

NAGY TELJESÍTMÉNYŰ EGYEDI GEOMETRIÁJÚ HAJTÁS TERVEZÉSE

BAKONYI DÁVID

Gépészmérnöki MSc, Alkalmazott Mechanika Specializáció, 2022/2023/II.

Témavezető: Dr. Bachrathy Dániel Sándor, egyetemi docens, bachrathy@mm.bme.hu

1. Bevezetés

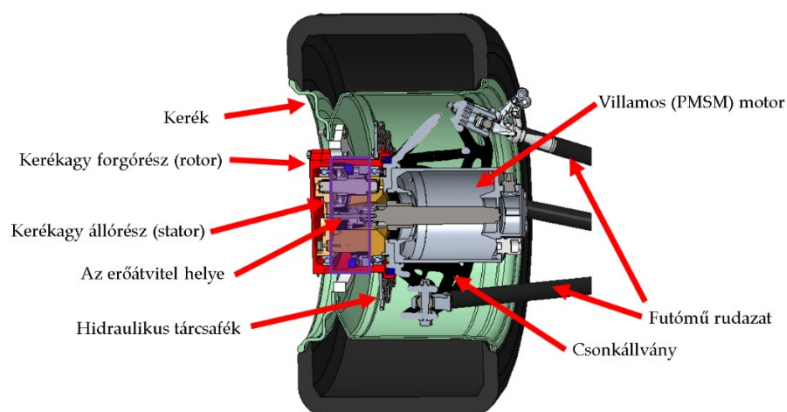
Szakdolgozatom a BME Formula Racing Team 2023-as elektromos önzvezető versenyautójának hajtáslánccával és annak fejlesztésével foglalkozik. A cél egy olyan hajtómű kifejlesztése volt, ami az autót hajtó motorokkal, a kerékagyakkal és csonkállvánnyal együtt elfér a kereken belül, javítva az autó aerodinamikai és járműdinamikai tulajdonságait. Továbbá lehetővé teszi a csapat számára, elkerülje a fogaskerék gyártás körülményességét és akár fogaskerekek nélkül is üzemeltetni tudja az autót. A tervezés legnagyobb kihívásait az átvinni kívánt 350Nm nyomaték, a 21500 1/perc bemeneti fordulatszám és a $30\frac{m}{s^2}$ oldalgyorsulás lehetővé tette.



1. ábra. A BME-FRT FRED-003B kódjelű versenyautója

2. Alkalmazott módszerek

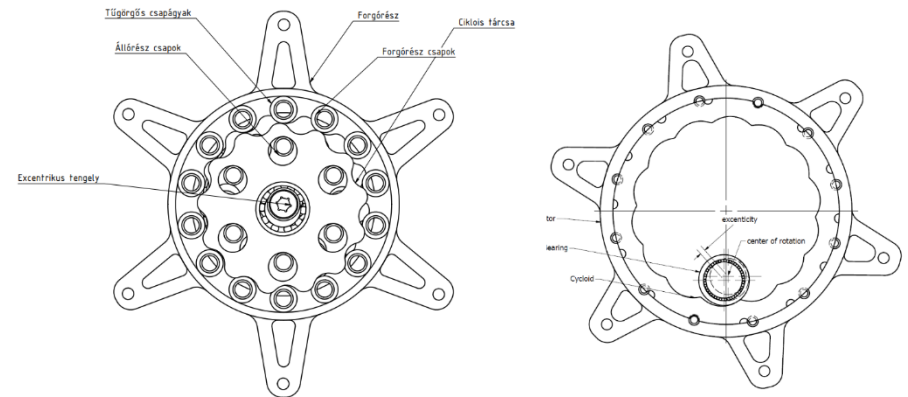
A feladat megvalósításához két szokatlan hajtás koncepció lett megvizsgálva a korábban használt bolygóművek leváltására. Az excentrikus ciklois hajtómű és a hagyományos ciklois hajtómű. Ezeket a 2. ábrán látható szűk helyre kellett megpróbálni beépíteni.



2. ábra: A kerékagy összeállítás vázlata

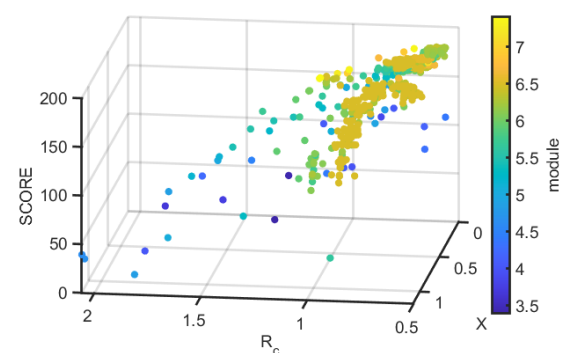
Ennek érdekében a hajtóművekben ébredő belső erők kiszámítására és elemzésére komplex mechanikai modellek lettek felírva. Amik a Hertz-féle kontakt modell segítségével a terhelés és a pillanatnyi szöghelyzet függvényében meg tudja adni a 3 ábrán vázolt szerkezetekben a gördülő felületek között

A modellek ismeretében genetikusan algoritmus segítségével keressük meg a belső szerkezetet meghatározó szabad paramétereknek azon értékeit, amik a legkisebb erőkkel tudnak működni, annak érdekében, hogy minél kisebb és könnyebb összeállítást tudjunk építeni.



