

Agymotoros versenyautó felfüggesztésének kinematikai, dinamikai analízise

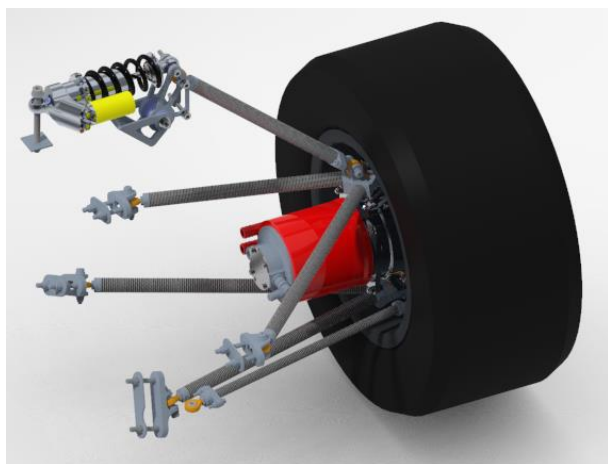
KRAUSZ BERNADETT

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti fejlesztő specializáció, 2019/20/II

Konzulens: Bencsik László, tudományos munkatárs

1. Bevezetés

A problémát egy négykerékmeghajtású Formula Student versenyautó veti fel azzal, hogy minden kerekébe külön elektromos motort szerelünk. A motorok miatt egyrészt csökken a hely a felniben, másrészt nő a rugózatlan tömeg. Előbbi felveti a kinematikai szempontok és a geometriai összeférhetőség vizsgálatát, utóbbi pedig annak vizsgálatát, hogy a rugózatlan tömeg milyen hatást gyakorol az autó viselkedésére, illetve kompenzálhatjuk-e azt más paraméter változtatásával.



1. ábra: Negyedjármű agymotorral

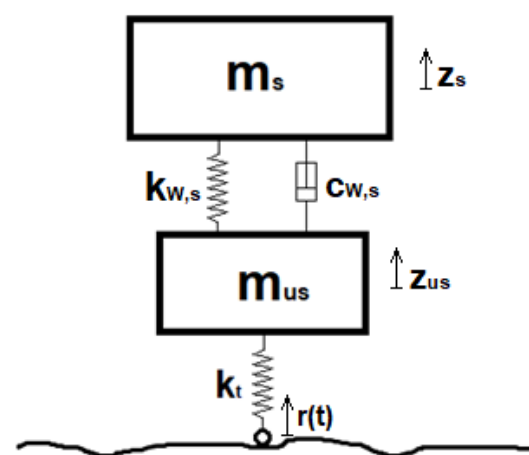
2. Kinematikai és geometriai vizsgálat

Creo Parametric segítségével létrehoztam egy geometriai modellt, amelyben definiáltam a vizsgálandó kinematikai paramétereket is. A mozgás szimulálása során a program méri a kinematikai paramétereket megadott elmozdulásonként, illetve beállítható ütközésvizsgálat is. A modell a bekötési pontok szerint paraméterezett, így a jövőben új futómű tervezéséhez is alkalmas.

3. Dinamikai vizsgálat módszere

Ebben a fázisban megnéztem, mi okoz hasonló hatást, mint a rugózatlan tömeg változása (gumimerevség, felfüggesztés merevsége). Ezek az úttartást és az útkomfortot befolyásolják, melyeket a normálerő-ingadozáson és a vertikális gyorsuláson (body acceleration) keresztül lehet vizsgálni. Ezek megállapítása után felvettem a negyedjármű

mechanikai modelljét (2. ábra). Ebből matematikai modellt kaptam a Lagrange-féle másodfajú mozgásegyenlettel, amiből Simulinkben készítettem modellt, ahol gerjesztettem a rendszert.



2. ábra: Negyedjármű mechanikai modellje

4. A dinamikai vizsgálat eredménye

A 3. és 4. ábrán mutatott táblázatok összefoglalják, hogy a különböző paraméterek 1%-os csökkenése milyen változást jelent a normálerő-ingadozás és a vertikális gyorsulás maximumába. Ez alapján látható az egyes paraméterek hatása. A gumimerevség a guminyomáson keresztül változtatható, ami viszont nagy mértékben csökkentheti az aszfaltra átvihető erőt. A rugózatlan tömeg csökkentése például felniváltással kivitelezhető, például alumíniumról magnézium felnire váltás a motor hozta 4 kg-ból kb. 2 kg-ot „lefარag”.

	Δ Paraméter -1%	Δa_{body} [%]	$\Delta F_{z, \text{dyn}}$ [%]
m_{us} [kg]	0,20	0,60	-0,74
k_t [kN/m]	1,05	-1,08	-1,15
$k_{w,s}$ [kN/m]	0,30	0,07	0,14

3. ábra: Válasz impulzusszerű gerjesztésre

	Δ Paraméter -1%	Δa_{body} [%]	$\Delta F_{z, \text{dyn}}$ [%]
m_{us} [kg]	0,20	0,10	-0,41
k_t [kN/m]	1,05	-1,30	-1,65
$k_{w,s}$ [kN/m]	0,30	0,10	0,24

4. ábra: Válasz szinuszos gerjesztésre

Stability computation of periodic delayed dynamical systems based on time integration

Kristóf Nagy

Mechanical engineering modelling MSc, Solid mechanics specialisation, 2019/2020/II.

Supervisor: Dániel Bachrathy, PhD., assistant professor, bachrathy@mm.bme.hu

Implicit subspace iteration

The subject of this final project was the investigation of the use of the implicit subspace iteration in the stability analysis of delayed periodic equations. This can be used simply to approximate the eigenvalues of the Floquet transition matrix obtained by semi-discretisation. The ideal computation parameters were investigated taking into account the topology of the eigenvalues.

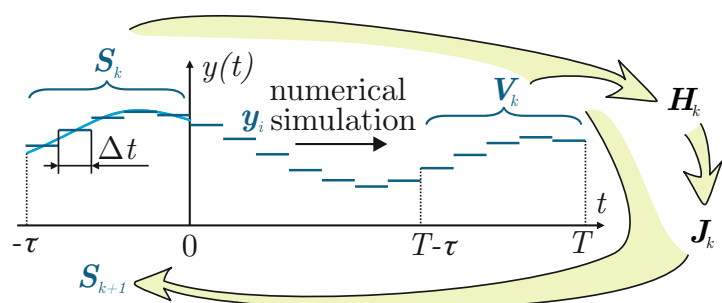


Figure 1: Schematic explication of implicit subspace iteration method with numerical integration. The calculation of the transition matrix is avoided.

Going further, the calculation of the transition matrix can be avoided by carrying out a numerical simulation in each iteration corresponding to the time period (see Figure 1). This is advantageous, because the computationally expensive matrix multiplication are not necessary, that is, the computational complexity is linear, which makes the implicit subspace iteration more effective in comparison with the semi-discretisation. The evolution of the CPU time is plotted in Figure 2 for the delayed Mathieu equation.

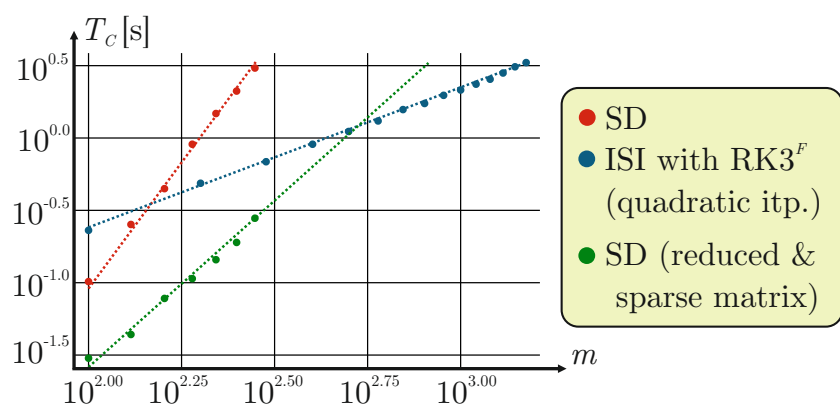


Figure 2: Comparison of the semi-discretisation method (with and without sparse matrix optimisation) with the implicit subspace iteration with fixed step 3rd order Runge-Kutta method in terms of computation time T_c as function of segment number m .

Adaptive solvers in Julia

Adaptive solvers were used from the Julia package *DifferentialEquations.jl* which are able to efficiently solve non-smooth systems. This way, the error of the critical eigenvalue can be controlled with tolerances. Also, different sampling strategies were developed to calculate the arrays needed to obtain the approximate matrix which provides the dominant eigenvalues, in order to control more directly the error of the largest eigenvalue. Figure 3 shows the convergence of different strategies in the case of the non-smooth Mathieu equation. It is clear that for this discontinuous case only adaptive numerical simulation works effectively.

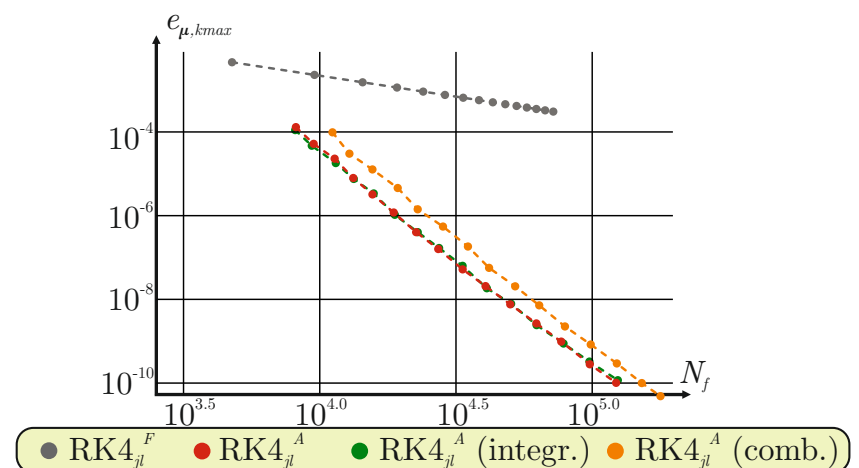


Figure 3: The absolute error of the largest eigenvalue $e_{\mu,kmax}$ as a function of the number of function calls N_f and the measured computation time T_c with different strategies for the non-smooth Mathieu equation.

