

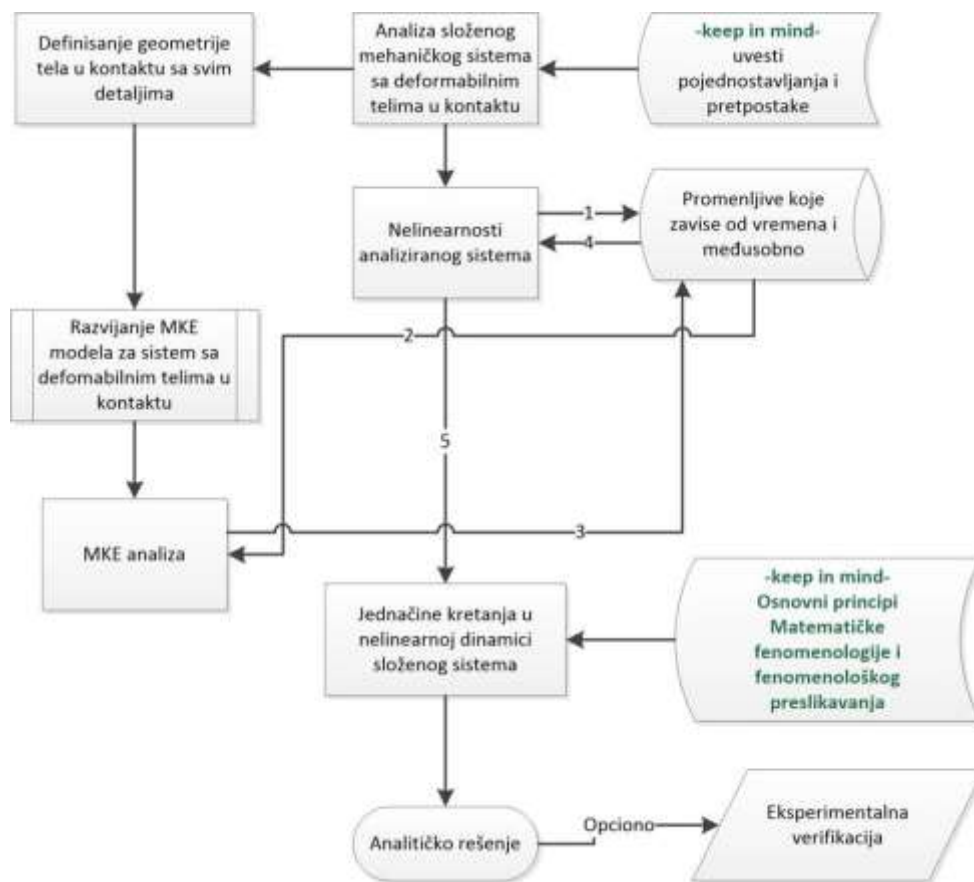
Истраживачка тема: **Динамика механичких система са вишеструким контактом**

Аутор: Ивана Атанасовска

Значајан број сложених механичких система ради у условима вишеструког контакта. Веома често се еластична својства у контактним зонама не могу занемарити, па се морају разматрати еластичне деформације у контактної области свака два деформабилна тела у контакту. Када постоје два или више контакта истовремено уз ротацију и/или транслацију тела у контакту, ови услови доводе до сталне промене геометрије контактних површина, трења, расподеле оптерећења и других параметара, тако да проблем динамике механичког система са вишеструким контактом постаје веома сложен.

Реални механички системи, који су део сложених машина и индустријских постројења или инсталација, врло често имају сложене карактеристике у погледу геометрије, кинематике, подмазивања и међусобних веза. Контакт са подмазивањем или без њега један је од најчешћих облика међусобног повезивања код реалних механичких система за пренос снаге. Основне контактне карактеристике ових система са вишеструким контактом су: геометрија контактних површина са неправилностима или без њих, деформабилност материјала, коефицијент трења и сл. Јасно је да је важно проучити све контактне карактеристике код вишеструког контакта и проценити њихов утицај на динамику механичких система ове врсте. Сложеност овог проблема је заправо повећана због променљивих основних карактеристика контакта које постоје код реалних система. Карактеристике контакта углавном су временски зависне променљиве, али такође врло често и међусобно зависне. Ови постулати су основна и главна мотивација за развијање новог приступа за испитивање и процену динамике система са вишеструким контактом, што је остварено у оквиру ове истраживачке теме.