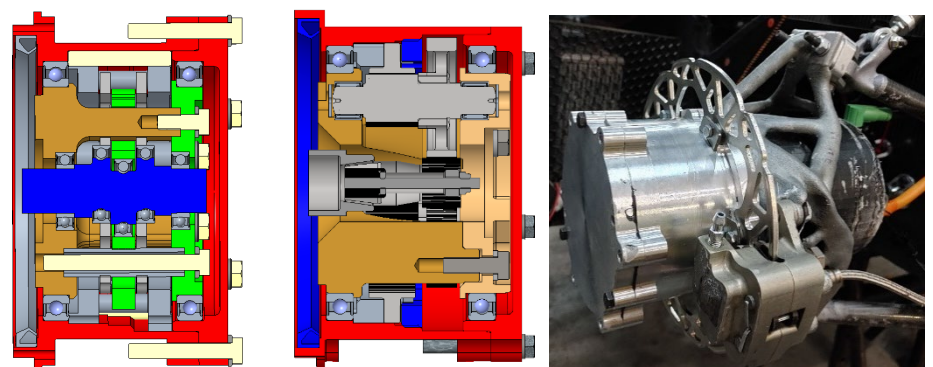
3. ábra: a vizsgált két koncepció

3. Eredmények



4. ábra: A paraméter optimalizáló algoritmus egyik futtatásának pontfelhője.

A genetikusan algoritmus futtatásának eredménye egy a 4. ábrán látható négydimenziós pontfelhő a három szabad paraméterrel és az egyed jóságát minősítő pontszámmal. A modellek és az algoritmus segítségével sikerült találni egy olyan ciklois hajtóművet, ami beépíthető ugyan abba a házba mint a korábbi bolygóművek. Aminek figyelembe vételével készült el a hajtómű végleges tervei.



5. ábra: A megoldás ciklois hajtóművel (balra), bolygóművel (középen) és a menetkész gép (jobbra)

4. Összefoglalás

A felmerülő nehézségek ellenére, sikerült létrehozni egy Formula Student kompatibilis ciklois hajtóművet, amivel a csapat egy nagyon érdekes és ígéretes teszt szezonnak néz elébe. Miközben bárkikor vissza lehet térni a jól bevált bolygóművekre. A mechanikai modellek és paraméter optimalizáló scriptek pedig a jövőbeni egyéb alkalmazások esetén is sokat segíthetnek.

Befogó pofák fejlesztése kéttengelyes szakítógéphez

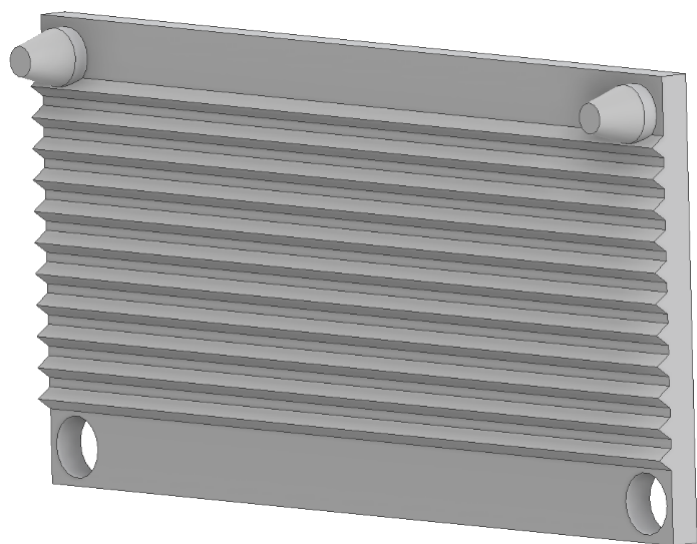
CSÓKA BENEDEK

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2022/2023/II.

Témavezető: Dr. Bachrathy Dániel, adjunktus, bachrathy@mm.bme.hu

1. Bevezetés

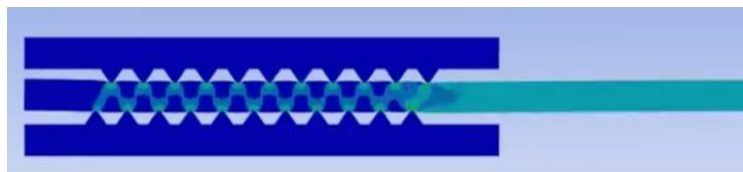
A szakdolgozatomban a gyártási folyamatok során kulcsfontosságú szerepet játszó munkadarab rögzítéssel, különösen a szakítópróbáknál alkalmazott befogási módszerekkel foglalkoztam. A dolgozat speciális figyelmet fordít a vékony, gumiszerű alkatrészek rögzítési kihívásaira. Először a már a gyakorlatban is használt befogó alkatrészeket vizsgáltam meg, többnyire általános anyagokra vonatkozóan. Ezt követően koncepciókat készítettem a lehetséges megoldásokra a gumiszerű anyagokhoz. A született ötleteket előbb végeselem szimulációval teszteltem, majd 3D nyomtatóval kinyomtatva a befogót méréssel vizsgáltam. Végül egy komplett befogó összeállítást terveztem meg és ellenőriztem ismét méréssel.