Application

Furthermore, the implicit subspace iteration method with numerical simulation was tested with a milling model to calculate stability diagrams (see Figure 4). In conclusion, implicit subspace iteration with adaptive numerical solvers can be very effective to calculate stability diagrams of smooth or non-smooth delayed periodic differential equations even when high precision is required.

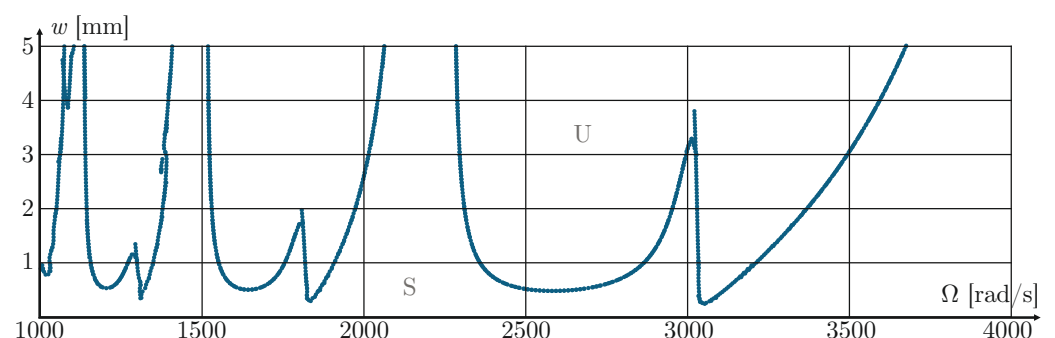


Figure 4: Stability chart of a milling model.

ZALÁN HODRUSZKI

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2019/2020/II.

Supervisor: Henrik Sykora, Engineer, sykora@mm.bme.hu

1. Introduction

Nowadays, automotive industry shows a great tendency to increase driving safety and minimise fuel consumption. To optimise fuel consumption and providing smooth traffic flow even on busier roads connected cruise control has been proposed that is based on vehicle-to-vehicle communication technology. The applied control in such a connected cruise control system must fulfil some basic requirements such as it must be plant stable and string stable as well as it must provide passenger comfort during its operation. The aim of this thesis was constructing a machine learning supported control design framework which can be used to find appropriate control parameters for connected cruise control systems with respect to the above written requirements.

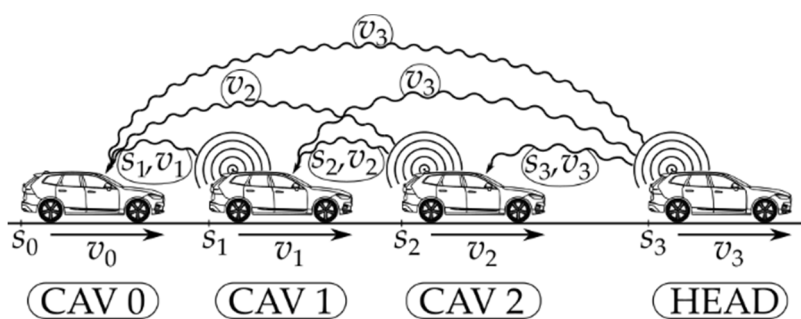


Figure 1. Model of connected cruise control

2. Applied methods

The applied connected cruise controllers were built up by using linear neural network in one hand, and nonlinear neural network on the other hand. So that, the basis of the controller design was training these neural networks. The training process was realized with the help of metaheuristic optimization methods such as Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization. Furthermore, the stability properties of the controlled system of connected automated vehicles (CAVs) were traced during the training processes. The plant stability of the system was investigated by measuring the spectral radius of the coefficient matrix that was constructed after semidiscretizing the equation of motion, while frequency transfer functions were used to measure the string stability of the controlled vehicle chain.

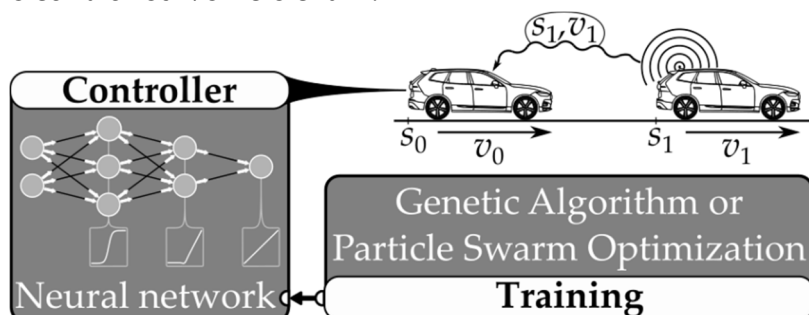


Figure 2. Applied methods

3. Results

By using the constructed machine learning supported control design framework, a complete vehicle string, which consisted of four vehicles was trained in three steps. First, the control parameters of CAV 2 then the control parameters of CAV 1 and finally the control parameters of CAV 0 were optimized. As it can be seen in (a), the derived acceleration peaks were smaller and smaller as more and more connected automated vehicles were added to the end of the vehicle chain, which meant that the trained controllers were plant stable. Furthermore, one can conclude, that the optimized vehicle chain was string stable as well, since the amplification diagrams were below the critical value, 1. Moreover, by adding more and more trained vehicles to the end of the vehicle string, the amplification characteristics improved in the introduced example.

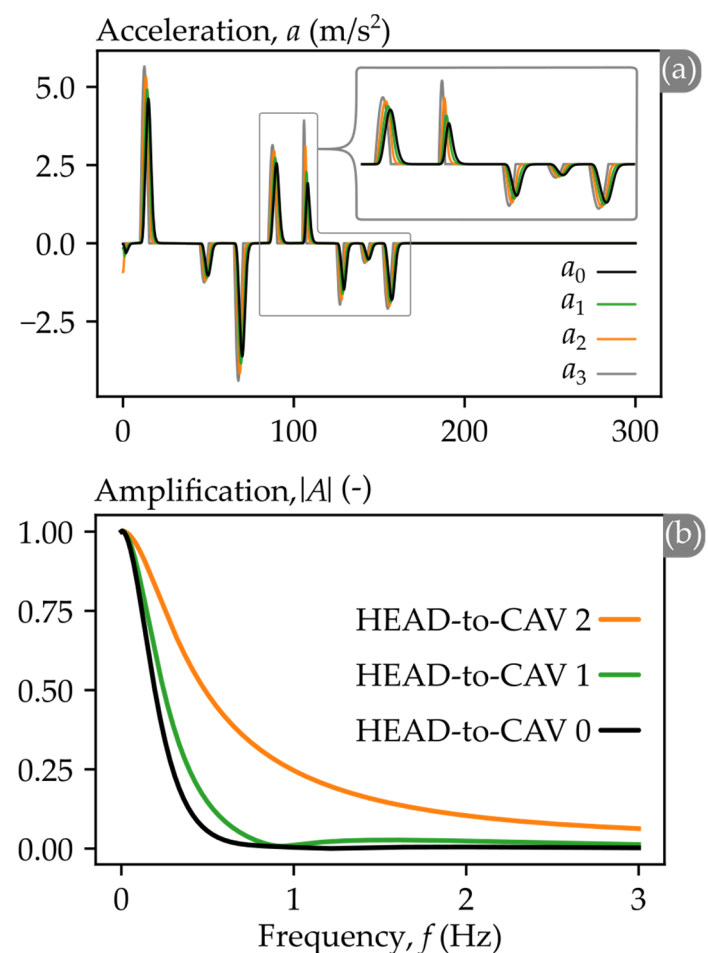


Figure 3. Acceleration diagrams of the four connected vehicles (a); and the amplification properties through the connected vehicle chain (b)

4. Summary

A machine learning supported control design which based on training neural networks was introduced. Moreover, we provided techniques of measuring plant stability and string stability properties of a vehicle chain during its control design process. It can be concluded that the constructed control design framework could produce appropriate controllers with respect to the considered requirements.

Redundáns kényszerek többtest – dinamikai rendszerek szimulációjában

BÜRGER BERTA

Gépészmérnöki MSc, Alkalmazott Mechanika Specializáció, 2019/2020/II.

Témavezető: Dr. Zelei Ambrus, tudományos munkatárs, zelei@mm.bme.hu

1. Bevezetés

A sok merev testből összeállított mechanikai rendszereket a szakirodalom összefoglalóan többtest – rendszernek (angolul: multibody system) nevezi.

A többtest – rendszerek kinematikai és dinamikai szimulációja fontos tervezési és elemzési eszköz sokféle területen – mint például az autóipar, repülőgépipar, robotika, gépészet, biomechanika, stb. –, és a véges elem módszerhez hasonlóan szerves részét képezi a számítógéppel támogatott mérnöki munkának. Míg a véges elem módszer lényegében köteget folyamat, a többtest – rendszerek elemzése interaktív és akár valós idejű is lehet.

2. Alkalmazott módszerek

A többtest – rendszer mozgását nem minimális számú, úgynevezett redundáns koordinátákkal felírva a mozgásegyenletek differenciál algebrai egyenletrendszerként alkotnak. A DAE numerikus megoldására nem létezik egyértelmű módszer.

A Baumgarte stabilizációs módszer képes a mozgásegyenletek numerikus integrálásából fakadó hibák kiküszöbölésére. A módszer lényege, hogy csillapítja a gyorsulási kényszerek megsértését a pozíció – és a sebességekényszerek visszacsatolásával. Fontos a visszacsatolási paraméterek megfelelő kiválasztása, ha a két paraméter egyenlő, az a kritikus csillapításnak felel meg, ami általában meggyorsítja a rendszer választ.

