKTOVANJE MAŠINA SA PARALELNOM KINEMATIKOM | 76 |
| 2.3 OŠTI KINEMATIČKI MODELI MAŠINA SA PARALELNOM KINEMATIKOM | 79 |
| 2.3.1 Inverzni kinematički problem | 80 |
| 2.3.2 Direktni kinematički problem | 83 |
| 2.3.3 O dinamici mašina sa paralelnom kinematikom | 84 |
| 2.4 OPŠTI FIZIČKI MODEL MAŠINE S PARALELNOM KINEMATIKOM | 86 |
| 2.5 NEKI PRIMERI MODELIRANJA I PRORAČUNA KONSTRUKCIJA PARALELNIH MEHANIZMAMA PRIMENOM METODA KONAČNIH ELEMENATA | 90 |
| 2.5.1 Opšti modeli paralelnog mehanizma - Heksapoda | 90 |
| 2.5.2 Proračun opšteg modela paralelnog mehanizma i noseće konstrukcije mašine sa paralelnom kinematikom | 93 |
| 2.6 UOPŠTAVANJE MODELA MAŠINE SA PARALELNOM KINEMATIKOM | 102 |
| 2.6.1 Pokazna konfiguracija mašine sa paralelnom kinematikom | 102 |
| 2.6.2 Analiza detalja uopštenog modela | 102 |
| 3. KONCIPIRANJE PROTOTIPA TEHNOLOŠKOG MODULA SA PARALELNIM MEHANIZMOM | |
| 3.1 ANALIZA HIPOTEZE O GRADNJI MAŠINE SA PARALELNOM NA BAZI MAŠINE SA SERIJSKOM KINEMATIKOM | 107 |
| 3.2 RAVANSKI 2D PARALELNI MEHANIZAM | 108 |
| 3.2.1 Inverzni kinematički problem 2D paralelnog mehanizma | 109 |
| 3.2.2 Direktni kinematički problem 2D paralelnog mehanizma | 110 |
| 3.3 KONSTRUISANJE EDUKACIONOG 2D TEHNOLOŠKOG MODULA SA PARALELNIM MEHANIZMOM | 111 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.4 | KINEMATIKA 3D TEHNOLOŠKOG MODULA SA PARALELNIM MEHANIZMOM | 116 |
| 3.4.1 | Ošti pristup rešavanju inverzne kinematike 3D MPK | 116 |
| 3.4.2 | Model za rešavanje inverzne i direktne kinematike 3D MPK | 121 |
| 3.4.3 | Rešenje inverzne kinematike 3D MPK | 123 |
| 3.4.4 | Rešenje direktne kinematike 3D MPK | 124 |
| 3.5 | IDEJNO REŠENJE PROTOTIPA EDUKACIONOG 3D MPK TEHNOLOŠKOG MODULA | 127 |
| 3.5.1 | PRENOS KRETANJA SA BAZNE MAŠINE NA TEHNOLOŠKI MODUL | 132 |
| 3.5.2 | Realizacija jednog modela 3D mašine sa paralelnom kinematikom | 133 |
| 3.6 | KOMPLET EDUKACIONOG TEHNOLOŠKOG MODULA | 137 |
| 4. | EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE TEHNOLOŠKOG MODULA SA PARALELNIM MEHANIZMOM | 139 |
| 4.1 | EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE 2D MPK HBG | 139 |
| 4.1.1 | Radni prostor 2D paralelnog mehanizma | 139 |
| 4.1.2 | Simulacija kinematike 2D paralelnog mehanizma | 145 |
| 4.1.3 | Linearna interpolacija 2D MPK HBG | 149 |
| 4.1.4 | Kružna interpolacija 2D MPK HBG | 150 |
| 4.1.5 | Test kontura za 2DMPK HBG | 153 |
| 4.2 | EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE 3D MPK | 159 |
| 4.2.1 | Radni prostor 3D MPK | 159 |
| 4.2.2 | Primer izrade modela radnog prostora na 3D MPK | 162 |
| 4.2.3 | Radni prostor 3D MPK na bazi direktne kinematike | 163 |
| 4.2.4 | Linearna interpolacija 3D MPK HBG | 165 |
| 4.2.5 | Kružna interpolacija 3D MPK HBG | 167 |
| 5. | KONCEPCIJA AGILNOG TEHNOLOŠKOG SISTEMA HOLONSKE KONFIGURACIJE SA TEHNOLOŠKIM MODULIMA | 169 |
| 5.1 | OSNOVNI POJMOVI | 169 |
| 5.1.1 | Pojam agilnosti | 169 |
| 5.1.2 | Fleksibilni tehnološki sistem | 170 |
| 5.1.3 | Pojam holona i holonskih tehnoloških sistema | 171 |
| 5.1.4 | Struktura holonskih tehnoloških sistema | 172 |
| 5.2 | AGILNOST TEHNOLOŠKOG SISTEMA | 174 |
| 5.2.1 | Koncepcija jednog agilnog tehnološkog sistema | 175 |
| 5.2.2 | Mašina alatka kao ekvivalent holonskoj obradnoj jedinici | 177 |
| 5.3 | HOLONSKA STRUKTURA ZA KONCEPT AGILNIH TEHNOLOGIJA | 179 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 5.4 | UKLJUČIVANJE NOVIH VEŠTINA I TEHNOLOGIJA GLOBALIZACIJE | 185 |
| 5.5 | PRIKAZ MOGUĆE HOLONIZACIJE OBRADNIH SISTEMA NOVE GENERACIJE | 187 |
| 5.6 | 3D MPK KAO TEHNOLOŠKI MODUL OBRADNIH SISTEMA NOVE GENERACIJE | 190 |
| 6. | ZAKLJUČAK | 193 |
| 7. | LITERATURA | 199 |
| | PRILOG | 205 |
| P1.0 | NAJČEŠĆE POMINJANA IZVEDENA REŠENJA MAŠINA S PARALELNO KINEMATIKOM - HEKSAPODI | 205 |
| P2.0 | PRIMENA METODOLOGIJE OPISIVANJA STRUKTURE PARALELNIH MEHANIZAMA | 216 |
| P3.0 | SKLOPNI CRTEŽI IDEJNIH REŠENJA ZA MPK | 219 |
| P4.0 | PROGRAMI ZA RAZLIČITA IZRAČUNAVANJA TOKOM IZVOĐENJA EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA | 223 |
| P5.0 | SLIKE I ZAPISNICI TOKOM EKSPERIMENTA | 243 |