1. ábra: „Harmonika” nevű koncepció képe

2. Alkalmazott módszerek

Első lépésként részletes irodalomkutatást végeztem, hogy megismerjem a munkadarabok rögzítésének és a szakítópróbák terén alkalmazott befogási módszereket. Ez különösen fontos volt a vékony, gumiszerű anyagok befogásában felmerülő kihívások megértésében. Az elméleti megközelítés mellett, a kutatásom során nagy hangsúlyt fektettem a gyakorlati vizsgálatokra is. Többféle 3D nyomtatóval készített befogót teszteltem, melyek alapján értékeltem a különböző befogási módszerek hatását a szakítópróbák eredményeire. A gyakorlati tapasztalatok mellett végeselemes módszerekkel modelleztem és szimuláltam a befogási megoldásokat és a felületi struktúrák kicsúszásra gyakorolt hatását.

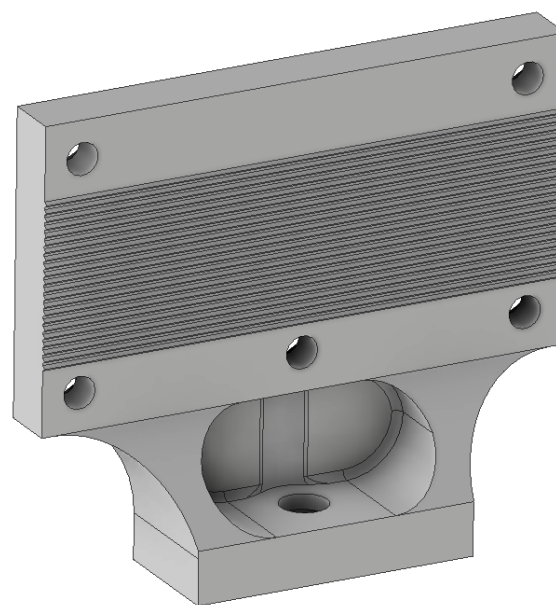


2. ábra: Befogó pofa végeselem szimulációja

Ezek a szimulációk lehetővé tették számomra, hogy jobban megérthessem a különböző befogási módszerek működését, valamint, hogy meghatározzam azok hatékonyságát és megbízhatóságát.

3. Eredmények

Az alkalmazott vizsgálati módszerek és szimulációk eredményei alapján fontos következtetéseket sikerült levonnom a befogási módszerekkel kapcsolatban. Az eredmények rámutattak a különböző befogási módszerek előnyeire és hátrányaira. Az így nyert adatok és tapasztalatok alapján új befogási módszerek kifejlesztésére és továbbfejlesztésére kínáltak lehetőséget. Végül a dolgozat eredményeként sikerült elkészíteni a tanteremben található szakításra alkalmas berendezéshez szükséges befogó rendszer alkatrészeit, amely konkrét, gyakorlati haszonnal is szolgált. A befogó rendszer közvetlenül az erőmérő céljára illeszthető, szerelése egyszerű és a próbatestek rögzítésére tökéletesen alkalmas



3. ábra: Szenzorra közvetlenül illeszthető befogó pofa

4. Összefoglalás

Az elvégzett kutatás és tesztelés során sikerült kidolgozni egy hatékony és megbízható befogó rendszert a vékony, gumiszerű anyagok szakítópróbájához. A jövőbeli kutatás és fejlesztés során lehetőség nyílik ezen befogó rendszer további optimalizálására és finomítására lehet összpontosítani, hogy még jobban igazodjon a gyakorlati igényekhez.

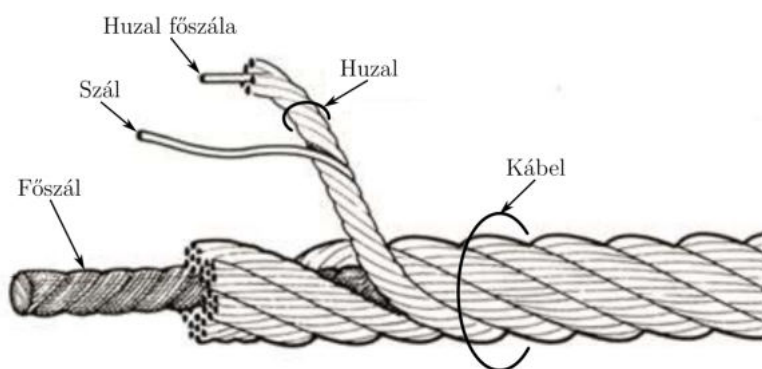
DOBAI TAMÁS

Gépészmérnöki MSc Alkalmazott Mechanika Specializáció, 2022/2023/I.

Témavezető: Dr. Kovács Ádám, egyetemi docens, adamo@mm.bme.hu

1. Bevezetés

A kábelek széleskörű elterjedésének fő oka, hogy nagy axiális terhelés elviselésére képesek, miközben hajlító merevségük kicsi, aminek következtében könnyen feltekeresedhetnek, csigán átvethetőek, vagy akár önmagukkal hurok képezhető. Ennek oka, hogy a kábelek sok vékony acél szálból épülnek fel, amelyek egymáshoz képest képesek elmozdulni a hajlítás során. A szálak spirális elrendezése azonban nehezzé teszi a kábelek szilárdsági méretezését és tervezését. A dolgozat egy 1 rétegű egyenes kábel kialakítás szilárdsági elemzésére keresett hatékony módszereket. Egy tipikus kábel kialakítás látható a 1-es ábrán.