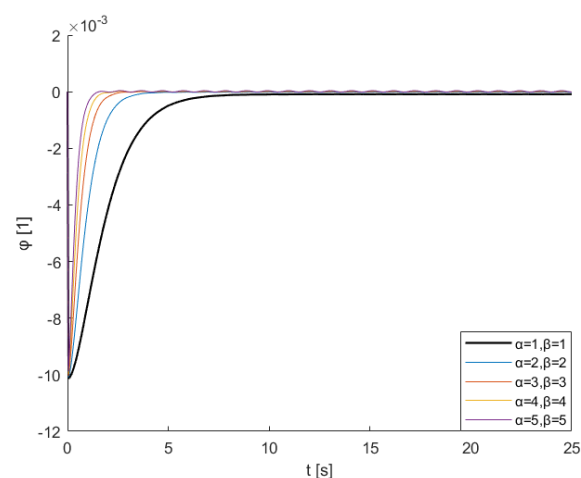
A penalty módszer kiküszöböli a Lagrange szorzókat a mozgásegyenletekből, ezáltal a gyorsulásra, mint egyetlen ismeretlenre vonatkozó közös differenciálegyenletrendszerre vezet. A mozgásegyenletekben közvetlenül megjelennek a kényszeregyenletek, egy nagy büntetési tényezővel figyelembe véve. Minél nagyobb a büntetési tényező, annál jobban teljesülnek a kényszerek, de ez a numerikus hibák növekedésének árán érhető el.

3. Eredmények

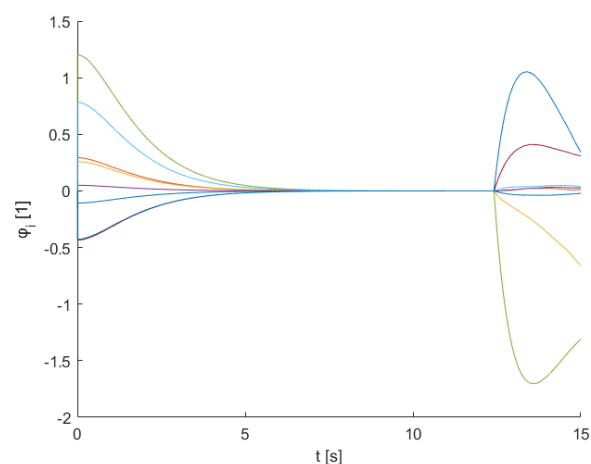
Első szemléltető példának a matematikai ingát választottam. Mindkét módszer esetén megvizsgáltam a stabilizáló paraméterek változtatásának hatását a kényszerfeltétel teljesülésének sebességére és pontosságára.

A következő vizsgált modell a négycsuklós mechanizmus volt. Megfelelő stabilizáló paraméterek megválasztása esetén a Baumgarte és a penalty módszer is kielégítette a kényszerfeltételeket, viszont a Baumgarte módszer a kinematikailag szinguláris konfigurációk közelében megbukott.

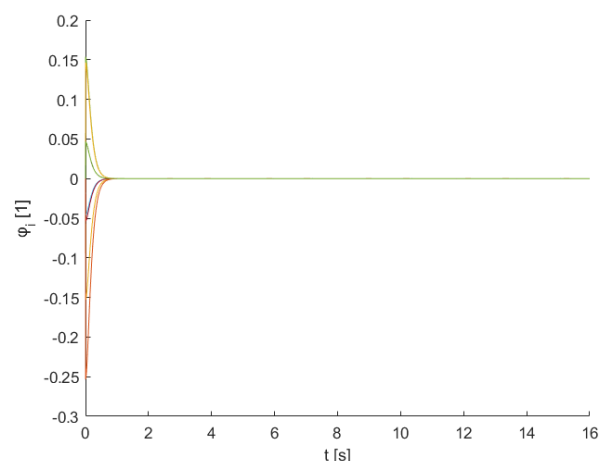
A négycsuklós mechanizmust egy plusz rúddal kiegészítve redundáns geometriai kényszer jön létre. A modellt penalty módszerrel teszteltem, ami lehetővé tette a redundáns kényszerek kezelését.



1. ábra A Baumgarte paraméterek hatása a kényszer teljesülésére matematikai ingánál



1. ábra A négycsuklós mechanizmusnál Baumgarte módszer esetén a kényszerek szinguláris konfigurációnál elszállnak



3. ábra A kényszerek teljesülése penalty módszer esetén a redundáns mechanizmusnál

4. Összefoglalás

A szakirodalom alapján tanulmányoztam a többtest – dinamikai rendszerek numerikus szimulációjára, illetve a redundáns kényszerek kezelésére szolgáló módszereket, majd ezeket alkalmaztam egy – két egyszerű többtest – dinamikai modellre redundáns és nem redundáns kényszerek esetén és összehasonlítás végeztem az algoritmusok hatékonyságával és pontosságával kapcsolatban.

Izommodellek az egyensúlyozás energetikai szükségletének vizsgálatához

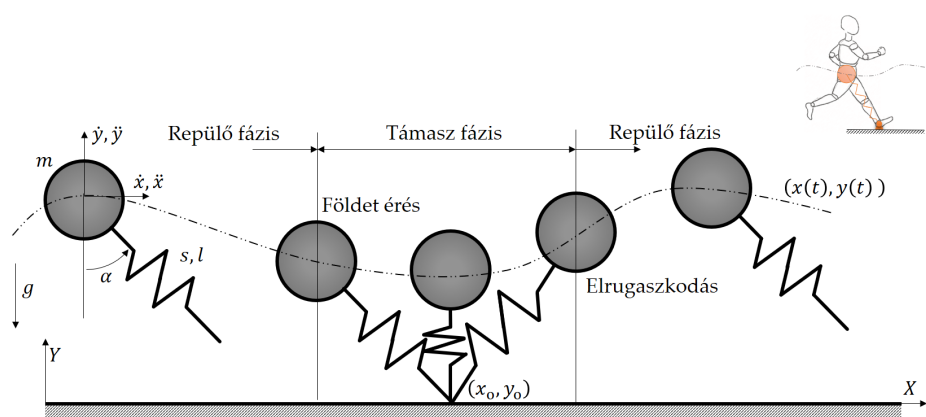
PATKÓ DÓRA

Gépészmérnöki MSc Alkalmazott Mechanika Specializáció, 2019/2020/II.

Témavezető: Dr. Zelei Ambrus, tudományos munkatárs, zelei@mm.bme.hu

1. Bevezetés

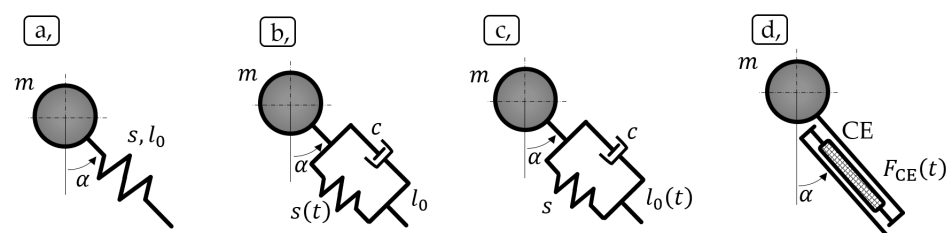
Az emberi mozgás megértése érdekes probléma. Az ezt célzó kutatások során levont következtetések sok területen felhasználhatóak. Az emberek sokféle komplex mozgást képesek végrehajtani, megismerve ennek a háttérét hatékonyabb robotokat tudnánk tervezni, valamint különböző idegrendszeri vagy mozgásszervi eltérések kiszűrésében is segíthetnek ismereteink. A két terület rehabilitációs robotok tervezésénél akár össze is kapcsolódhat. Munkám során a futást vizsgáltam különböző egyszerű mechanikai modelleken keresztül, amelyek már megfelelően visszaadták a mozgás jellemzőit. Ez a modell a szakirodalomban is gyakran használt spring loaded inverted pendulum (SLIP) modell volt, mely a 1. ábrán látható. A modell periodikus mozgást végez mely során repülő és támasz fázisok váltakoznak, azaz a leíró mozgásegyenlet szakaszosan folytonos.



1. ábra. Spring loaded inverted pendulum (SLIP) modell

2. Alkalmazott módszerek

Munkám során négy modellt vizsgáltam, melyek két nagyobb csoportba sorolhatók, és a 2. ábrán láthatók.



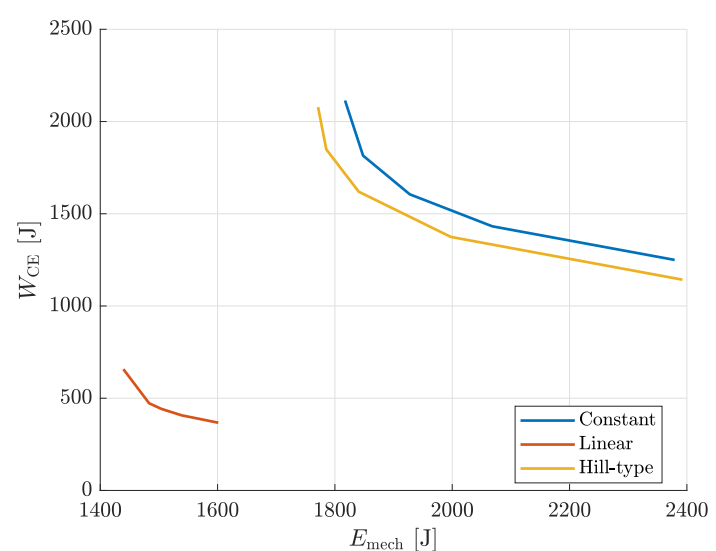
2. ábra. Vizsgált mechanikai modellek

Az első három modell mechanikai megközelítésű (mass-spring-damper (MSD) modell), az utolsó biomechanikai szemléletet tükröző neuromusculáris modell. Az utóbbira az jellemző, hogy a benne található izommodell aktív összehúzódásakor képes erőt kifejteni. Szakirodalomra ala-

pozva egyszerűsített Hill-típusú izommodellt alkalmaztam maximális aktivációs szint mellett (időfüggetlen egyenleteket eredményez), konstans erő-sebesség belső összefüggéssel. Az izommodell erő-hossz (f_l) karakterisztikáját háromféle komplexitás mellett vizsgáltam- konstans, lineáris és nem-lineáris.

3. Eredmények

Konzervatív modellek esetében is létezett aszimptotikus stabilitás. Ezeknél az egyszerű mechanikai modelleknél a külső teljesítményből számított munka az ellentettje a csuklónyomatéki módszer által kijött értéknek. Amennyiben a teljesítmények abszolút értékét vesszük a fent említett értékek számításánál visszkapjuk az izmok mechanikai munkáját konzervatív rendszerek esetében. Az izmok mechanikai munkája egy támaszfázis alatt különböző f_l összefüggések alkalmazása során a 3. ábrán látható a periodikus mozgás mechanikai energia szintjének függvényében.



