

Modeliranje zahtevnih mehatronskih sistemov

Timi Karner

Mentorja: doc. dr. Tomaž Vuherer, izr. prof. dr. Karl Gotlih

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

cucikat@yahoo.com

Modeling of complex mechatronic systems

Modern mechatronic systems are mechanical systems integrated with intelligent control, sensors, computer support, and complex algorithms for function integration and man-machine communication. Qualitative description of the mechanical system requires knowledge of contemporary approaches to modeling and simulation of multibody systems. For this purpose the software package MSC ADAMS was used. The advantage of modeling multibody system with advanced software packages is in exact capturing of kinetic properties of individual elements of the mechanism, what ensures high quality of the simulation results.

In the work we deal with a linkdrive mechanism which is built into a mechanical press. The peculiarity of this type of presses is providing optimal technological conditions in the active phase of forming, what is hard to realize with conventional drives, and more feasible with servodrives. The results based on simulations with MSC ADAMS are calculated kinematic and kinetic variables on the slide at acceleration and during normal working cycle.

Kratek pregled prispevka

Sodobni mehatronski sistemi so mehanski sistemi z integriranim inteligentnim vodenjem, regulacijo, senzoriko, računalniško podporo in zahtevnimi algoritmi za integracijo funkcij in komunikacijo človek stroj. Za kakovosten opis mehanskega sistema je potrebno temeljito poznavanje sodobnih pristopov k modeliranju in simulacijam večmasnih sistemov. V ta namen je bil uporabljen programski paket MSC ADAMS. Prednost modeliranja večmasnega sistema s sodobnimi programskimi paketi je natančno zajemanje kinetičnih lastnosti posameznih elementov mehanizma, kar pri simulaciji zagotavlja visoko kakovost rezultatov.

V delu obravnavamo večročični mehanizem, ki je vgrajen v mehansko stiskalnico. Posebnost te vrste stiskalnice je, da je potrebno v aktivni fazi preoblikovanja zagotoviti tehnološko optimalne pogoje preoblikovanja, kar je pri uporabi klasičnih pogonov težko, s sodobnimi servopogoni pa sorazmerno dobro izvedljivo. Rezultati so na podlagi simulacije z MSC ADAMS izračunane kinematične in kinetične veličina na pahu pri pospeševanju in pri normalnem obratovalnem ciklu.

1 Uvod

Zahtevni mehatronski sistemi temeljijo na kompleksnih večmasnih sistemih, krmilju, regulacijah, sensoriki in kompleksnih algoritmihi za integracijo funkcij in povezavo človek stroj. Namen dela je prikazati modeliranje in simulacije vzorčnega večmasnega sistema s sodobnim programskim paketom MSC ADAMS [1] in predstaviti njegove prednosti pred metodami, ki temeljijo na klasičnem opisu mehanskega sistema preko razvoja matematičnega modela, ki je praviloma zapisan v obliki nehomogenega sistema nelinearnih diferencialnih enačb drugega reda in zahteva pri reševanju uporabo kompleksnih numeričnih metod.

Proučevanje možnosti sodobnih programskih orodij za modeliranje in simulacijo večmasnih sistemov je namenjeno iskanju optimalnih pristopov za analizo in sintezo sistemov z upoštevanjem vseh sinergijskih učinkov mehatronskih funkcij na sistem.

Prispevek je sestavljen iz uvoda, nato poglavja, kjer je razloženo delovanje programskega paketa MSC ADAMS, poglavja, kjer so prikazani osnovni pristopi k modeliranju večmasnih sistemov in možnosti prenosa osnovnih gradnikov sistema iz drugih programskih orodij za 3D modeliranje. Sledi poglavje, kjer je predstavljen problem, ki ga bomo modelirali, in pristop k sestavi virtualnega modela ter priprava simulacije delovanja. Razložen je tudi motiv izbire obravnavanega sistema. V delu smo za predstavitev modeliranja izbrali mehanizem večročične mehanske stiskalnice, ki je namenjena za tehnološke operacije preoblikovanja. Pri tem tipu stiskalnice je pomembno, da v fazi preoblikovanja paha sledi natančno predpisanim tehnološkim pogojem. Naslednje poglavje je posvečeno prikazom rezultatov simulacij na virtualnem modelu in primerjavi z rezultati, znanimi iz literature. Zadnje poglavje je namenjeno razpravi in sklepom. V sklepih so zbrane vse bistvene ugotovitve, ki jih lahko strnemo v dejstvo, da je možno s sodobnimi

programi za modeliranje in simulacijo večmasnih sistemov znatno realneje opisati mehanski sistem, prav tako pa so dane možnosti povezave zgrajenega virtualnega modela z EASY5 in Matlab/Simulink-om za kosisimulacijo celotnega mehatronskega sistema z vsemi elementi vodenja (pogon, senzorji, regulacija ...).