1. ábra. Kábel részei

2. Alkalmazott módszerek

A kábel szilárdsági elemzésére analitikus- és numerikus módszereket is alkalmaztam, amelyeknek az eredményeit volt lehetőségem mérési eredményekkel összehasonlítani, így validálni az eljárásokat. Első lépésben a kábel merevségi értékeit határoztam meg analitikus módszerrel és az Abaqus szimulációs szoftverrel. A kábel ezen merevségi értékei kapcsolatot teremtenek a kábel axiális terhelése és a csavarónyomatéka, és az axiális megnyúlása és a szögelcsavarodása között, amelynek egyenlete az alább látható, azaz

$$\begin{bmatrix} F_z \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{\epsilon\epsilon} & k_{\epsilon\Theta} \\ k_{\Theta\epsilon} & k_{\Theta\Theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{z,z} \\ \Theta_{z,z} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

A kábel peremfeltételei, azaz, hogy a kábel végeinek elcsavarodása gátolt, vagy nem, nagyban befolyásolja a kábel terhelhetőségét és a viselkedését. Emiatt mind a két esetet vizsgáltam, azaz a befogott vég ($\Theta_{z,z}=0$) és a szabad vég ($M_z=0$) esetet is.

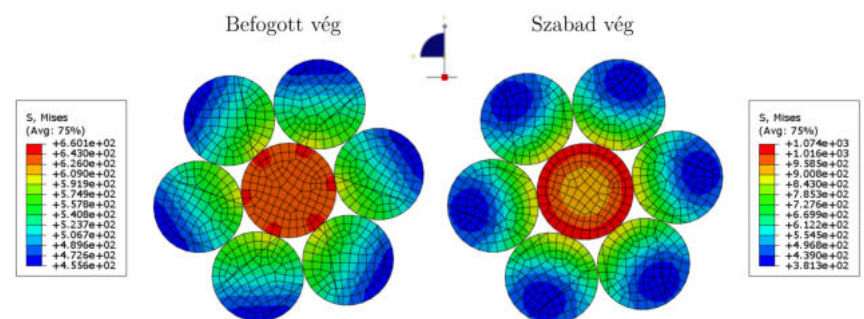
3. Eredmények

A 1-es táblázatban láthatóak az analitikus-, numerikus- és a mérési eljárásból kapott csavaró reakciónyomatékok (M_z) több fektetési szög esetén.

Fektetési szög [°]	Mérés [kNm]	Analitikus modell [kNm]			VEM [kNm]
		Hruska	Machida és Durelli	Costello	
9,2°	18,8	20,82	19,86	18,62	19,67
12,2°	26,0	27,66	26,37	24,71	25,42
17°	34,4	38,67	36,83	34,39	36,91

1. táblázat. Analitikus és a VE modell eredményeinek összehasonlítása mérési eredményekkel, befogott vég esetén

A végeselem módszerből a feszültség mező is származtatható, amely a befogott- és a szabad véggel rendelkező esetekben nagymértékben eltér, mivel a szabad véggel rendelkező esetben a spirális szálak kisebb terhelést vesznek fel, így a főszálban nagyobb feszültségek ébrednek, mind a nagyobb axiális megnyúlás, mind a plusz csavaró igénybevétel miatt. A 2-es ábrán látható a két eset során a HMH-féle egyenértékű feszültség eloszlása.



2. ábra. HMH-féle egyenértékű feszültségeloszlás [MPa]

4. Összefoglalás

Mind az analitikus- és a numerikus modellek esetében a csavaró reakciónyomatékok jól megegyeznek a kísérleti eredményekkel, így kijelenthető, hogy ebben az esetben ezek a modellek megbízhatóan alkalmazhatóak, de a szögelcsavarodásra nézve a numerikus modell ad csak megfelelően pontos eredményt. A végeselem modellből kapott feszültség értéket megvizsgálva látható, hogy a szabad véggel rendelkező kábelben lényegesen nagyobb feszültségek ébrednek, így ezt a kialakítást kerülni kell a használatuk során. Továbbá a fektetési szög növekedésével a kábel terhelhetősége csökken, de a hajlító rugalmassága növekszik.

Teleszkópos autódaru talpalási problémái rézsűk esetén

FRIEDSAM BENCE

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2021/2022/II.

Témavezető: Dr. Magyar Bálint Balázs, adjunktus, magyar@mm.bme.hu

1. Bevezetés

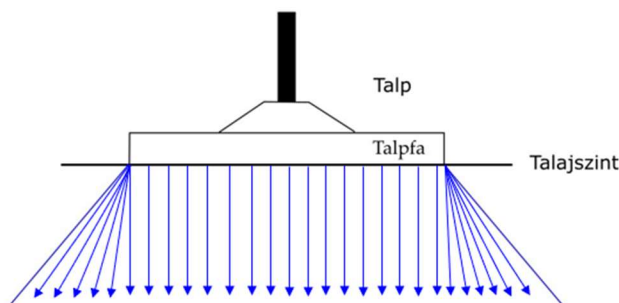
Ebben a szakdolgozatban a Liebherr LTM 1030-2.1-es, 30 tonna teherbírású teleszkópos autódaru talpalását vizsgálom. Az elején cég ismertetővel kezdem a munkámat, ahol bemutatom a dolgozat témájának az eredetét és a gép háttérét. Ezután felvázolom, hogy a daru talpaiban milyen erők léphetnek fel a legszélsőségesebb esetekben, és ezeknek hatásait vizsgálom a talajban. Bemutatom a rézsűket és a terhelhetőségüket. Kiszámolom, hogy mekkora erők lépnek fel és a végén javaslatot teszek a gépre és a rézsű kialakítására vonatkozóan, hogy a munkavégzés biztonságos legyen.