3. ábra. Izmok mechanikai munkája különböző erő-hossz összefüggések esetén

4. Összefoglalás

Ilyen egyszerű modelleknél az izmok mechanikai munkája visszakapható szakirodalomban használt becslő kifejezés használatával. Lineáris f_l függvény alkalmazásánál a legkisebb ez a munka, de a stabil tartomány is jóval kisebb, mint a másik két reláció esetében. Konstans f_l összefüggésnél szükséges a legnagyobb munka a mozgás fenntartásához. Nem-lineáris f_l esetében a legnagyobb a stabil tartomány. Csillapítást tartalmazó modelleknél a rugómerevség szabályozás energia hatékonyabb, mint a rugóhossz szabályozás.

Relatív deformáció számítási módszer fejlesztése Ansys véges- elem szoftverben

HORVÁTH BENDEGÚZ BALÁZS

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2019/2020/II.

Témavezető: Dr. Hénap Gábor, adjunktus, henap@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Az ansys végeelem szoftverben lekérhető az egyes elemek elmozdulása. Azonban ez nem minden esetben egyezik meg a terhelés hatására létrejövő elmozdulással. Nagy, nem lineáris elmozdulások, vagy hőágulások, illetve összeállításoknál az egyes alkatrészekről átadódó elmozdulások miatt, merevtest szerű mozgások torzíthatják az adott elem deformációját. Az iparban azonban előfordulhat azonban, hogy tisztán a terhelésből adódó elmozdulás érték ismeretére van szükség. Szakdolgozatom célja, hogy az Ansys saját program nyelvén, a mechanical apdl-ben egy számítási módszer fejlesztése, ami a post processzorba beszúrva alkalmas a tisztán terhelésből fakadó, úgynevezett relatív deformáció meghatározására.

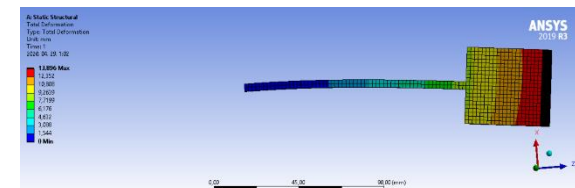
2. Alkalmazott módszerek

A számítási módszer alapja a cégnél rendelkezésre álló metódus volt, amivel kétdimenziós esetben kiszámítható a relatív deformáció. A megoldás lényege, hogy meg kell találni azt az elemet, aminek a legkisebb az alakváltozási energiája. Ennek az elemnek az elmozdulása jó közelítéssel tisztán merevtest szerű elmozdulás. Ezután a vizsgálandó geometria összes elemének az elmozdulása összehasonlítható a referencia elem elmozdulásával úgy, hogy közös koordináta rendszerbe transzformáljuk őket. Szakdolgozatom célja ennek a módszernek a továbbfejlesztése, úgy háromdimenziós szimulációknál is alkalmazható legyen.

A számítási módszer alapja a cégnél rendelkezésre álló metódus volt, amivel kétdimenziós esetben kiszámítható a relatív deformáció. A megoldás lényege, hogy meg kell találni azt az elemet, aminek a legkisebb az alakváltozási energiája. Ennek az elemnek az elmozdulása jó közelítéssel tisztán merevtest szerű elmozdulás. Ezután a vizsgálandó geometria összes elemének az elmozdulása összehasonlítható a referencia elem elmozdulásával úgy, hogy közös koordináta rendszerbe transzformáljuk őket. Szakdolgozatom célja ennek a módszernek a továbbfejlesztése, úgy háromdimenziós szimulációknál is alkalmazható legyen.

A számítási módszer alapja a cégnél rendelkezésre álló metódus volt, amivel kétdimenziós esetben kiszámítható a relatív deformáció. A megoldás lényege, hogy meg kell találni azt az elemet, aminek a legkisebb az alakváltozási energiája. Ennek az elemnek az elmozdulása jó közelítéssel tisztán merevtest szerű elmozdulás. Ezután a vizsgálandó geometria összes elemének az elmozdulása összehasonlítható a referencia elem elmozdulásával úgy, hogy közös koordináta rendszerbe transzformáljuk őket. Szakdolgozatom célja ennek a módszernek a továbbfejlesztése, úgy háromdimenziós szimulációknál is alkalmazható legyen.

3. Eredmények



Pótkocsis Járműszerelvény Stabilizálása Állapotvisszacsatolással és Kálmán-szűrővel

HAVJÁR BOGDÁN

Mechatronikai mérnöki BSc, Gépészeti Modellezés Specializáció, 2019/2020/II.

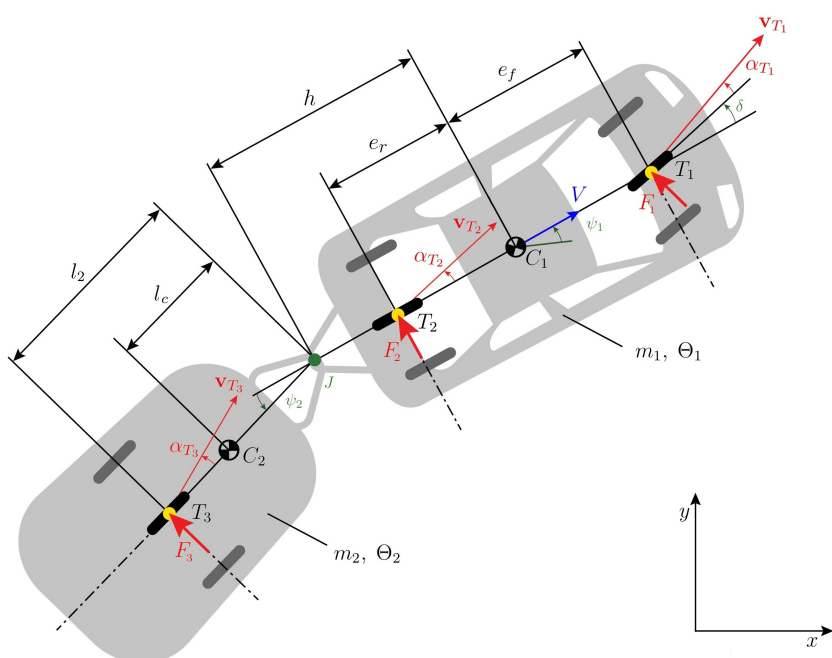
Témavezető: Vörös Illés, doktorandusz, illes.voros@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Manapság egyre gyakoribban láthatunk különböző pótkocsis járműszerelvényeket az utakon, melyek felépítésükből adódóan egy átlagos személygépjárműtől jelentősen eltérő dinamikával rendelkeznek. A dolgozatban különböző módszereket mutatok be egy pótkocsis járműszerelvény szabályozására, majd numerikus szimulációk segítségével ellenőrzöm az elméletben tárgyalt robusztusságát, gyakorlati alkalmazhatóságát.

2. Alkalmazott módszerek

A rendszer matematikai leírásához egynyomvonalú járműmodellt, úgynevezett biciklimodellt alkalmaztam, majd a mozgásegyenleteket az Appell-Gibbs egyenletek segítségével hoztam létre. A kerékerők számításához egy kvázistacionárius kerékmodellt alkalmaztam.



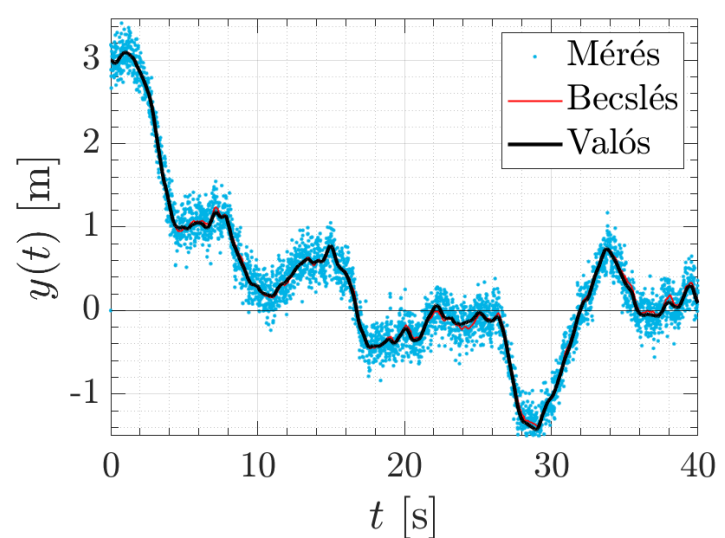
1. ábra. Mechanikai modell

A szerelvényt állapotvisszacsatolással szabályoztam. A dolgozatban bemutattam a visszacsatolás tervezésének elméleti hátterét, és foglalkoztam az állapotbecslés problémájával. Bemutattam, hogyan lehet a folytonos időbeli ismeretek segítségével diszkrét állapotvisszacsatolást tervezni. Az ismeretlen állapotok becslését három különböző módszerrel végeztem: általános, úgynevezett Luenberger féle állapotbecslővel, a Kálmán szűrővel, és végül a kiterjesztett Kálmán szűrővel.

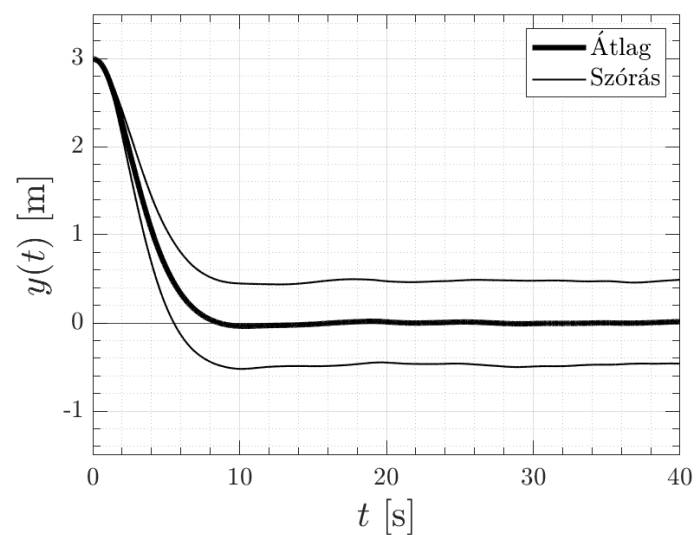
Foglalkoztam a rendszert terhelő különböző zajokkal, melyeket a helyes numerikus szimuláció érdekében elsőrendű színes zajfolyamatokként modelleztem, és az Euler-Maruyama módszer szerint vettem figyelembe.

