

STATIČKA KRUTOST OBRADNOG SISTEMA-FAKTOR KVALITETA U PROIZVODNJI ELEMENATA TRANSPORTNIH SREDSTAVA

SarvanMuhamed

Internacionalni univerzitet Travnik, Bunar b.b., Travnik

Sažetak:

U radu su dati kondenzovani rezultati istraživanja uticaja nekih faktora (krutost oslonaca, veličina opterećenja) na statičko ponašanje nosećih struktura obradnih sistema u proizvodnji elemenata transportnih sredstava. Problem je bio postavljen prvo teorijski, preko odgovarajućeg matematičkog modela, stvorenog metodom konačnih elemenata, korištenjem programskog paketa ALGOR-FEA, a ispravnost matematičkog modela je potom i eksperimentalno bila potvrđena.

Ključne riječi: krutost, obradni sistem, kvalitet, noseće strukture, modeliranje

STATIC STIFFNESS IN MACHINING SYSTEM AS A FACTOR OF QUALITY IN THE PRODUCTION OF TRANSPORT ELEMENTS

Abstract

This paper presents results of a research on the influence of some factors (support stiffness, load capacity) on the static behavior of supporting structure of machining system in the production of transport elements. The problem has been presented theoretically first, through the adequate mathematical model, based on the method of final elements, by using the program packet ALGOR-FEA and the correctness of the presented mathematical model has also been experimentally justified.

Key words: stiffness, processing system, quality, supporting structures, modeling

1. UVOD

Sveukupna ljudska aktivnost na Zemlji, protok roba i putnika neumitno uslovljava i ubrzava razvoj i proizvodnju transportnih sredstava svih vrsta i kategorija čime zauzimaju značajno mjesto u proizvodnji svake države.

Svaka mašina – transportno sredstvo, zavisno od složenosti, ima u sebi od nekoliko desetina do nekoliko desetina hiljada dijelova. Zahvaljujući između ostalog, velikoj primjeni elektronike, automatizacije i specijalnih mikroprocesora, postignuto je da nekada tipično mašinski sistemi postanu složeni i multidisciplinarni tehnički sistemi.

Elementi transportnih sredstava mogu se podijeliti na opšte i posebne. *Opšti elementi* (osovine vratila, zupčanici, spojnice, zavrtnji, navrtke, podloške i dr.) ulaze u sastav svih transportnih sredstava, dok *posebni* (klip, klipnjača, koljenasto vratilo i sl.) sačinjavaju samo određena transportna sredstva [1].

U najvećem procentu, elementi transportnih sredstava se izrađuju (oblikuju) postupcima skidanja strugotine (rezanjem) i postupcima bez skidanja strugotine (plastičnim deformisanjem), na odgovarajućim obradnim sistemima - mašinama alatkama.

IV Savjetovanje sa međunarodnim učešćem: Mobilnost i sigurnost cestovnog prometa

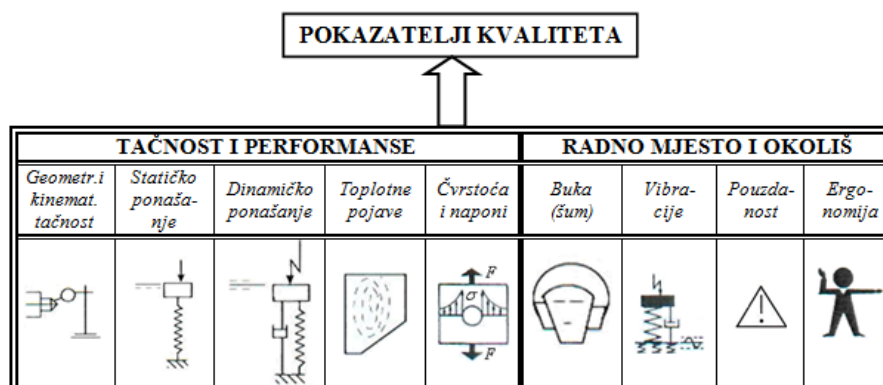
2. POKAZATELJI KVALITETA OBRADNIH SISTEMA

Kvalitet obradnih sistema određen je preko grupe pokazatelja, koji se sastoji od početnih pokazatelja kvaliteta i pokazatelja definisanih grupom poremećajnih podsistema sistema, slika 1 [2].