1. ábra. Liebherr LTM 1030-2.1

2. Alkalmazott módszerek

Először különböző talajok terhelhetőségét mutatom be, amik a daru kitalpalásánál elengedhetetlen vizsgálat. Ezután a természetes rézsűket definiálom és megmutatom, hogy egy adott talajszerkezetben milyen módon oszlik el egy test nehézségi ereje. Ezt követően a statikus részét vizsgálom a talpalásnak, vagyis csak a gravitációs térből származó erőt, a legveszélyesebb talpban. Ennek az eloszlásnak a keresztmetszete az alábbi módon néz ki:



2. ábra Statikus erőeloszlás

Ez után a dinamikus terheléssel foglalkozok, hogy itt milyen oldal irányú, vízszintes erő léphet fel, ami veszélyezteti a rézsűt, ami a daru borulásához vezethet. A daru forgásából fog átadódni oldal irányú erő, aminek a működését ismertetem és bemutatom ennek a forgó mechanizmusnak a működését is. Mérésekkel és a dinamika alaptételének segítségével megadom a talpban fellépő erő nagyságát. Végül elmondom ennek lehetséges hatását.

3. Eredmények

Az eredményeket külön részletezem, amiket össze lehet aztán vonni, amennyiben mind a két eset fenn áll. A statikus terhelésből származó erőt 1 méter mélységig, egy 45°-os szög mentén kell figyelembe venni. A dinamikus erőt pedig kiszámolni ki tudjuk, de ennek a pontos hatásának meghatározásához geomechanikai vizsgálatot kéne végeznünk, ami rendkívül bonyolult folyamat. A legveszélyesebb talpban, a legszélsőségesebb esetben egy $F = 6\,952\text{ N}$ nagyságú erő lép fel a forgómozgás szöggyorsulás vektorával megegyező irányban.

4. Összefoglalás

A végén javaslatokat teszek a gép kezelésére, hogy mindenképpen kerülni kell a dinamikus mozgásokat a daruval, valamint a rézsű kialakítására is, hogy érdemes meghorgonyozni a rézsűt, vagy rézsű helyett beton támfalat alkalmazni, ami nem engedi a talaj megfolyását. Ezen kívül bemutatom a Liebherr által nyújtott megoldást, a talptányérba helyezett talpcsapágyat, ami csillapítja a fellépő vízszintes erőket.



3. ábra Talpcsapágy

Optimization workflow for orthotropic material constitutive model fitting based on mechanical experiments of composite specimens

KRISZTIÁN GYÖRGY HERTELENDY

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2022/2023/II.

Supervisor: Dr. Szabolcs Berezvai, assistant professor, berezvai@mm.bme.hu

1 Introduction

In my thesis, I studied continuous fibre reinforced plastics, and in particular laminated composites consisting of unidirectionally reinforced plies. In real-world applications, layered composites typically contain fibre reinforcement in different directions, as shown in Figure 1, which makes them more resistant to various loads. For such specimens, however, it is more difficult to derive analytical formulae for its material parameters based on measurement results.

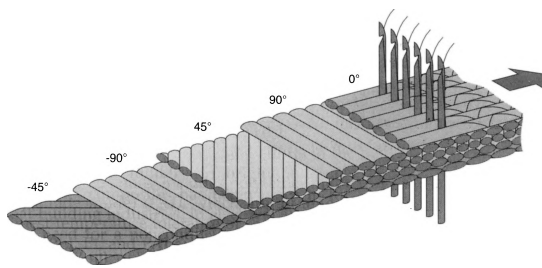


Figure 1: Schematic of non-crimp fabric.

The framework I developed is capable of fitting the parameters of given linear and nonlinear orthotropic material models for such materials based on standard mechanical measurements.

2 Applied methods

The developed algorithm is based on the minimisation of an objective function quantifying the error of the fitted material model. In each iteration step, a finite element simulation of all measurements performed is run. An example of the result of a shear test on a v-notched specimen is shown in Figure 2.

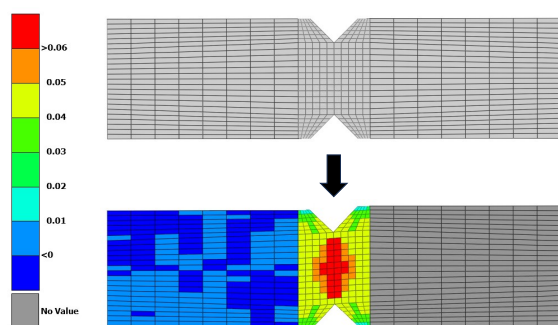


Figure 2: Shear test according to ASTM5379.

The accuracy of the fit is measured by the Root Mean Square Error between the two curves, the aim is to minimise this error.

I have also developed a sensitivity study prior to parameter fitting to filter out the parameters that cannot be determined by performed mechanical tests. This is required for several reasons. First, by reducing the number of parameters to be fitted, the time needed for the fitting is also reduced. Second, fitting parameters that could not be determined can lead to serious errors and should therefore be avoided.

3 Results

I performed test fitting tasks on different measurement batches. For this, I generated the 'measured' curves by simulation without adding artificial measurement noise. Figure 3 shows an example of the measured and fitted curve.