Иако је значајан број савремених истраживања посвећен веома сложеном и свеобухватном изучавању динамике појединих механичких система са вишеструким контактом, сваки од њих обухвата само одређен случај механичког система ове врсте и захтева различите методе и значајно рачунско време. Врло често се код ових анализа уочава тренд поједностављења геометрије и услова рада како би се проблем глобалног кретања система (који се обично односи на вибрације) учинио решивим. У складу са овим чињеницама, главни циљ током дефинисања новог приступа јесте развити јединствени алгоритам са што више поједностављења, али тако да се не умањи поузданост добијених крајњих резултата. Овај алгоритам би се могао користити као општа смерница за анализу динамике сложених механичких система са вишеструким контактом. Треба ипак нагласити да знање истраживача о сваком појединачном питању и даље остаје веома важно. Општа процедура развијеног приступа представљена је дијаграмом тока – алгоритмом новог приступа за динамику система са вишеструким контактом [1].



Дијаграм тока новог приступа за анализу динамике система са вишеструким контактом, [1]

Први корак у развијеном приступу је анализа механике система са више тела у контакту. Често су анализирани системи врло сложени и садрже променљиве које не треба занемарити. У скоро свим реалним системима контактна деформација контактних зона узрокује временски променљиве карактеристике крутости и пригушења. С тим у вези треба истаћи разлику између крутости контакта и пригушења у диференцијалном делу контактних површина, и крутости и пригушења целих механичких система који се састоје од неколико или више деформабилних тела, [2]. Прорачун функција које дефинишу крутост и пригушење система омогућава поједностављење анализе динамике веома сложених машина и индустријских постројења, и инсталација где се поменути контакти више тела налазе као саставни делови, обично у елементима и системима за пренос снаге. Током следећих корака разматраног поступка, основна тенденција требало би да буде редукација система са вишеструким контактом, који најчешће представљају везу између веће машине и делова инсталације, на елемент са занемарљивом масом и временски зависном крутошћу и пригушењем. На овај начин би се ови системи могли врло успешно свести на системе са мањим бројем степени слободe. У случајевима реалних механичких система са неколико или више деформабилних тела у контакту, често није тако једноставно смањити број степени слободe, али је ипак могуће постићи одређено упрошћење без значајног смањења тачности коначних резултата. На овом нивоу поступка, главни принципи математичког феноменолошког пресликавања [3], користе се за редукацију система са вишеструким контактом у систем са мањим бројем степени слободe,

са укупним редукованим масама, коефицијентима крутости и пригушења као основним карактеристикама. Овај приступ је посебно погодан код стандардних машинских елемената са вишеструким контактом, као што су котрљајни лежаји и кардански зглобови. У неким другим случајевима, на пример код зупчаника, не могу се занемарити масе спрегнутих зупчаника, па се мора развити посебан модел, [3]. У овој тачки процедуре, веома је важно узети у обзир функцију крутости, пригушења и расподеле оптерећења на контактне парове. Сви ови главни параметри зависе од времена, једни од других и од спољашњих оптерећења.