Početni pokazatelji kvaliteta tehničkog sistema odnose se na geometrijsku i kinematsku tačnost sistema.

Grupa poremećajnih podsistema obradnog sistema odnosi se na: statičko i dinamičko ponašanje, toplotne pojave, čvrstoću i napone, buku (šum), vibracije, pouzdanost i ergonomiju.

Poremećajni podsistemi predstavljaju ograničenja u okviru obradnog sistema u odnosu na maksimalno moguće tehničke mogućnosti definisane funkcionalnim podsistemima. Tačnost, performanse i ekološki efekat u velikoj mjeri utiču na poboljšanje kvaliteta proizvoda kao i sposobnost produktivnog korištenja mašine.



Slika 1. Shematski prikaz pokazatelja kvaliteta obradnih sistema (mašine alatke)

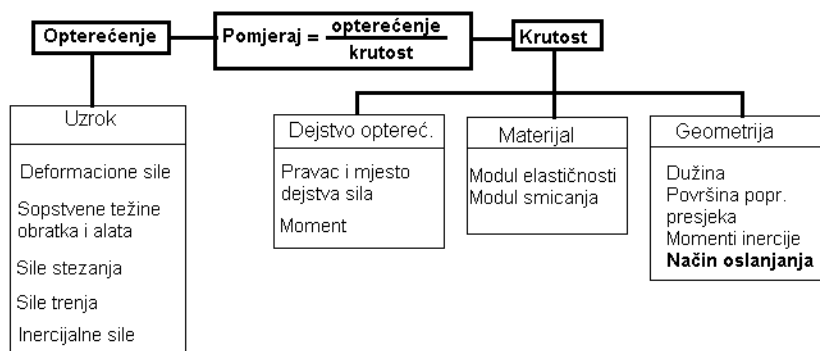
3. STATIČKO I DINAMIČKO PONAŠANJE

Krutost obradnog sistema, kao jedna njena karakteristika, obuhvata dva pojma: *statičku* i *dinamičku krutost*, u zavisnosti od toga da li se noseći sistem posmatra pod dejstvom statičkog opterećenja ili pod dejstvom periodično promjenljivih sila.

Usljed deformacija elemenata obradnog sistema, koje nastaju pod dejstvom statičkih sila, dolazi do pomjeraja (ugiba) karakterističnih tačaka samog sistema.

Ovi pomjeraji, direktno utiču na tačnost obrade. Statički pomjeraji koji nastaju kao posljedica elastičnih deformacija, predstavljaju odnos statičkih sila i statičke krutosti.

Shematski prikaz uticaja na veličinu statičkih pomjeraja dat je na slici 2.



Slika 2. Shema uticaja na veličinu statičkih pomjeranja

Drugi poremećajni sistem, koji značajno utiče na kvalitet i proizvodnost obradnog sistema je dinamička nestabilnost. Po izvršenoj identifikaciji statičke krutosti, pristupa se identifikaciji dinamike obradnog sistema.

Pod *dinamičkom krutošću* jednog obradnog sistema podrazumijeva se njegova stabilnost prema oscilovanju pri dejstvu periodično promjenljivih sila. Dinamičko ponašanje obradnih sistema koje je definisano intezitetom i karakterom vibracija u toku izvođenja obradnih procesa, ima znatan negativan uticaj na: kvalitet obrađene površine obratka (elementa transportnog sredstva), tačnost dimenzija i oblika obratka, habanje alata, habanje i vijek trajanja drugih elemenata mašinskog sistema, proizvodnost i dr.

4. DEFINISANJE MATEMATIČKOG MODELA ZA STATIČKU ANALIZU

Osnovni element koji omogućava funkcionisanje svih drugih elemenata mašine kao sistema je noseća struktura. Ona omogućava uzajamni položaj svih elemenata sa kojima se obezbijavaju kretanja alata i radnog predmeta i to pri različitim uslovima eksploatacije predviđenih za odgovarajuću mašinu.