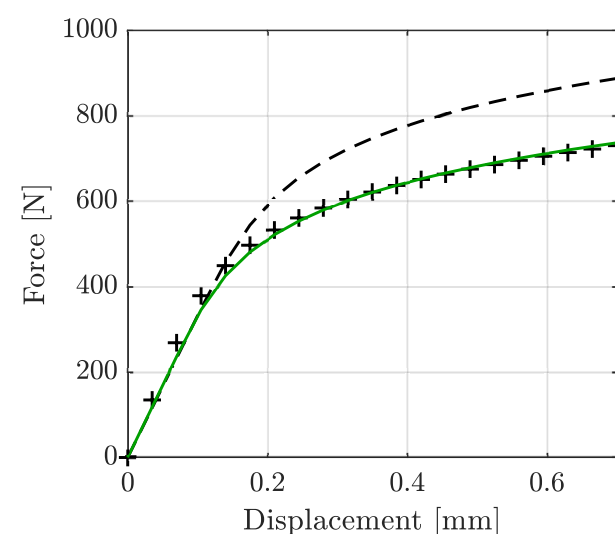


Figure 3: Measured and fitted curves, +: virtual measurement, --: simulation with the initial parameters, —: simulation with the fitted parameters.

Through the tests, I examined the results obtained under the 'naive' approach and the sequential fitting strategy that I developed, and compared the performance of different numerical minimisation algorithms. Sequential fitting was found to give faster and more accurate results. Among the various minimisation algorithms, no single one has been found that outperforms all the others, but rather each has unique advantages.

4 Summary

All linear and nonlinear material models fitted to ideal measurements with the developed framework were able to reproduce the measurement curves with acceptable accuracy.

Változó fordulatszámú esztergálás vizsgálata

POTHÁRN LÁSZLÓ ANDRÁS

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2022/2023/II.

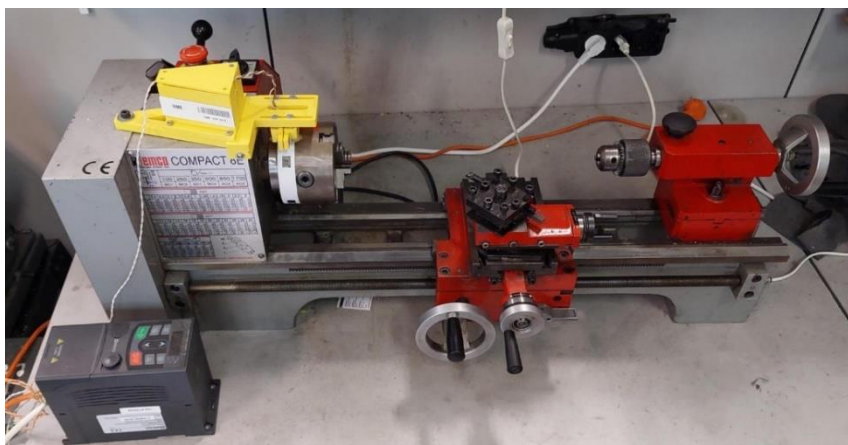
Témavezető: Dr. Bachrathy Dániel, egyetemi docens, bachrathy@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Az ipari termékek előállítása során fontos szempont a minél nagyobb termelékenység és a megfelelő termékminőség. A forgácsolási eljárások esetében a megmunkálási idő csökkentése a főorsófordulatszám növelésével érhető el, azonban a folyamat során olyan instabil rezgések keletkezhetnek (angolul *chatter*), melyek rontják a termékminőséget, és kárt tehetnek a megmunkáló berendezésben is.

A probléma megoldására számos bonyolult mechanikai és matematikai modellt kidolgoztak. Ezek alapján lehetőség nyílik elméleti stabilitástérképek meghatározására, melyek megadják, hogy milyen főorsófordulatszám és fogásmélység kombinációk esetén fog fellépni a *chatter* jelenség. A stabil paramétertartomány kiterjesztésére az egyik legelterjedtebb és leghatékonyabb eljárás a *Spindle Speed Variation* (SSV), ami a főorsó fordulatszám időben folyamatos változtatásán alapul.

A szakdolgozat fő motivációja a Műszaki Mechanikai Tanszék laborjában lévő Emco Compact 8E típusú eszterga fordulatszám vezérlésének gyakorlati kidolgozása, lehetővé téve SSV megvalósítását.



1. ábra. Vizsgált eszterga a csatlakoztatott frekvenciaváltóval és a készített fordulatszám-mérő műszerrel

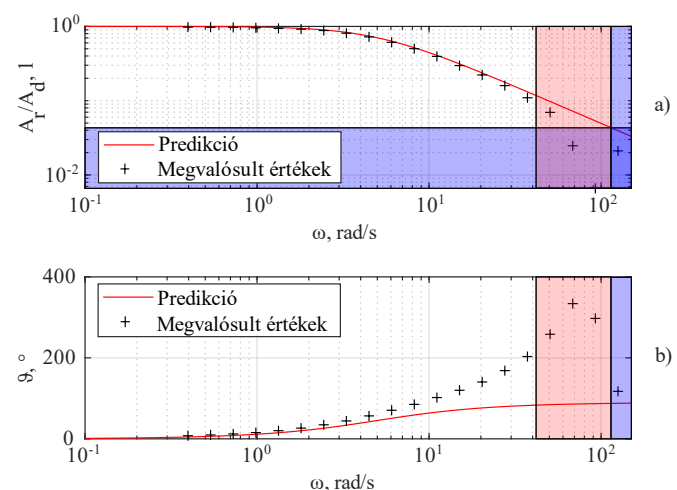
2. Elvégzett feladatok

Első lépésként megoldást kerestünk a főorsó fordulatszámának minél pontosabb meghatározására. Létrehoztunk egy infravörös optikai szenzoron alapuló műszert, amely a kidolgozott jelfeldolgozási módszer segítségével megfelelően pontos fordulatszám értékeket szolgáltat.