3. Eredmények

A különböző állapotbecslő algoritmusok tesztelését MATLAB környezetben végeztem. A sztochasztikus hatások kiküszöbölése végett Monte-Carlo módszerrel is végeztem szimulációkat, végül pedig vizsgáltam a paraméterváltozások hatását, és a kiterjesztett Kálmán szűrő paraméterbecslési képességeit.



2. ábra. Kálmán szűrő rendszer, és mérési zaj mellett



3. ábra. Monte Carlo szimuláció eredménye

4. Összefoglalás

A várakozásoknak megfelelően a Kálmán szűrő sokkal pontosabb szabályozást tesz lehetővé az általános állapotbecslőhöz képest. A legjobb eredményeket természetesen a kiterjesztett Kálmán szűrő szolgáltatja. Láthatjuk továbbá hogy a különböző paraméterek különböző mértékben befolyásolják a rendszer stabilitását, a szabályozás pontosságát.

Surgical reconstruction technique investigation after total en bloc sacrectomy with the use of the finite element method

MÁTÉ TURBUCZ

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2019/2020/II.

Supervisor: Dr. Attila Kossa, Associate Professor, kossa@mm.bme.hu

Advisor: Dr. Péter Endre Éltés, Spine surgeon, peter.eltes@bhc.hu (In Silico Biomechanics Laboratory)

1. Introduction

Sacral tumours are rare pathologies, hence their management generates a complex medical problem. In silico medicine, including finite element (FE) analysis based methods, plays a crucial role in the realization of individualized treatments and surgeries in pre-surgical planning. My thesis aimed to develop a workflow for the FE investigation of different lumbopelvic reconstruction techniques after en-bloc sacrectomy due to sacral chordoma.



Figure 1.: Giant sacral chordoma. A photograph lateral view, B pre-op CT scan, C-D postoperative CT scan based reconstruction (Varga et al. 2009)

2. Methods

2.1. Development of the lumbar spine FE model

In the first part of my thesis, the geometry of a 24 years old male patient's lumbar spine was defined based on computed tomography (CT) images.

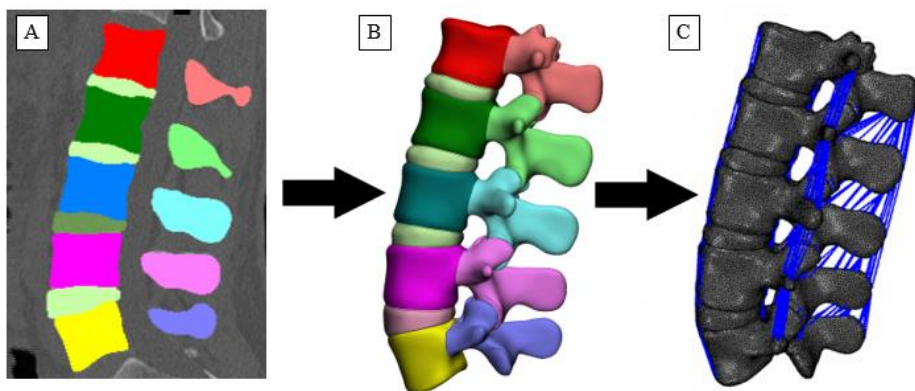


Figure 2.: Lumbar spine FE model development based on CT scans

The developed model consisted of separate cortical and cancellous bony structures, vertebral endplate and posterior elements. The intervertebral disc (IVD) was modelled with semi-automatic methods, since the soft tissues cannot be seen on the CT scans. The IVD consisted of the cartilaginous endplate, the nucleus pulposus and the annulus fibrosus. All seven spinal ligaments were added to the FE model. Materials were assigned according to the literature. The bony and soft tissues were modelled with ten-node tetrahedron elements, while the ligaments as two-node truss elements, with tension only properties. The load-displacement curve of the lumbar spine was obtained and compared to literature data.

2.2. Development of the lumbopelvic reconstruction FE models

In the second part of my thesis, two different lumbopelvic reconstruction technique was modelled and integrated to the lumbar spine model. The closed loop technique (CLT) and the sacral-rod reconstruction technique (SRR) were analysed. The models were loaded with pure moment in the three anatomical planes to simulate flexion/extension, lateral bending and axial torsion, while the standing was simulated with the follower load technique. The inferior surface of the most caudal vertebra was fixed; the moment

was applied on the superior endplate of the most cranial vertebra. These two systems were compared based on the range of motion and the maximal von Mises stress values.

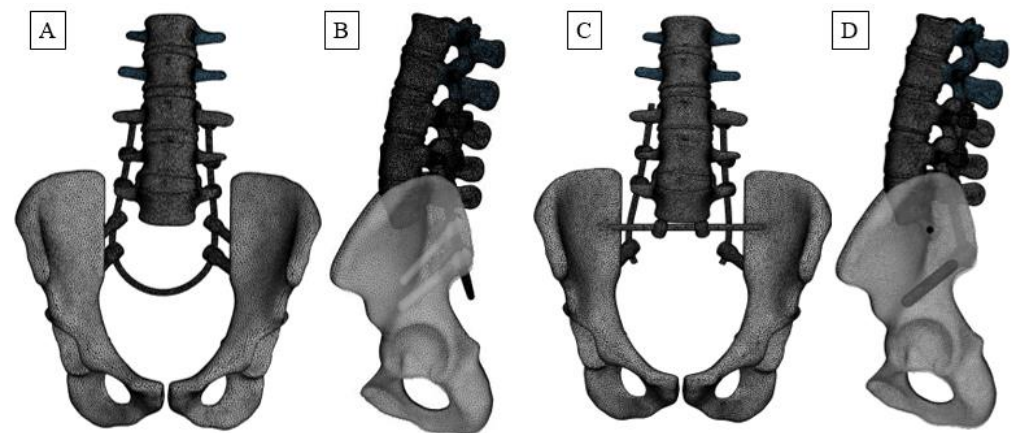


Figure 3.: The CLT and the SRR geometry model

3. Results

The results of the first part show that the characteristic of the load-displacement curve of this FE study is linear.

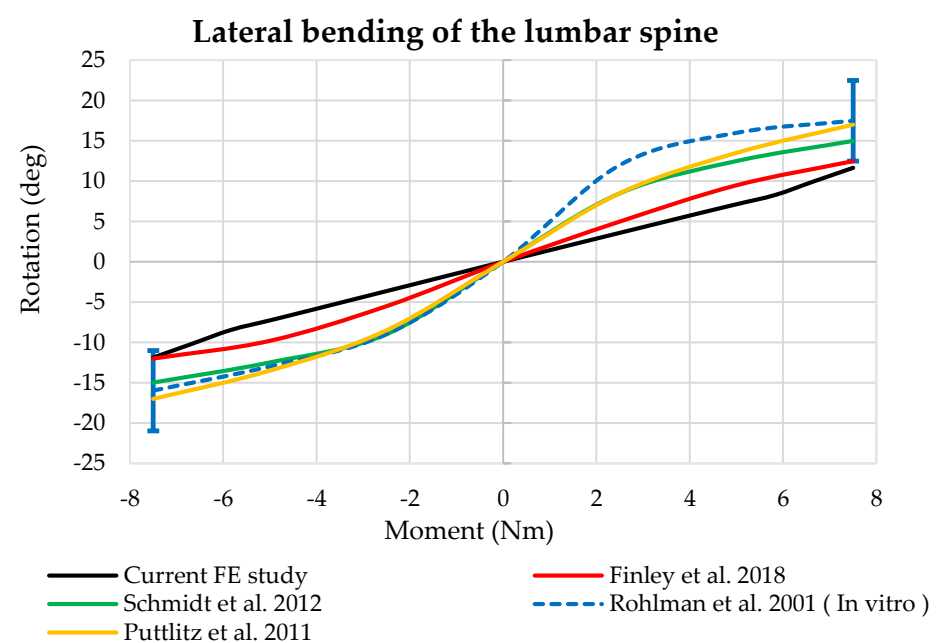


Figure 4.: The load-displacement curve against lateral bending

The speciality of the CLT system over the SRR is the application of a single U-shaped rod. Thus, the systems have more harmonic stress distribution and more ability to deform. The results of the second part show that the CLT induce higher deformation values and lower stress values.

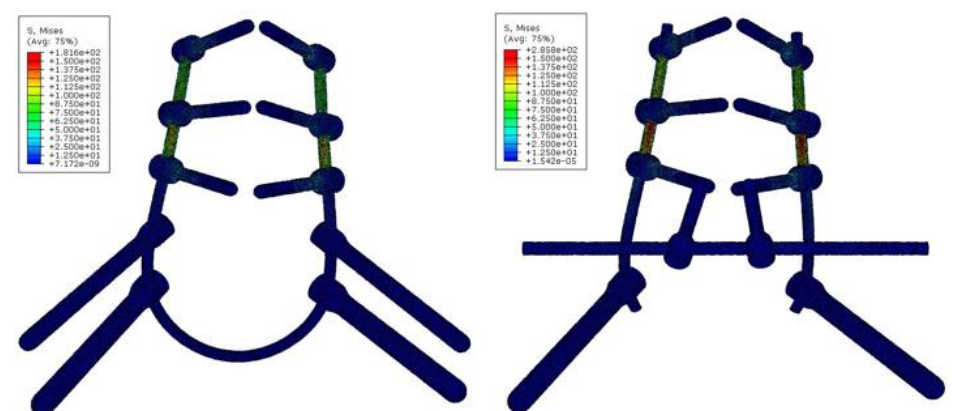


Figure 5.: The CLT and SRR against standing load

4. Summary

The developed lumbar spine model can be used for comparative FE studies, but to achieve a better fit of the curve the modelling approaches must reconsider. The two reconstruction systems were evaluated. We can state that the CLT was the more advantageous from the biomechanical point of view.