Potreba za identifikacijom i analizom statičkog ponašanja nosećih struktura dovela je do razvoja različitih metoda. Razvijene savremene metode i tehnike analize i proračuna struktura odnose se najviše na primjenu metoda konačnih elemenata (MKE), tako da je u primjeni veliki broj

programskih paketa, a za ovu priliku je iskorišten programski paket ALGOR-FEA.

Za potrebe analize i proračuna u ovom radu uzete su noseće strukture univerzalnog struga PA-30 proizvođača "Potisje-Morando" i mehaničke ekscentar prese EP-25 proizvođača "Pobeda" - Novi Sad.

Stvaranje matematičkog modela je relaizovano u više faza i to: diskretizacija strukture sa mrežom konačnih elemenata, definisanje graničnih uslova i definisanje opterećenja.

Modeliranje strukture predstavlja najosjetljiviji dio zato što ponašanje realnog – fizičkog modela treba da bude zamijenjeno simplifikiranim (uprošćenim) računskim modelom.

Primjenom metode konačnih elemenata, polazeći od realnog modela, koji je u ovom slučaju stvarna noseća stuktura, formira se simplifikirani model.

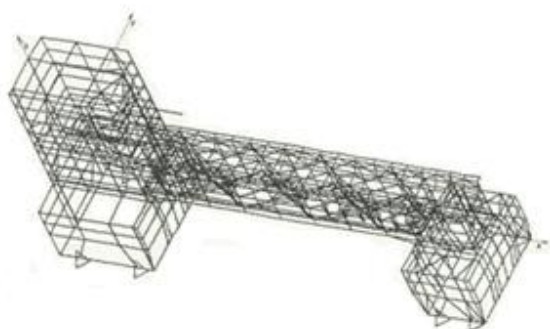
Simplifikirani model se dobija geometrijskim uprošćavanjem stvarnog modela, a da se pri tom bitno ne izmjene elementi naponsko – deformacionog stanja čime bi krajnji rezultati odgovarali stvarnim. Na osnovu simplifikiranog modela postavlja se dikretizovani model, generalizovan izabranom mrežom, kao i odgovarajućim opterećenjem.

Ovako formiran, faktički predstavlja statičko – dinamički model, budući, da kada je opterećenje statičko, tada je i model statički, odnosno kada je

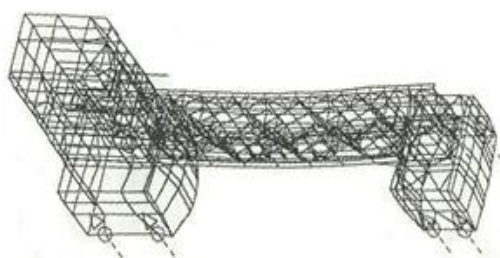
opterećenje dinamičko, odnosno tipa $\mathbf{F(t)}$, tada je i model dinamički.

Na kraju, za postavljeni diskretizovani model, postavlja se matematički model – statički ili dinamički - i primjenom računara i odgovarajućeg programskog paketa dolazi se do željenih rezultata.

Analizirajući date strukture, diskretizacija struga je izvršena sa četiri tipa konačnih elemenata: konačnim elementima tipa ploče (sa tri i četiri čvorne tačke i debljine t), tipa grede i konačnim elementom tipa štapa. Tako stvoreni matematički model - mreža konačnih elemenata noseće strukture univerzalnog struga, prikazan je na slici 3. Usvojeni model obuhvata 1189 konačnih elemenata, od kojih 1139 konačnih elemenata u obliku ploče, 42 u vidu grede i 8 konačnih elemenata u vidu štapa. Ukupan broj čvornih tačaka iznosi 823.



Slika 3. Mreža konačnih elemenata noseće strukture-model



Slika 4. Pomjeranje čvornih tačaka-deformisani strug-model

Usvajanjem konačnih elemenata, definisane su i čvorne tačke, odnosno koordinate čvornih tačaka u odnosu na globalni koordinatni sistem, koji je prikazan na istoj slici.