2 Programski paket MSC ADAMS

Programski paket MSC ADAMS [1] je namenjen modeliranju, simulacijam in optimiranju večmasnih mehanskih sistemov. Gradniki sistemov so toga telesa z vnaprej znano geometrijo in kinetičnimi lastnostmi ali pa iz drugih 3D modelirnikov prinesene 3D oblike s svojimi kinetičnimi lastnostmi. Velika prednost progama je v možnosti vnosa realnih fizikalnih struktur, ki so modelirane izven sistema MSC in omogočajo zajemanje položaja težišča, maso in tenzorja masnih vztrajnostnih momentov na osnovi modela realne strukture. Kot vezni elementi med telesi so definirane kinematične vezi, ki so lahko holonomne ali anholonomne. Na sisteme lahko delujejo najrazličnejši zunanji vplivi (vsiljeni pomiki/zasuki, sile, navori, polja sil ...). Modeliranje večmasnega mehanskega sistema se opravi v virtualnem okolju, ki kasneje služi za simulacije gibanj na osnovi numerične analize sistema. MSC ADAMS je možno povezati s programskim orodjem MSC NASTRAN, kar omogoča obravnavo deformabilnih teles v procesu analize večmasnega mehanskega sistema.

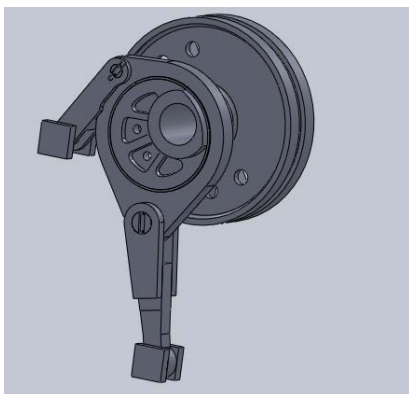
3 Večročična stiskalnica za preoblikovanje

Da bi razložili modeliranje zahtevnega mehatronskega sistema v MSC ADAMS, smo izbrali za obravnavo večročično mehansko stiskalnico [2]. Obravnavan tip mehanizma v stiskalnici se v stroki imenuje "link-drive".

V mehanski stiskalnici se transformira vrtenje vztrajnika ali rotorja servomotorja v premo gibanje paha s pomočjo posebnega mehanizma, ki omogoča izpeljavo specifičnih

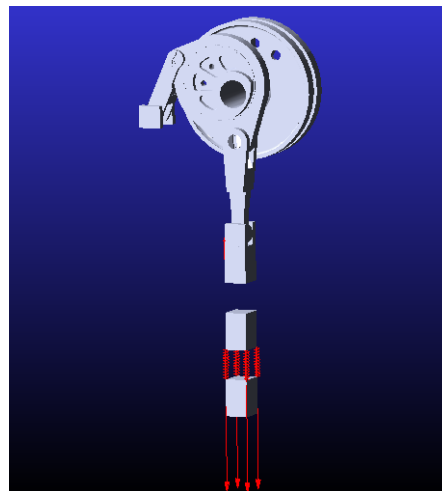
oblik gibanj in hitrostnih profilov paha skladno z zahtevami tehnologije preoblikovanja. Model mehanizma v stiskalnici je prikazan na sliki 1. Karakteristike mehanske stiskalnice so naslednje:

- nominalna sila na pahu: 14000 kN,
- gib paha pri preoblikovanju: 25mm,
- celotni gib paha: 1000 mm,
- hitrost: 80 min⁻¹.