Effect of air-damping on the function of a capacitive micro actuator

ZHU CAISHENG

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2019/2020/ II.

Supervisor: Dr. Kovács Ádám, associate professor, adamo@mm.bme.hu

1. Introduction

MEMS devices are widely used among industries and our life. Many MEMS devices employ a parallel-plate capacitor, in which one plate is actuated electrically and its motion is detected by capacitive changes. Here, we consider a special device: micro-switch, which is a capacitor formed by two parallel rectangular plates, in which one of them is kept stationary while the other is allowed to move only toward the stationary electrode. This configuration (see Figure 1) can trap air between two plates, which can cause air damping effect. Air damping effect is usually neglected in macro world, but it may cause significant effect in micro world. In order to increase the efficiency of actuation and improve the sensitivity of detection, the air damping effect will be investigated.

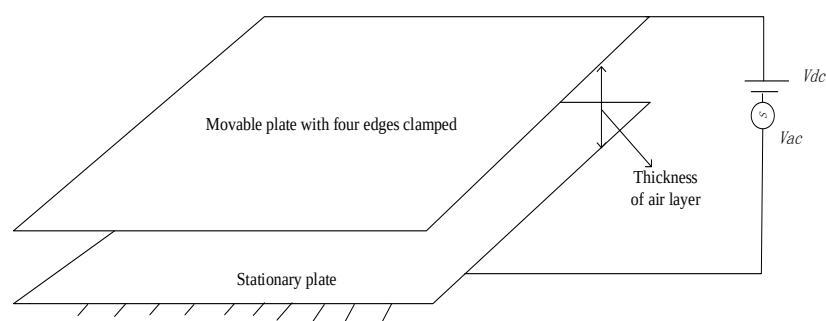


Figure 1: A schematic shows a parallel plate capacitor

2. Applied methods

The configuration of our model is a movable plate with four edges fixed and an air layer under movable plate. In this way, when the movable plate is actuated electrically or a pressure applied on the movable plate, the movable plate will be forced to have a deformation, but the deformation looks like a bowl, which makes the measurement of the capacitance is extremely difficult. So, the method we use is to construct a FE-model by ANSYS according to given data, then divide the movable plate in many elements, by using Simpson's rule to calculate the deflection of the movable plate after deformation for small element, then capacitance for small element can be obtained. The total capacitance can be acquired by summing all small capacitance together, then the sensitivity of the micro-switch can be calculated.

Besides, to acquire critical voltage of micro-switch, coupled fields was used in ANSYS.

3. Results

The deflection of center line in the bottom of damped and undamped models are plotted in Figure 2. As can be seen, except the deflection at center of the movable plate has a few differences between damped and undamped model, others are almost same.

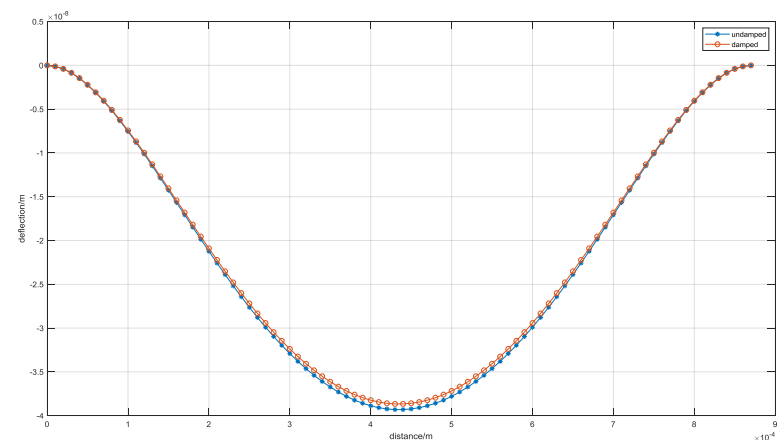


Figure 2: Deflection of undamped and damped of center line at bottom of the plate

By calculating, this slight difference cannot have obvious negative effect on sensitivity. To find the influence factors of sensitivity, models with different geometry and material parameter were simulated, I found that to obtain higher sensitivity, use smaller initial gap distance, thinner movable plate or smaller Young's Modulus would be helpful, these can also have a positive influence to decrease critical voltage to realize the aim of saving power.

4. Summary

To gain higher sensitivity, we can start from optimizing the geometry and material parameters. Air damping does have negative effect on MEMS devices, but for our model, in which the movable plates with four edges clamped, air damping does not have a significant influence on sensitivity so that air damping effect here can be neglected. This can be explained by this statement: our movable plate is four edges fixed, under this circumstance, deformation is limited when actuated force not so big, the damping effect brought by air damping can be neglected compared to the effect brought by constrained edges.

Development of Simplified Simulation Approach of Screwing Process Focusing on PCB Strains in Airbag ECU Manufacturing

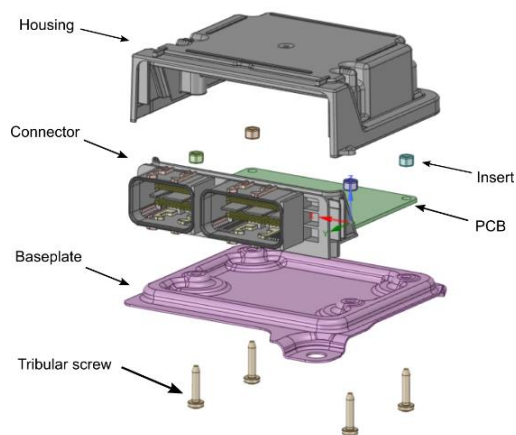
KISS BÁLINT

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2019/2020/II.

Supervisor: Dr. Hénap Gábor, assistant professor, henap@mm.bme.hu

1. Introduction

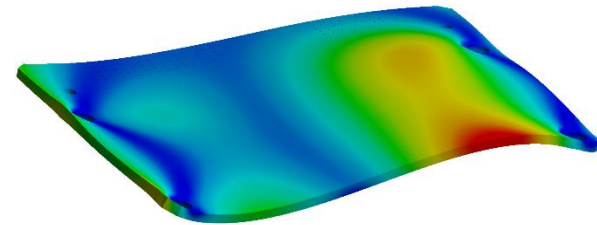
Airbag is a passive safety system which offers the best possible protection in case of an unavoidable accident. In order to achieve high reliability for the Electronic Control Unit (ECU), the developments are supported with numerical simulations. The ECU is exposed to several kind of loads considering both manufacturing and field usage. The Printed Circuit Board (PCB) is a component of the ECU which is responsible for carrying and connecting electrical components of the controller. Some of these electronic components are extremely sensitive to the strains the PCB is subjected to. One of the origins of the PCB strain is the screwing process step during the assembly of the ECU. A reliable FE model for the screwing process is a fundamental tool to predict the occurring strains and this way provide an input for the engineers responsible for the layout of the electronic components.



1. Figure Exploded view of an Electronic Control Unit

2. Applied methods

Considering the deviations of the sizes due to the manufacturing of certain components of the ECU, Monte Carlo simulation approach was used. Monte Carlo technique is any technique making use of random numbers, in our case it is the different values of certain sizes inside the prescribed tolerance range. Even if all the components are manufactured inside the accepted range, excessive strains might occur on the PCB, mainly due to the bending of the PCB induced by the deviation from the nominal values of the baseplate. Since a high number of simulation (~1000) is needed for the Monte Carlo approach, an FE model which has quick computational time with accurate result is needed. In this work first an FE model with all components of the ECU is created which served as a reference for later simplifications.

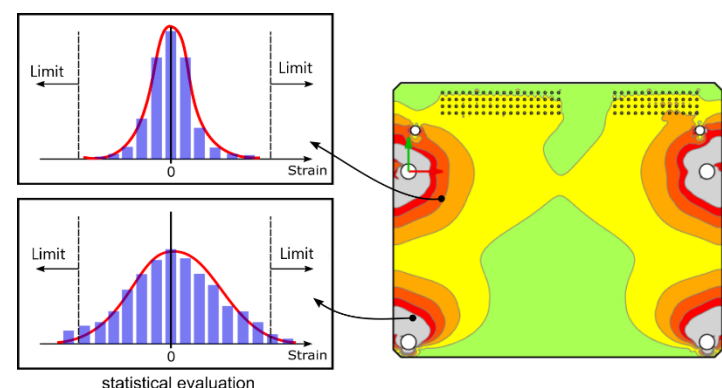


2. Figure Deformed shape of the PCB due to the deviation of components

The simplification of the model was carried out in a structured way and parameters which aim to compensate of the effects of simplifications were optimized with the help of the Design of Experiment approach. Statistical evaluation to the high number of simulation is applied, at every point of the PCB a normal distribution is fitted to the strain values and then evaluated for 5σ deviation.

3. Results

The FE model was successfully simplified and while the computational time was reduced to 1% of the original model, the accuracy remained in an acceptable region. A code was developed using the randomly generated input tolerances for different design scenarios. Utilizing the developed method more reliable strain maps can be generated from the result of the Monte Carlo simulation which finally determines the possible placement of certain electronic components on the PCB.



3. Figure Taboo zones for electronic components

4. Summary

A method has been developed for the prediction of PCB strains making use of high number of simulations and statistical evaluation. The developed FE model is suitable for executing the simulation of the screwing process including the deviations of the components which primarily determines the deformation of the PCB.