Nakon diskretizacije, definisani su granični uslovi. Granični uslovi se definišu uvođenjem oslonaca za noseću strukturu. Za usvojeni model prema slici 1 postavljeno je 8 oslonaca sa ograničenjima u X, Y i Z pravcu i u smjeru rotacije Θ_x , Θ_y i Θ_z , tako da ukupni broj stepeni slobode iznosi 4890.

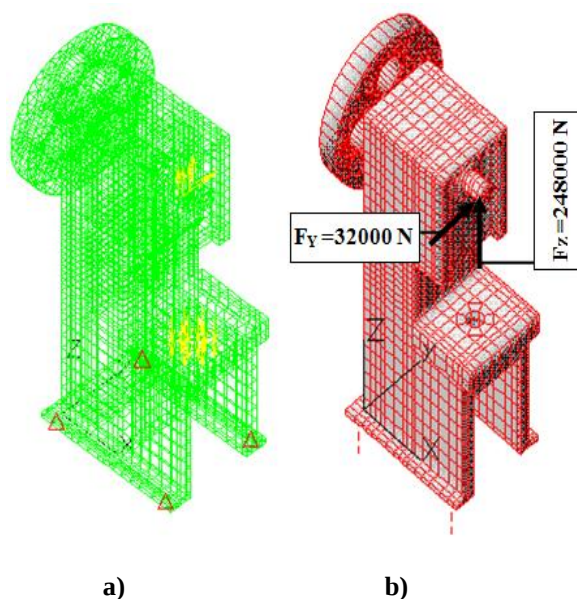
Usvojeno je, također, da opterećenje djeluje u pravcu Z ose preko suportne grupe na kontaktnoj površini prednje vođice. Intezitet opterećenja je varirao od 200 N do 2000 N, za razna varijantna rješenja, odnosno kada je suport u sredini, krajnjem lijevom položaju (do vreteništa) i krajnjem desnom (do konjića), pri konstantnoj krutosti svih oslonaca (nivelisanom stanju mašine) i promjenljivoj krutosti pojedinih oslonaca (denivelisanom stanju mašine).

Na osnovu zadatih ulaznih parametara za usvojeni matematički model, dobijene su veličine pomjeranja za usvojene tačke: (deformisani model noseće strukture struga da je na slici 2) za različita varijantna rješenja, u zavisnosti od uticajnih faktora, kao što su krutost oslonaca, intezitet opterećenja.

Za dalju analizu i upoređivanje sa eksperimentalnim podacima razmatrane su tri karakteristične tačke i to:

- tačka 1 na prednjoj vođici (čvorna tačka 651) na rastojanju 800 mm od vreteništa,
- tačka 2 na zadnjoj vođici (čvorna tačka 681) na rastojanju 800 m od vreteništa i
- tačka 3 na kraju mjernog trna (čvorna tačka 822) na rastojanju 700 mm od vreteništa.

Pri modeliranju noseće strukture prese, korišten je konačni element tipa «brick» (čvrst prizmatični element) sa 6 – 8 čvorova. On predstavlja prostorni konačni element i koristi se za sprovođenje analiza napona i pomjeranja prostornih struktura. Oblika je heksaedra, sa osam čvornih tačaka, koje imaju po tri stepena slobode. S ovim tipom konačnog elementa izvršena je diskretizacija modela sa ukupno 3313 konačnih elemenata. Ukupan broj čvornih tačaka ovako diskretizovanog modela iznosi 5074. Na slici 5 prikazan je model noseće structure prese. Koordinate čvornih tačaka diskretizovanog modela određene su u odnosu na globalni koordinatni sistem.



Slika 5. Model prese EP – 25.