A fordulatszám változtatás megvalósítására az esztergát hajtó villanymotor elé egy frekvenciaváltót csatlakoztattunk, és vizsgáltuk, hogy a mért fordulatszám hogyan változik a frekvencia változtatásával. A mérési eredmények alapján meghatároztuk a kettő között fennálló matematikai kapcsolatot, amely

által definiálni tudtuk, hogy egy kívánt konstans fordulatszám megvalósításához, milyen frekvenciabeállításra van szükség.

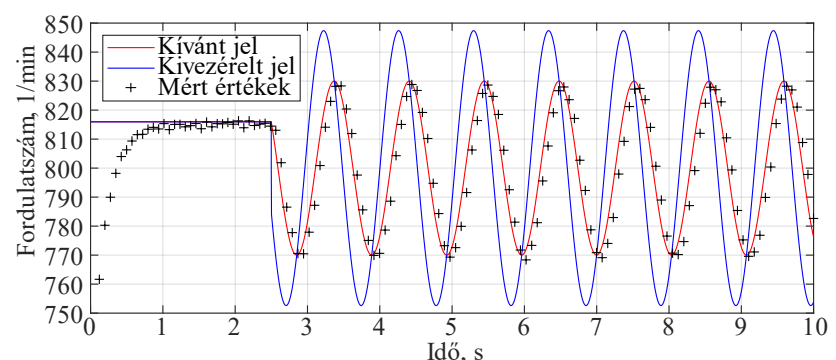
Ahhoz, hogy időben folytonosan változó fordulatszám jelet is létre tudjunk hozni, vizsgáltuk az eszterga dinamikai tulajdonságait. Felállítottuk a megvalósítani kívánt- és az esztergán ténylegesen megvalósuló fordulatszám jelek közötti kapcsolatot leíró matematikai modellt, és mérések segítségével hitelesítettük, hogy megfelelően pontos predikciót biztosít.



2. ábra. A matematikai modell alapján prediktált és a valóságban megvalósuló a) amplitúdó arány és b) fázistolás

3. Eredmények

Matlab környezetben létrehoztunk egy vezérlő programot az elvégzett mérések eredményeire alapozva, és teszteltük annak működését.



3. ábra. Kívánt fordulatszám jel összehasonlítása a vezérlés eredményeként megvalósult értékekkel

4. Összefoglalás

A kapott eredmények alapján látható, hogy a kidolgozott matematikai modellnek köszönhetően elő tudjuk állítani a szükséges vezérlő fordulatszám jelet ahhoz, hogy a főorsón jó közelítéssel az általunk kívánt értékek valósuljanak meg. Ezáltal az esztergán fellépő *chatter* jelenség dinamikai vizsgálata és SSV megvalósítása biztosított.

Kábelek szilárdsági analízise

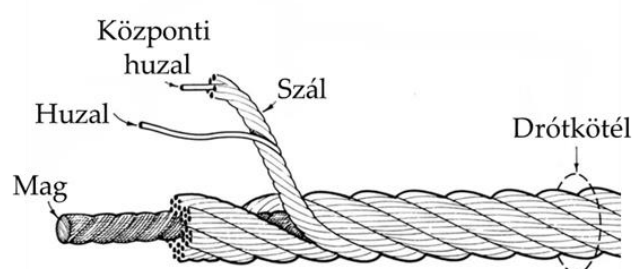
BÁN ZOLTÁN

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2022/2023/II.

Témavezető: Dr. Kovács Ádám, egyetemi docens, adamo@mm.bme.hu

1. Bevezetés

A kábeleket vagy más néven drótköteleteket széles körben alkalmazzák a különböző műszaki területeken pl.: hidak, felvonók, távvezetékek. Alkalmazásuk népszerűsége annak köszönhető, hogy a teherbírásukhoz mérten rugalmasak és hajlító igénybevételekkel is jól terhelhetők. A szakdolgozat célja, hogy egy átfogóbb képet nyújtson a kábelekről, valamint egy adott kialakításon keresztül bemutatni, hogy milyen módszerekkel lehet tulajdonságaikat vizsgálni.

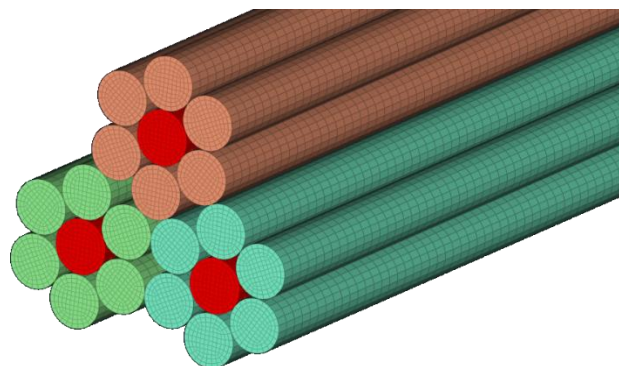


1. ábra. A drótkötelek felépítése és alap alkotó elemei

2. Alkalmazott módszerek

A kidolgozás során egy 1+6-os drótkötél 3 pontos hajlításának az analitikus és végesselemes módszerekkel történő analízisét végeztem el. Mivel a huzalok egymáshoz képesti mozgása és kapcsolata számos ismeretlen változót hozott volna a számításokba, így egy kiindulási modellnek a drótkötél egy rúddá egyszerűsített változatával dolgoztam.