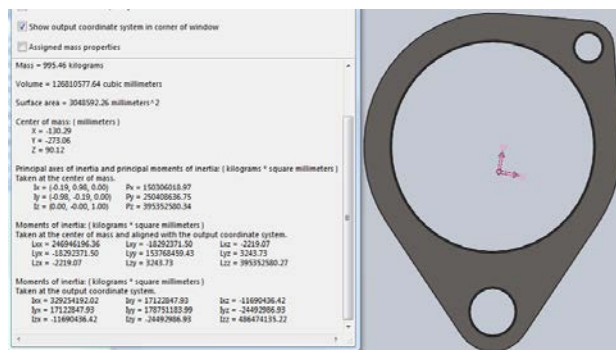


Slika 1: Mehanizem za transformacijo vrtenja vztrajnika v premo gibanje paha, modeliran v SolidWorksu

Slika 1 prikazuje samo četrtino celotnega mehanizma stiskalnice, dejansko je celotni mehanizem sestavljen iz štirih sklopov, ki se gibljejo sinhrono. Namesto klasičnega motorja in vztrajnika so sodobne stiskalnice opremljene samo s servomotorji. Model večročičnega mehanizma je predstavljen v sliki 2. Vnos preoblikovalne sile na pahu je modeliran z dvema togima telesoma, med katerima so štiri vzmeti, ki generirajo na pahu ob stiku nominalno silo. Skladno z opisom delovanja MSC ADAMS so vsi elementi večročičnega mehanizma preneseni iz 3D modelov, ki so pripravljene s programom SolidWorks. Vsak element mehanizma je s sabo prinesel še podatek o položaju težišča, maso in celotni tenzor masnih vztrajnostnih momentov, ki je izražen v telesu lastnem lokalnem koordinatnem sistemu. Primer ene od ročic mehanizma je prikazan na sliki 3.



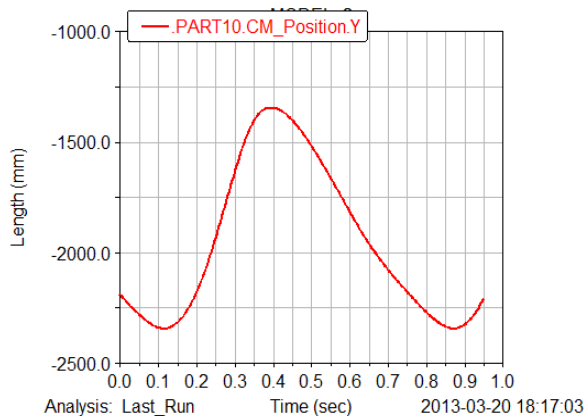
Slika 2: Mehanizem mehanske stiskalnice, modeliran v MSC Adamsu



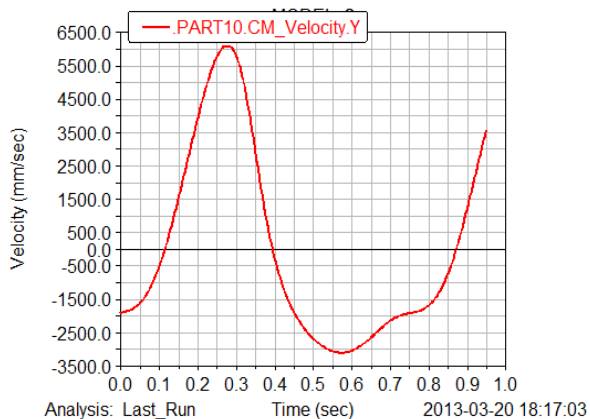
Slika 3: Primer ene od ročic večročičnega mehanizma, ki je modelirana v SolidWorksu s podatki o položaju težišča, masi in tenzorju masnih vztrajnostnih momentov, izraženih v različnih koordinatnih sistemih.

4 Rezultati simulacij

Po modeliranju v virtualnem okolju so bile izvedene kinematične in kinetične analize na virtualnem modelu mehanizma. Najprej nas je zanimal odziv mehanizma pri vrtenju vztrajnika/rotorja servomotorja s konstantno kotno hitrostjo, ki izhaja iz pogojev obratovanja (80 udarcev na minuto). Izračunana pot paha je prikazana na sliki 4. Hitrost paha je prikazana na sliki 5. Glede na [2], kjer so te veličine izračunane na osnovi matematičnega modeliranja mehanizma, lahko sklepamo, da sta s simulacijo izračunani pot paha in hitrost paha skladni s teoretičnimi rezultati.