Granični uslovi se definišu karakteristikama oslonaca noseće strukture. Noseća struktura se oslanja na četiri oslonca (prikazani su crvenim trouglima na modelu prese), i to u čvornim tačkama 20, 34, 220, 170.). Da bi se utvrdilo kakav uticaj ima način oslanjanja na statičko ponašanje noseće strukture analizirane prese, razmatrani su sljedeći slučajevi oslanjanja:

- apsolutno kruto oslonjena nivelisana noseća struktura (na oslancima STOP-CHOC krutosti 200×10^6 N/m),
- apsolutno kruto oslonjena denivelisana mašina,
- elastično nivelisana mašina i
- elastičnooslonjenadenivelisana mašina

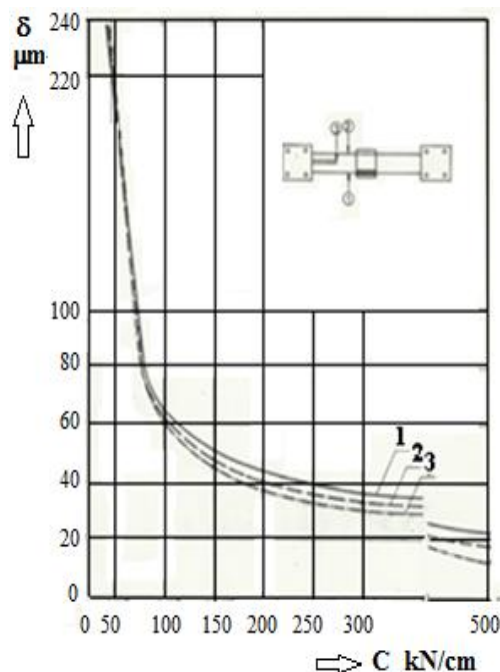
Primjenjeno je originalno opterećenje modela silama koje djeluju u vertikalnom Z – pravcu i horizontalnom Y – pravcu (slika 5 b).

5. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA KORIŠTENJEM PROGRAMSKOG PAKETA ALGOR - FEA

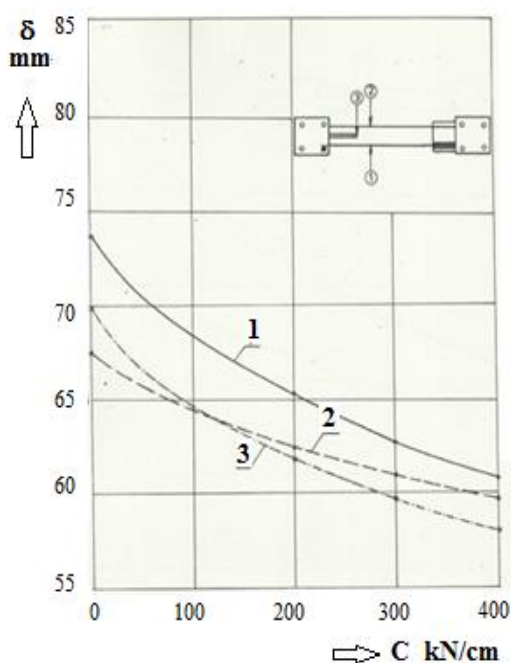
Jedan od bitnih faktora za pravilnu eksploataciju alatne mašine-obradnog sistema, je fundiranje i pričvršćivanje mašine. Stoga, za analizu uticaja krutosti oslonaca na statičko ponašanje noseće strukture omogućuje između ostalog i rješenje za izbor oslonaca. Na slici 6 je data dijagramska zavisnost promjene veličine pomjeranja noseće strukture struga pri opterećenju

$F=2000$ N za slučaj da su svi oslonci iste krutosti . Ovo stanje predstavlja nivelisano stanje.

Ako bi se mašina izvela iz nivelisanog stanja, promjenom (za ovaj slučaj) krutosti jednog od oslonaca (na slici 5 označen sa oznakom ⊗) sa konstantnom krutošću svih ostalih oslonaca, intezitetom opterećenja $F=2000$ N, veličina i karakter promjene pomjeranja noseće strukture izgleda kako je to prikazano na istoj slici, slika 7 (suport je u krajnjem desnom položaju).

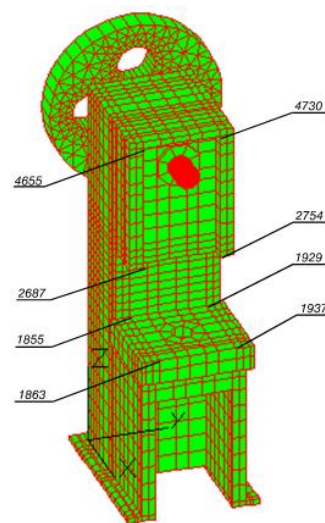


Slika 6. Zavisnost promjene veličine pomjeranja noseće strukture pri opterećenju od 2000 N za iste krutosti oslonaca (suport je u sredini).