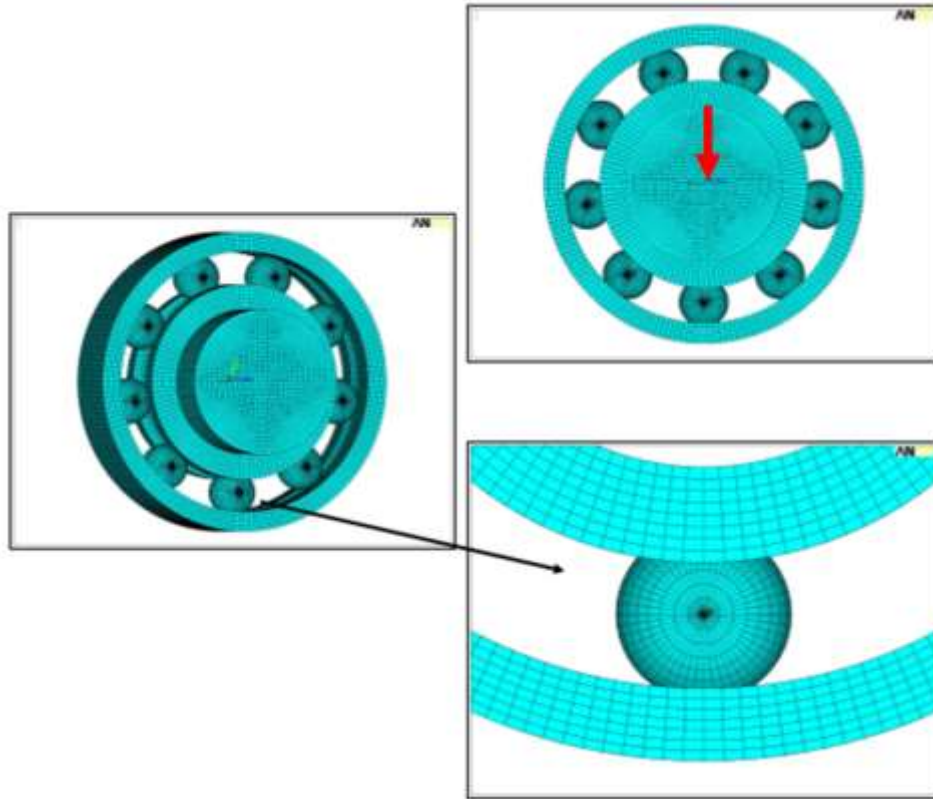
Следећи веома важан корак је развијање одговарајућег модела коначних елемената са вишеструким контактом као главном карактеристиком. Између тела у контакту треба дефинисати контактне парове, посебно узимајући у обзир: геометрију контактних површина, карактеристике материјала, трење, као и могуће постојање грешака у материјалу и геометрији контактних тела. У овом кораку је такође пресудан ниво знања истраживача у области методе коначних елемената. Резултати анализе методом коначних елемената су углавном временски променљиве функције укупних деформација, крутости и расподеле оптерећења за одређен механички систем који се проучава.

Добијене функције временски-зависних променљивих користи се у следећем кораку развијеног приступа у фази развијања система једначина кретања целог посматраног механичког система (на пример: зупчасти преносник снаге, машина или инсталација).

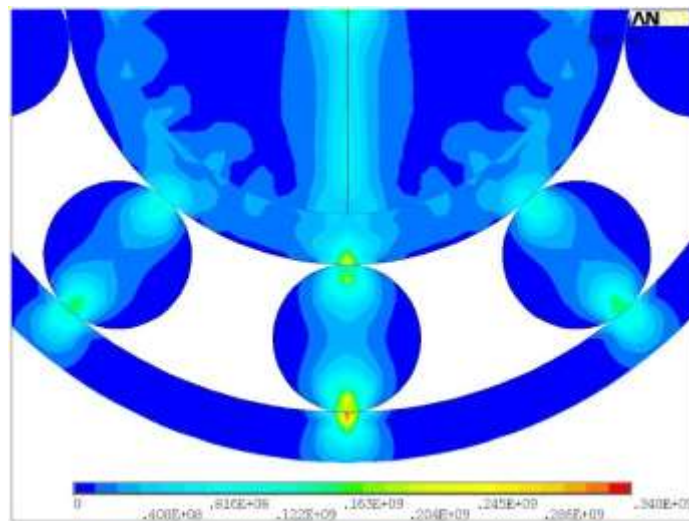
У оквиру ове истраживачке теме, током последњих година истраживана је примена новог приступа за анализу динамике механичких система са вишеструким контактом. Контактна тела у механичким системима симулирана су основним геометријским деформабилним телима са елементима променљиве крутости и пригушења. Главни принципи математичког феноменолошког пресликавања коришћени су за редукацију система са вишеструким контактом на једноставније система са неколико степени слободе код којих је укупна крутост главна карактеристика. Случајеви са два и три основна геометријска тела у контакту моделирани су како би се омогућило испитивање утицаја главних параметара (крутост, пригушење, спољашње оптерећење, коефицијент трења) на динамику система са вишеструким контактом. Анализа методом коначних елемената коришћена је за израчунавање временски променљивих контактних деформација, укупне крутости и расподеле спољашњег оптерећења.

Посебна пажња посвећена је проучавању примене новог приступа на реалним механичким системима са вишеструким контактом, као што су зупчаници и куглични лежаји. Анализом динамике конкретног зупчастог пара и одређеног типа кугличног лежаја проучене су могућности и предности овог новог приступа за једноставну и високо тачну анализу динамичког понашања реалних сложених механичких система.