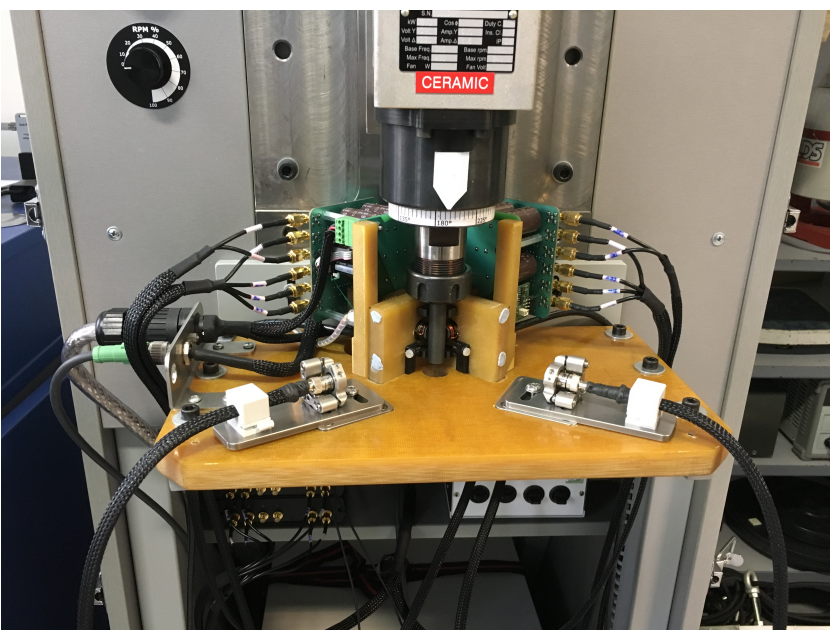
KOSZTYU KONRÁD

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2019/2020/II.

Témavezető: Dr. Miklós Ákos, egyetemi docens, miklosa@mm.bme.hu

1. Bevezetés

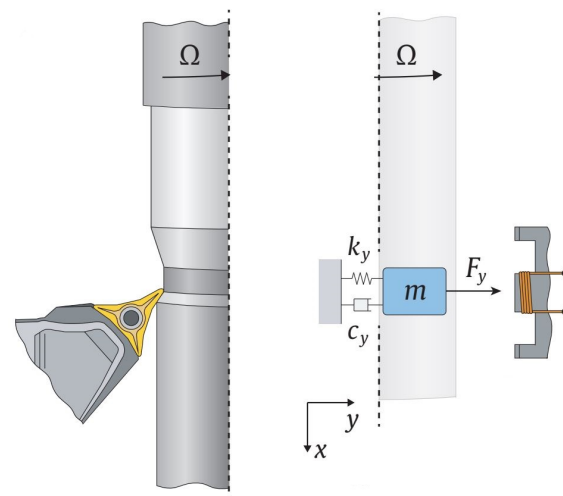
Az iparban nélkülözhetetlen a gyártási folyamat, valamint a kész termékek folyamatos mérése, ellenőrzése. Drága berendezések esetén gyakran nincs lehetőség közvetlenül a berendezésen végezni kísérleteket, mert azok adott esetben károkat okozhatnak, ami jelentős kiadásokkal járna. Ugyanakkor összetett rendszer esetén a számítógépes szimuláció sem egyértelmű megoldás, mert ha sok tag van egymással kapcsolatban, a számítás lassúvá, nehezkessé válhat és az eredmény jóval eltérhet a valóságtól. Erre kínál megoldást a Hardware in the Loop környezet, mely lehetővé teszi, hogy egy meglévő redszert leegyszerűsítsünk, a rendszer egy részét kiválasszuk egy olyan egyszerűbb hardverrel, ami ugyanolyan jeleket ad és fogad, ugyanúgy viselkedik. Ez a dolgozat egy ilyen, esztergálási folyamat szimulálására használt HIL rendszert mutat be, mely a Műszaki Mechanika Tanszéken készült és a SIREN nevet viseli. A rendszer segítségével az esztergálásnál használt stabilitási térképek készíthetők a gép épségének kockáztatása nélkül.



1. ábra. SIREN HIL berendezés

2. Alkalmazott módszerek

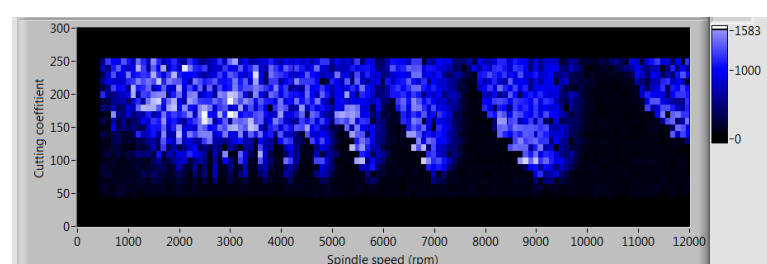
A berendezéssel végzett kísérlet során a szerszám által kifejlesztett vágóerőt elektromágneses aktuátorokkal emulált mágneses erővel helyettesítjük. A valódi főorsó elmozdulását lézer alapú elmozdulásérzékelőkkel mérjük. Az érzékelők által mért elmozdulásértékeket az adott elmozdulás pillanatában mért szögpozícióértékekkel tároljuk. Ezekből az értékekből számoljuk vissza az erő nagyságát egy linearizált formula segítségével.



2. ábra. Vágóerő emulálása

3. Eredmények

A mérés során több kísérletet végzünk. A forgácsolási együtthatót konstansként tartva változtatjuk a fordulatot egy adott tartományon. Ha végigértünk a tartományon, változtatunk a forgácsolási együtthatón. Minden forgácsolási együttható-fordulat párhoz tartozik egy elmozdulás-szögpozíció diagram, ami alapján eldöntjük, hogy a folyamat stabil-e az adott paraméterkombináció esetén. A paraméter párokra kapott eredményeket összegezzük és így kapjuk a stabilitási térképet. Egy stabilitási térkép elkészítése 8 órát vesz igénybe, amit a rendszer automatizáltan megcsinál.



3. ábra. kész stabilitási térkép

4. Összefoglalás

A dolgozat célja a rendszer működésének, főbb elemeinek és a köztük lévő kapcsolat bemutatása volt. Ezenkívül bemutattam az elmozdulásérzékelő mintavételezését, az erő számításának matematikai alapját. A HIL rendszerre még további fejlesztések várnak, melyek lehetővé teszik a hatékonyabb felhasználását. Egy konzolosítható verzió segítheti az iparban való elterjedését.

Surgical reconstruction technique investigation after total en bloc sacrectomy with the use of the finite element method

MÁTÉ TURBUCZ

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2019/2020/II.

Supervisor: Dr. Attila Kossa, Associate Professor, kossa@mm.bme.hu

Advisor: Dr. Péter Endre Éltés, Spine surgeon, peter.eltes@bhc.hu (In Silico Biomechanics Laboratory)

1. Introduction

Sacral tumours are rare pathologies, hence their management generates a complex medical problem. In silico medicine, including finite element (FE) analysis based methods, plays a crucial role in the realization of individualized treatments and surgeries in pre-surgical planning. My thesis aimed to develop a workflow for the FE investigation of different lumbopelvic reconstruction techniques after en-bloc sacrectomy due to sacral chordoma.



Figure 1.: Giant sacral chordoma. A photograph lateral view, B pre-op CT scan, C-D postoperative CT scan based reconstruction (Varga et al. 2009)

2. Methods

2.1. Development of the lumbar spine FE model

In the first part of my thesis, the geometry of a 24 years old male patient's lumbar spine was defined based on computed tomography (CT) images.

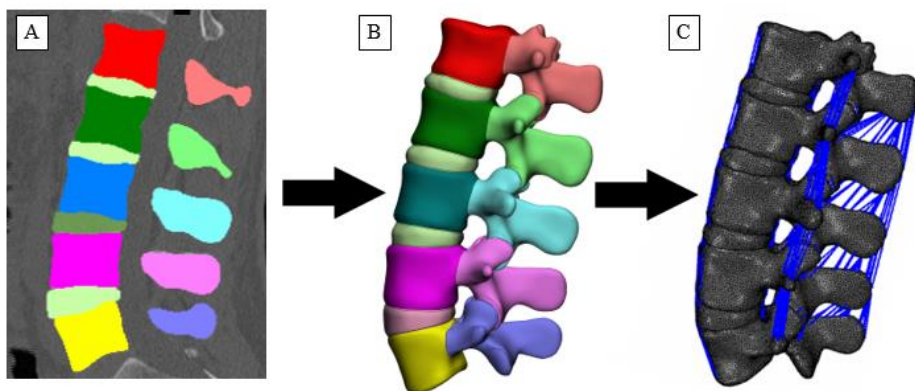


Figure 2.: Lumbar spine FE model development based on CT scans

The developed model consisted of separate cortical and cancellous bony structures, vertebral endplate and posterior elements. The intervertebral disc (IVD) was modelled with semi-automatic methods, since the soft tissues cannot be seen on the CT scans. The IVD consisted of the cartilaginous endplate, the nucleus pulposus and the annulus fibrosus. All seven spinal ligaments were added to the FE model. Materials were assigned according to the literature. The bony and soft tissues were modelled with ten-node tetrahedron elements, while the ligaments as two-node truss elements, with tension only properties. The load-displacement curve of the lumbar spine was obtained and compared to literature data.

2.2. Development of the lumbopelvic reconstruction FE models

In the second part of my thesis, two different lumbopelvic reconstruction technique was modelled and integrated to the lumbar spine model. The closed loop technique (CLT) and the sacral-rod reconstruction technique (SRR) were analysed. The models were loaded with pure moment in the three anatomical planes to simulate flexion/extension, lateral bending and axial torsion, while the standing was simulated with the follower load technique. The inferior surface of the most caudal vertebra was fixed; the moment

was applied on the superior endplate of the most cranial vertebra. These two systems were compared based on the range of motion and the maximal von Mises stress values.

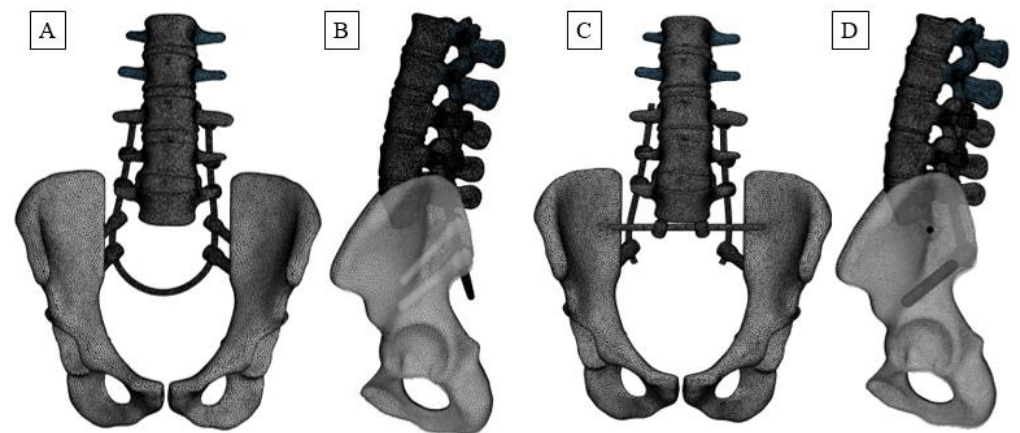


Figure 3.: The CLT and the SRR geometry model

3. Results

The results of the first part show that the characteristic of the load-displacement curve of this FE study is linear.