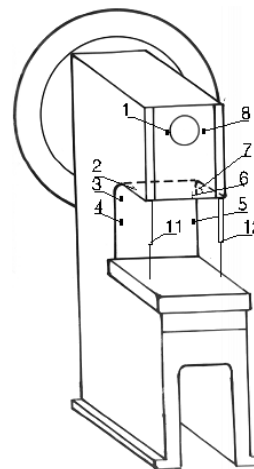
Slika 7. Zavisnost promjene veličine pomjeranja noseće strukture pri promjeni krutosti jednog oslonca pri opterećenju od 2000 N (suport je u krajnjem desnom pložaju).

Pomoću programskog paketa ALGOR - FEA izvršena je analiza i noseće strukture prese na statičko ponašanje. Sama analiza je urađena upoređivanjem rezultata u izabranim čvornim tačkama. Pri izboru karakterističnih tačaka vodilo se računa da budu obuhvaćene površine vođenja pritiskivača (čvorne tačke broj: 2754, 4730, 4655 i 2687), kao i četiri čvorne tačke radnog stola (1937, 1929, 1863 i 1855), pošto te površine direktno utiču na ispravnost rada alata. Na osnovu zadatih ulaznih parametara za usvojeni računski model, dobijene su veličine pomjeranja karakterističnih čvorova koji su prikazane na slici 8 preko kojih se može ocijeniti statičko ponašanje prese.



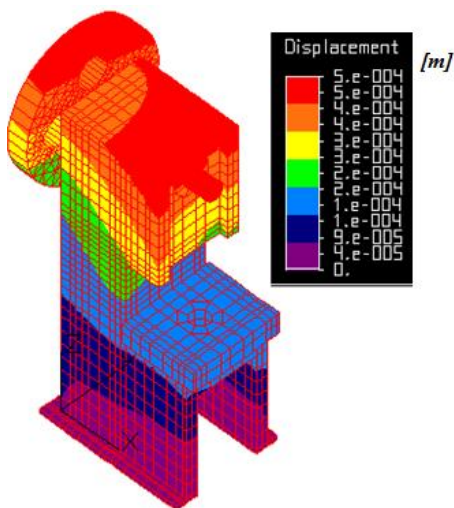
Slika 8. Karakteristični čvorovi koji se koriste za analizu ponašanja prese

Deformacije karakterističnih mjesta koja su izabrana kao mjerna mjesta u eksperimentu, predstavljena su na slici 9.



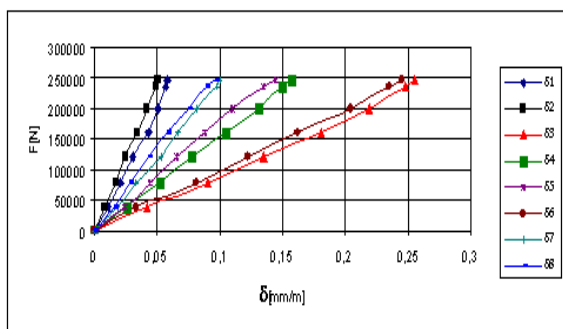
Slika 9. Prikaz mjernih mjesta

Na slici 10, prikazana su pomjeranja deformisanog modela kruto oslonjene nivelirajuće strukture pri statičkom opterećenju od 248000 N. Veličina pomjeranja može se vidjeti preko obojenih polja.