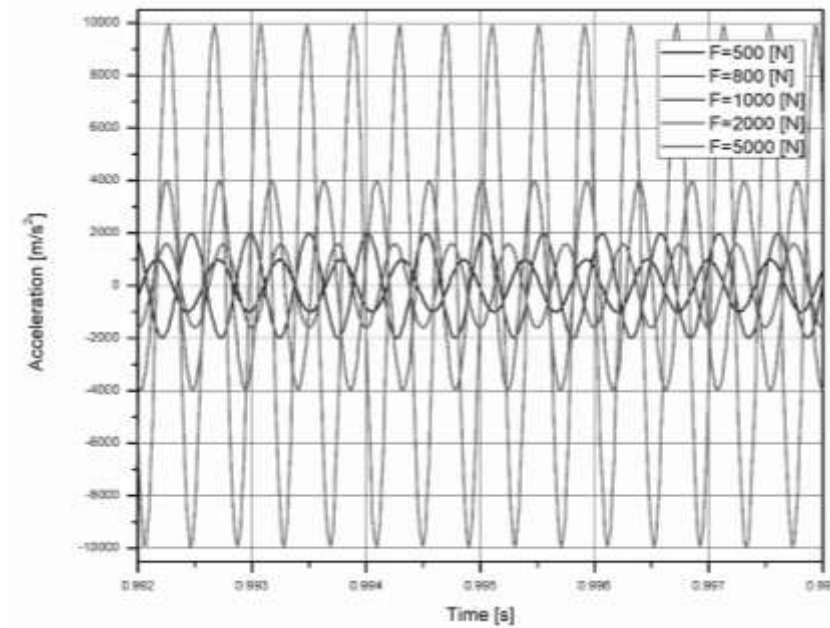
Пример једног типа радијалног котрљајног кугличног лежаја може се користити у овом кратком прегледу за презентацију примене новог развијеног приступа за анализу динамике система са вишеструким контактом, [4, 5]. Овај део истраживања реализован је у сарадњи са проф. др Радивојем Митровићем и др Наташом Солдат са Машинског факултета Универзитета у Београду.



3Д модел коначних елемената котрљајућег кугличног лежаја - SKF6206 радијални куглични лежај, [4, 5]



Анализа методом коначних елемената - чеони пресек контурног приказа расподеле VonMises еквивалентних напона за лежај SKF6206, [4, 5]



Упоредни приказ резултата вибрација за различите услове спољашњег оптерећења за лежај SKF6206, [4, 5]

Изабране публикације:

- 1). I. Atanasovska: *Multi-body contact in non-linear dynamics of real mechanical systems*, Procedia Engineering, Published by Elsevier, ISSN:1877-7058, X International Conference on Structural Dynamics, EURODYN 2017, Rim, Italija, Septembar 10-13, 2017, Edited by Fabrizio Vestroni, Francesco Romeo and Vincenzo Gattulli, Vol. 199,. pp. 510-515, doi: 10.1016/j.proeng.2017.09.139.
- 2). I. Atanasovska: *The introduction of multi-body contact in non-linear dynamics*, Conference on Nonlinearity, Book of Abstracts, Belgrade 11-12.10.2019., Organizer and publisher: Serbian Academy of Nonlinear Sciences (SANS), Editors: Branko Dragovich and Željko Čupić, ISBN 978-86-905633-6-4, pp.6.
- 3). I. Atanasovska: *The Mathematical Phenomenological Mapping in Nonlinear Dynamics of Spur Gear Pair and Radial Ball Bearing due to the Variable Stiffness*, International Journal of Non-linear Mechanics, ISSN 0020-7462, Published by Elsevier, Volume 73, July 2015, pp. 114-120. doi:10.1016/j.ijnonlinmec.2014.11.015.
- 4). N. Soldat, R. Mitrović, I. Atanasovska, R. Tomović: *A methodology for analyzing radial ball bearing vibrations*, Transactions of FAMENA, ISSN 1333-1124, Published by: Fakultet strojarstva i brodogradnje, Croatia, Volumen 44, No.1, 2020., pp.13-28, doi:10.21278/TOF.44102.
- 5). I. Atanasovska, D. Momčilović, R. Mitrović, N. Soldat, N. Nešić: *Nonlinear dynamics as a tool in selection of working conditions for radial ball bearing*, IUTAM Bookseries 37 - IUTAM Symposium on Exploiting Nonlinear Dynamics for Engineering Systems, Publisher: Springer Nature Switzerland, 2020, Editors: Ivana Kovacic, Stefano Lenci, ISSN 1875-3507, ISBN 978-3-030-23691-5, pp.49-58, doi: 10.1007/978-3-030-23692-2_5.