Slika 4: Gib paha pri delovni frekvenci 80 udarcev na minuto

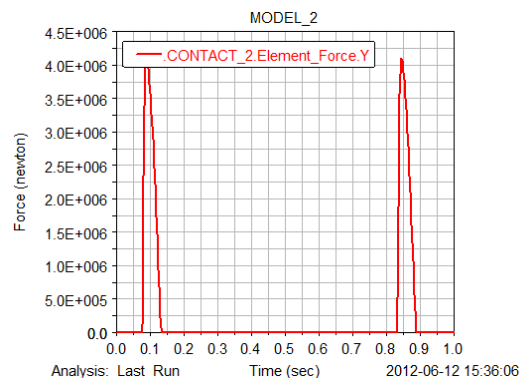


Slika 5: Hitrost paha pri delovni frekvenci 80 udarcev na minuto

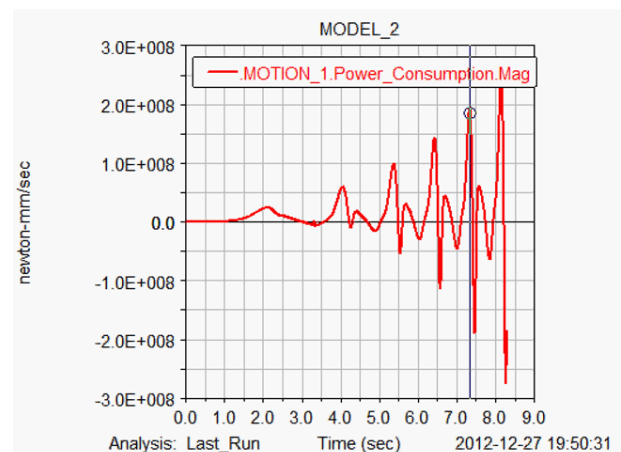
Realna mehanska stiskalnica z večročičnim mehanizmom je sestavljena iz štirih enakih sklopov, kot je prikazano na sliki 1. Sklopi so med seboj simetrično razporejeni. To pomeni, da je nominalna sila na pahu izhajajoča iz enega večzgibnega mehanizma četrtnina celotne nominalne sile. Kinetična simulacija kontakta orodja z obdelovancem, je prikazana na sliki 6. Delovni del giba paha je 25mm in je umeščen 25mm pred spodnjo mrtvo lego paha, kar je štirideseti del celotnega hoda paha. Sila na pah je po pričakovanjih impulzna in kot taka se tudi prenese preko večzgibnega mehanizma na vztrajnik ali rotor servomotorja.

S pomočjo programa MSC Adams lahko simuliramo tudi porabo moči na pogonu ob zagonu stiskalnice na določeno delovno hitrost 80 min^{-1} , slika 7. Opazimo, da z naraščanjem hitrosti narašča tudi poraba moči in le-ta znaša

pri polni hitrosti vztrajnika 200 kW v prostem teku.



Slika 6: Sila na pahu pri delovni frekvenci 80 udarcev na minuto na en večročični mehanizem

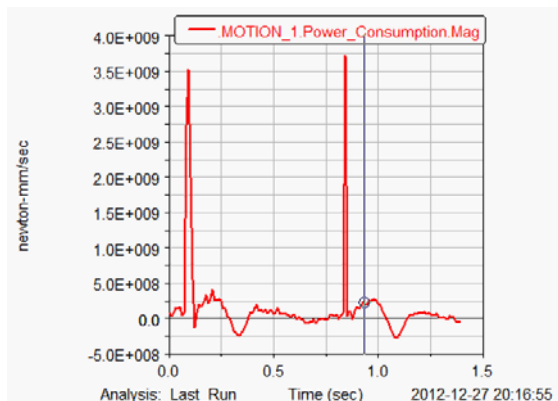


Slika 7: Poraba moči pri zagonu stiskalnice

V delovnem ciklu mora mehanska stiskalnica generirati 14000 kN sile na pahu, pri hitrosti 80 min^{-1} , kar pomeni, da poraba moči drastično impulzno naraste ob pritisku orodja na obdelovanec, slika 8. Iz simulacije izračunana moč motorja znaša $3,5 \text{ MW}$.