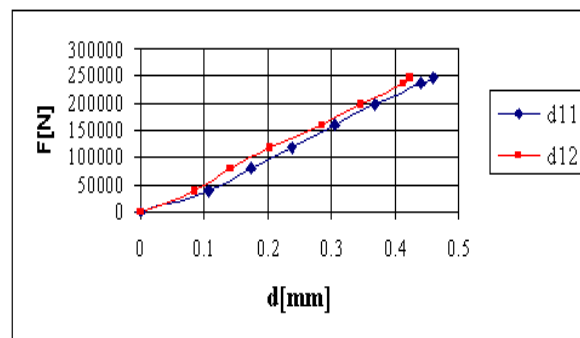


Slika 10. Pomjeranja čvornih tačaka kruto oslonjene nivelisane noseće strukture pri statičkom opterećenju

Na slikama 11 i 12 dat je dijagramski prikaz deformacija i pomjeranjakarakterističnih čvornih tačaka koje odgovaraju mjernim mjestima koja su prikazana na slici 9, u zavisnosti od promjene opterećenja pri kruto oslonjenom nivelisanom modelu.



Slika 11. Dijagramski prikaz zavisnosti deformacija od promjene opterećenja karakterističnih mjesta za kruto oslonjen nivelisan model noseće strukture



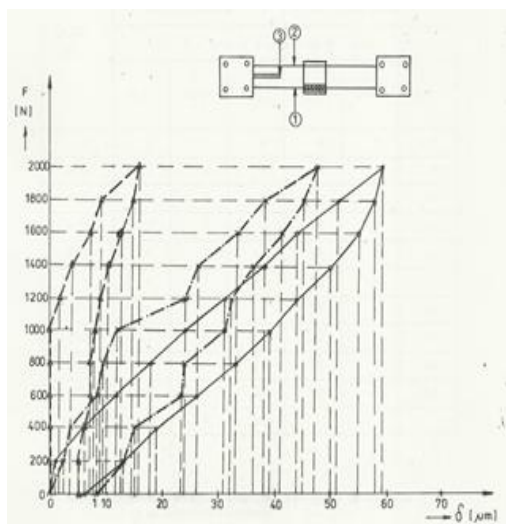
Slika 12. Dijagramski prikaz zavisnosti pomjeranja od promjene opterećenja karakterističnih mjesta za kruto oslonjen nivelisan model noseće strukture.

6. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA PRI EKSPERIMENTALNOJ STATIČKOJ IDENTIFIKACIJI NOSEĆE STRUKTURE

Eksperimentalna istraživanja imaju, prije svega, za cilj da potvrde ispravnost matematičkih modela, koji su bili formirani i korišteni za statičku analizu. U tom cilju, za izabrani strug i presu, izvršeno je niz eksperimentalnih ispitivanja za razna varijantna rješenja stanja mašine (kruto i elastično, nivelisano i denivelisano) pri različitim vrijednostima opterećenjima.

Mjerenja su vršena za iste karakteristične tačke koje su navedene u matematičkom modelu, za obje mašine.

U nastavku, radi upoređenja dati su rezultati mjerenja u kondenzovanom obliku, odakle se može vidjeti uticaj pojedinih faktora na statičko ponašanje mašina. Razlika rezultata dobijenih modeliranjem i eksperimentalnim mjerenjima nalazi se u granicama dozvoljenih vrijednosti vezana za istraživanja.



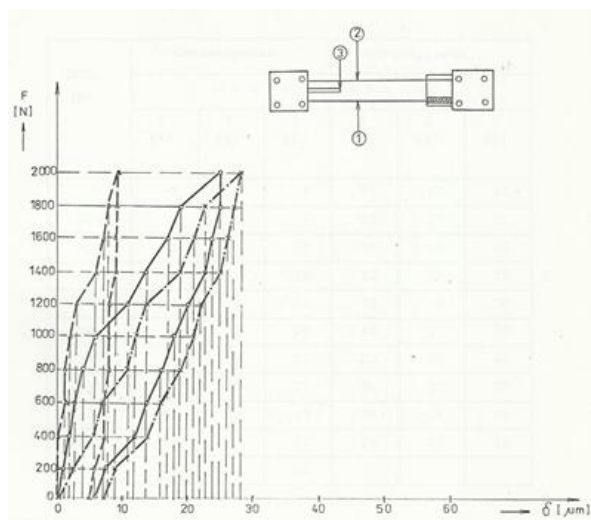
Slika 13. Histerezis dijagram za karakteristične tačke postolja