Az analitikus eredmények ellenőrzése után végesselemes módszerrel vizsgáltam, hogy az előfeszítés milyen hatással van a 3 pontos hajlítással kapott maximális lehajlási és feszültségi értékekre. Ezen vizsgálatban ugyan a geometria megmaradt az analitikusan vizsgálatnak, azonban itt már a drótkötelek mechanikai modelljére jellemző tulajdonságokat is figyelembe vettem, mint például az önsúllyal való terhelést vagy éppen a geometriai nemlinearitásokat.

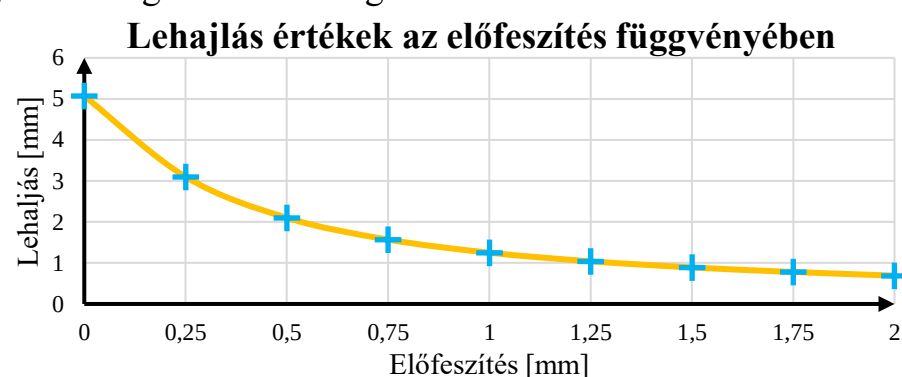


2. ábra A kimodellezett többszálas modell geometriája

A végesselemes módszerben rejlő lehetőségek biztosították egy az előzőnél bonyolultabb geometriai kialakítás vizsgálatát is. Így egy párhuzamos elrendezésű több szálból álló drótkötél húzó/feszítő és hajlító vizsgálatát is elvégezhettem.

3. Eredmények

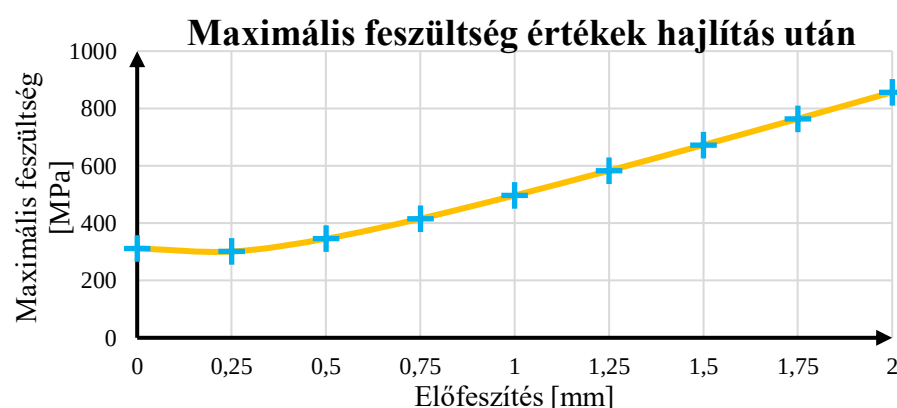
A kapott eredmények alapján elmondható, hogy a gravitáció hatása nem volt jelentős a vizsgált drótkötél esetén, ami a viszonylag alacsony tömegével magyarázható. Valamint a különböző paraméterek vizsgálatával arra a következtetésre jutottam, hogy amennyiben nem vesszük figyelembe a geometriai nemlinearitásokat, akkor az előfeszítés hatása csak a fellépő feszültség értékek növekedésében jelenik meg, így ezen elhanyagolást a végesselemes vizsgálatokban nem alkalmaztam.



3. ábra Maximális lehajlás értékek az előfeszítés függvényében

4. Összefoglalás

Az eredmények alapján elmondható, hogy a vizsgált konfigurációban az előfeszítés mértékének növekedésével egyre kisebb mértékben csökken a maximális lehajlás mértéke. Ezenkívül a kapott feszültségeket vizsgálva megfigyelhető, hogy az előfeszítetlen állapothoz képest kezdetben egy kisebb csökkenés lép fel, amit egy lineáris növekedés fog követni az előfeszítés növelésével.



4. ábra Maximális feszültség értékek az előfeszítés függvényében

A többszálas modellel kapott eredmények jól szemléltetik, hogy már egy az általam vizsgált relatíve kicsi átmérővel (kb. $D = 22,8$ [mm]) rendelkező drótkötélnek is elég jelentős axiális merevsége van. Ugyan a hajlítómerevség meghatározására készített többszálas modell nem lett kielégítő a számítások megfelelő elvégzésére, azonban a modell fejlesztésének menete sok érdekességre mutat rá.