5 Razprava

S simulacijo delovanja stiskalnice z večročičnim mehanizmom smo prišli do rezultatov, ki se ujemajo z analitično izračunanimi vrednostmi na ravni kinematike [2]. Kinetične veličine, ki so merodajne za izbiro ustreznega pogona, pa brez programskega paketa MSC ADAMS ne bi bilo možno fizikalno realno izračunati. Največjo težavo predstavlja analitično modeliranje realne fizike sistema, kar pa z uporabo programa postane izvedljivo.



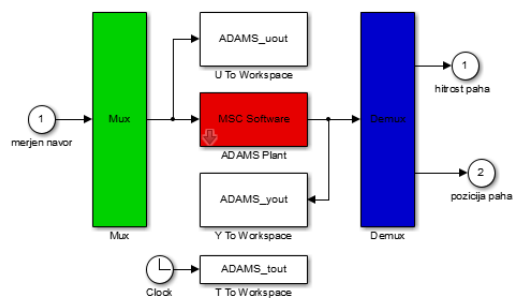
Slika 8: Delovni cikel, potrebna moč pri delovni frekvenci 80 udarcev na minuto

Program MSC Adams omogoča široki spekter testiranj in analiz raznih parametrov večmasnih mehanskih sistemov in bo našel uporabo tako v pedagoškem procesu pri obravnavi kinematike, kinetike in dinamike večmasnih mehanskih sistemov kakor tudi pri raziskovanju zahtevnih mehatronskih sistemov pri sintezi vodenja.

Vodenje klasične mehanske stiskalnice, ki jo poganja velik asinhronski motor, ni posebej zahtevno, saj je delovni hod vnaprej določen s strukturo in topologijo mehanizmov za transformacijo vrtenja vztrajnika v premi gib paha, potrebna energija za opravljanje deformacijskega dela je akumulirana v vztrajniku. Pri vodenju servostiskalnic je zadeva bistveno bolj zapletena. S servomotorjem je omogočena manipulacija s hodom paha, silo pritiska in hitrostjo paha, ki se lahko v mejah tehničnih omejitev spreminjajo glede na postavljene zahteve. Pri takšnem načinu pogona, pa nimamo »rezerv« v vztrajniku in potrebno je dejanske obremenitve na motorju, ki so sestavljene iz obremenitev zaradi preoblikovanja obdelovanca in gibanja vseh delov mehanizma, natančno določiti.

Program MSC Adams med drugim omogoča ko-simulacijo s programom EASY5 ali Matlab/Simulink-om, ki omogočata vodenje mehatronskega oz. mehanskega sistema. Vse, kar je v programu MSC Adams potrebno narediti, je, da se določijo vhodni in izhodni parametri. Kot primer lahko vzamemo za vhodni parameter navor na motorju, kot

izhodnega pa pozicijo in hitrost paha v vertikalni osi. Ko imamo te podatke, se model izvozi v obliki bloka, ki je primeren za Simulink oz. EASY5 simulacijo vodenja sistema. Primer sheme prikazuje slika 9.



Slika 9: Primer bloka, izvoženega iz MSC Adamsa za simulacijo v Simulinku

6 Sklep

Članek povzema bistvena spoznanja, ki smo jih pridobili v fazi modeliranja in kasneje simulacije testnega večmasnega sistema s pomočjo programa MSC Adams. Programsko orodje je zelo učinkovito, kar se tiče testiranja in analize raznih kinematičnih in kinetičnih veličin na večmasnih mehanskih sistemih. Omogoča vnos realne fizike v analizo in sintezo in s tem natančno opazovanje dogodkov in procesov, ki se bodo na realnem sistemu dogodili v njegovi uporabi. Uporabljene analize in sinteze omogočajo tudi, kar je posebej pomembno pri implementaciji servosistemov v mehanske sisteme, natančno in pravilno dimenzionirati pogone, da bodo ti delovali primerno postavljenim zahtevam. Programska oprema je v trenutni fazi omejena samo na analize in sinteze sistemov z nedeformabilnimi telesi.

7 Literatura

- [1] <http://www.mscsoftware.com/product/adams>
- [2] VOHAR, Bojan, GOTLIH, Karl, FLAŠKER, Jože. Optimiranje pogonskega mehanizma stiskalnice za globoki vlek = Optimization of link-drive mechanism for deep drawing mechanical press. Stroj. vestn., 2002, letn. 48, št. 11, str. 601-612.