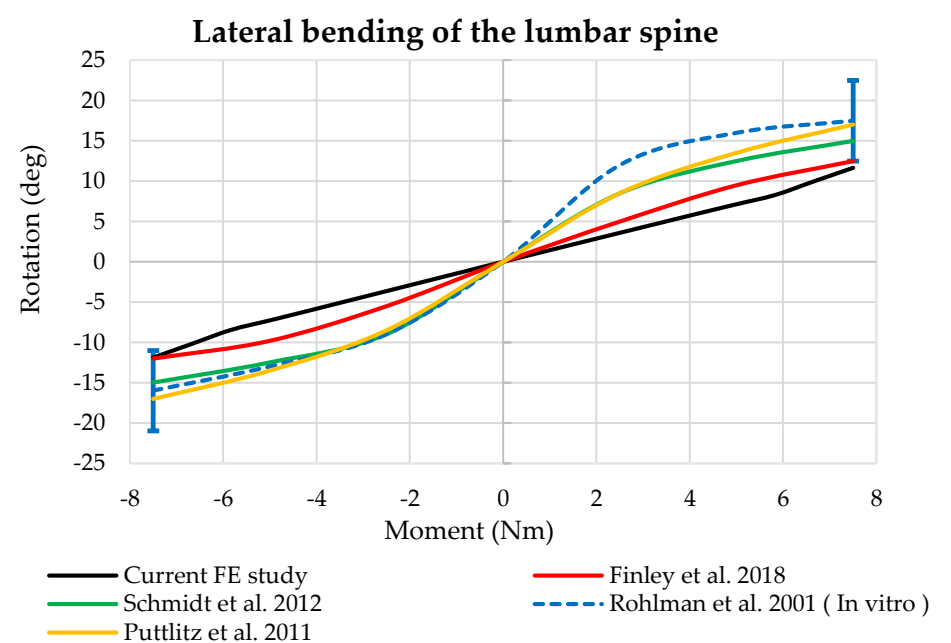


Figure 4.: The load-displacement curve against lateral bending

The speciality of the CLT system over the SRR is the application of a single U-shaped rod. Thus, the systems have more harmonic stress distribution and more ability to deform. The results of the second part show that the CLT induce higher deformation values and lower stress values.

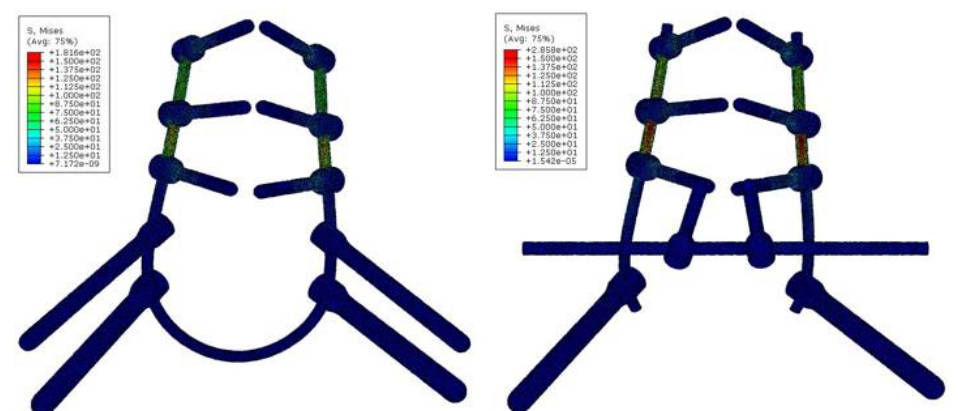


Figure 5.: The CLT and SRR against standing load

4. Summary

The developed lumbar spine model can be used for comparative FE studies, but to achieve a better fit of the curve the modelling approaches must reconsider. The two reconstruction systems were evaluated. We can state that the CLT was the more advantageous from the biomechanical point of view.

Dynamics of Slow Speed Motion of Driverless Motorcycle

ZSOLT BOTTYÁN

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2019/2020/II.

Supervisor: Dr. Dénes Takács, Ph. D., associate professor, takacs@mm.bme.hu

1. Introduction

In this thesis, we examined the dynamics and the stability of a driverless motorcycle at slow speed. We built a basic mechanical model, which consists of four rigid bodies. Two rigid wheels, of which thickness were considered to be zero, a rigid fork and a rigid frame. The front wheel can be steered by steering the fork. The steering is ensured by a one-degree-of-freedom revolute joint, which is attached to the frame. The rear wheel is mounted on the frame, see Figure 1.

The task was to design a control algorithm, which stabilizes the motorcycle's roll motion at low speeds. To achieve this, kinematic constraints were prescribed, and the pitch motion was approximated. The equations of motion were derived by Kane's method.

The Jacobian matrix was calculated numerically. PD-controllers were used to stabilize the motorcycle.

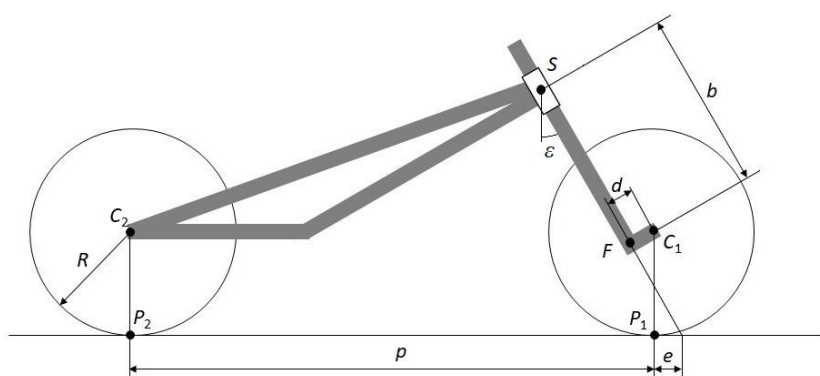


Figure 1: The used motorcycle model

2. Applied methods

The motorcycle's wheels roll on the ground, therefore their contact points' velocities are zero. We prescribed that both wheels are on the ground. From this fact we derived a geometric constraint, which helped us to eliminate the pitch motion from the equations due to an approximation. From the wheels' rolling we could derive four kinematic constraints. The angular velocity of the rear wheel is controlled by us, which gave another kinematic constraint. The five kinematic constraint reduced the number of degrees of freedom from seven to two. Applying Kane's method, the mechanical system needs to be divided into generalized active and generalized inertial forces.

According to Kane, the sum of the generalized active and generalized inertial forces is zero.

$$F_i + F_i^* = 0$$

After determining the equations of motion, the Jacobian was calculated numerically, and PD-controllers were used to stabilize the system.

3. Results

We used a PD-controller, which controls the steering angle and the roll angle, as well.

Fortunately, we found a stable parameter domain at a speed of 0.9 km/h, see Figure 2. This means that the motorcycle's roll motion can be stabilized.

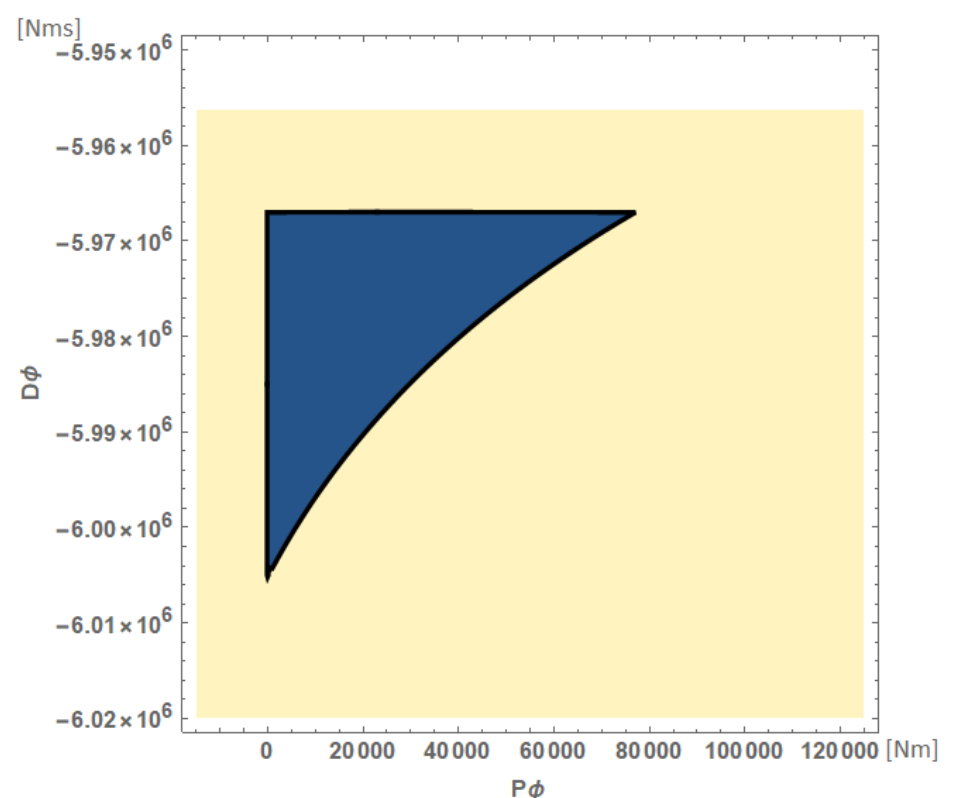


Figure 2: The stable parameter domain

4. Summary

With the help of Kane's method, it was relatively easy to derive the equations of motion. The used mechanical model can be stabilized around its zero roll angle by using a basic PD-controller on the roll angle and on the steering angle. For further investigations using a more complex mechanical model would be of interest.