- suport je u srednjem položaju
- nivelisano stanje mašine

tačka 1 (651) – prednja vodica —————

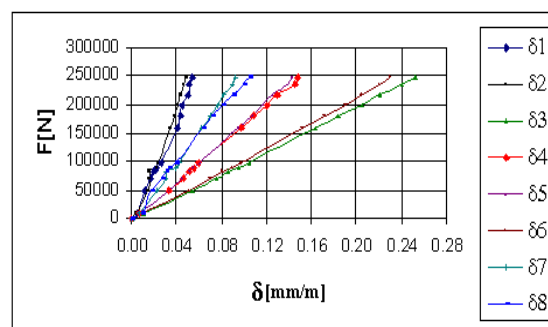
tačka 2 (681) – zadnja vodica - - - - -

tačka 3 (822) – na vreteništu — . — . — .

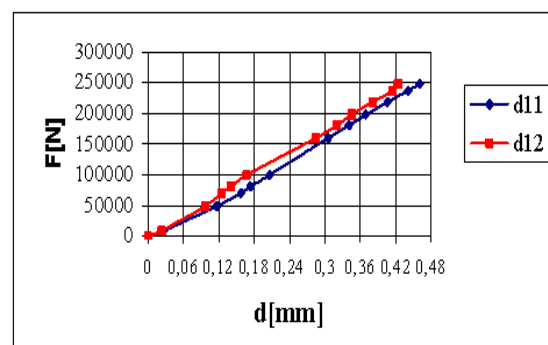


Slika 14. Histerezis dijagram za karakteristične tačke postolja

- suport je u krajnjem desnom položaju
- nivelisano stanje mašine



Slika 15. Dijagramski prikaz zavisnosti deformacija od promjene opterećenja karakterističnih mjesta za kruto oslonjenu nivelisanu mašinu.



Slika 16. Dijagramski prikaz zavisnosti pomjeranja od promjene opterećenja karakterističnih mjesta za kruto oslonjenu nivelisanu mašinu

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata teorijskih i eksperimentalnih istraživanja, može se zaključiti, da je razvijena odgovarajuća metodologija za modeliranje nosećih struktura alatnih mašina-obradnih sistema koja omogućav šira teoretska razmatranja. Time je stvorena osnova za obimna istraživanja niza uticajnih faktora koja utiču na smanjenje tačnosti mašine u procesu oblikovanja elemenata transportnih sredstava, koja se, u konačnici, odnose na kvalitet transportnog sredstva kako u procesu materijalizovanja, tako i u procesu eksploatacije.

LITERATURA

- [1] Mišić, B.: *Transportna sredstva i uređaji*, skripta, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Saobraćajni fakultet Doboj, 2006.
- [2] Kalajdžić, M.: *Tehnologija mašinogradnje*, Mašinski fakultet, Beograd, 2006.

- [3] Šelmić, R.: *Elementi transportnih sredstava I uređaja*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2005.
- [4] Rao, S.S.: *The Finite Element Method in Engineering*, Pergamon Press, Oxford, 1989.
- [5] Дудески, Ј., Дуковски, В., Сарван, М., Вртаноски, Г.: *МКЕ за анализа на носечките структури кај металорезачките машини*, V Симпозијум за теоретска и применета механика, Зборник на трудови, Охрид, 1994, (291–296)
- [6] Сарван, М.: *Теоретски и експериментални истражувања на статичката крутост на основите кај металорезачките машини*, Магистерска работа, Машински факултет, Скопје, 1993.
- [7] Sarvan, M.: *Prilog istraživanju krutosti presa ka faktora kvaliteta u proizvodnji elemenata transportnih sredstava*, doktorska disertacija, Internacionalni univerzitet Travnik, 2013.
- [8] Roark, R.J., Young, W.C.: *Formulas for Stress and Strain*, McGraw-Hill, 1975 (Fifth edition).
- [9] Sarvan, M.: *The research on influence of specific factors on statical adjustament of the bearing strukture*, Procesings, 23th JUPITER conference, Belgrad, February, 1997.
- [10] Programski paket ALGOR-FEA.
- [11] Prospekti i katalozi proizvođača altnih mašina.
- [12] STOP – CHOC :*Resilient machine mounting with all metal vibration and shock isolators*, Katalog, Reningen.