

TDK dolgozat

**Energiahatékony elektromos versenyautó
hajtásláncába integrálható tengelykapcsoló
tervezése**

Hidas Bálint
Járműmérnöki BSc szak

Győr 2022

Lezárás dátuma: 2022.04.11.

Kivonat

Energiahatékony elektromos versenyautó hajtásláncába integrálható tengelykapcsoló tervezése

A dolgozatom keretein belül bemutatásra kerül egy súrlódó tárcsás tengelykapcsoló megtervezése, mely a SZEenergy Team SZEmission elnevezésű elektromos autójának újonnan fejlesztett hajtásláncába készül. Az autó, a minden évben megrendezésre kerülő energiahatékonyági világversenyen, a Shell Eco – marathon-on indul.

A versenyen kiemelten fontos a megfelelő energiagazdálkodási stratégia megválasztása, ezért a verseny egyes szakaszain a meghajtást biztosító elektromos motor nem hajt, szabadon gurul a jármű. Ebben az esetben a hajtáslánc elemei tovább forognak a kerékekkel együtt, így a súrlódási veszteségek csökkentik a jármű energiahatékonyágát. A dolgozatban bemutatásra kerülő tengelykapcsoló erre a problémára kíván megoldást nyújtani. Használatával a hajtáslánc elemei az említett szakaszokon függetleníthetők a keréktől.

A dolgozatban a SZEenergy Team, valamint a verseny sorozat bemutatásán túl ismertetésre kerülnek a gépjárművekben főtengelykapcsolóként alkalmazott súrlódó tengelykapcsolók, az alkalmazott súrlódó anyagok, valamint a felületek összeszorításért felelős rugó típusok. A dolgozat a tervezési folyamat egészét hivatott bemutatni a sarkalatos pontok kiemelésével, így fontos szerepet kap az anyagválasztás, a számítás, végezetül pedig a felületek összeszorítását biztosító rugó méretezése. A megtervezett tengelykapcsoló komponenseinek szilárdságtani ellenőrzése végelem program segítségével lett elvégezve.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
1.1. Shell Eco-marathon.....	1
1.2. SZEnergy Team	1
2. Irodalomkutatás.....	3
2.1. Tengelykapcsolók feladata és csoportosítása	3
2.2. Mechanikus oldható erőzáró tengelykapcsolók	4
2.2.1. Kúpos tengelykapcsoló	6
2.2.2. Súrlódó tárcsás tengelykapcsolók.....	7
2.2.3. Súrlódó felületek összeszorítása mechanikus úton.....	10
2.2.4. Súrlódó tárcsák anyaga és kialakítása	11
3. Tengelykapcsoló tervezési folyamatának bemutatása.....	14
3.1. Tervezés előzménye.....	14
3.2. SZEmission hajtásláncának bemutatása	15
3.3. Tengelykapcsoló tervezése	16
3.3.1. Súrlódóanyag választás	17
3.3.2. Számítás.....	19
3.3.3. Rugó méretezés.....	22
3.3.4. Tengelykapcsoló bemutatása	24
3.3.5. Szilárdságtani ellenőrzés	26
4. Összefoglalás	34
Köszönetnyilvánítás	35
Ábrajegyzék	36
Táblázatok jegyzéke.....	38
Irodalomjegyzék	39

1. Bevezetés

Napjainkban, a környezetvédelmi elvárásokat szem előtt tartva, a járműipari vállalatok igyekeznek a lehető legalacsonyabb károsanyag emisszióval rendelkező modelleket fejleszteni, majd piacra dobni. Ennek az iránynak a fő ágazatává nőtte ki magát az elektromos autók gyártása, melyek használatával a lokális károsanyag kibocsátás közel nullára csökkenthető.

Ezen a területen tevékenykedik a győri Széchenyi István Egyetemen működő hallgatói csapat, a SZEenergy Team is, akik sajátfejlesztésű elektromos autójukkal, a minden évben megrendezésre kerülő, Shell Eco-marathon-on vesznek részt.

1.1. Shell Eco-marathon

A Shell Eco-marathon a világ legnagyobb és egyben legismertebb energiahatékonysági versenye, ahol egyetemi hallgatókból álló csapatok mérhetik össze tudásukat. Az első helyért járó díj azt a csapatot illeti meg, aki a saját tervezésű és gyártású versenyautójával 1KWh villamos áram felhasználásával a lehető legnagyobb távot képes megtenni.

A versenysorozat évtizedes múltra tekint vissza. Napjainkban a részt vevő csapatok régiók szerint kerülnek besorolásra, így a verseny minden évben megrendezésre kerül Európában, Ázsiában, valamint az amerikai kontinensen.

A csapatok az autójukkal Prototype, illetve az Urban Concept kategóriában indulhatnak. A két fő kategória további alkategóriákra osztható. Meghajtás módja szerint megkülönböztethető belsőégésű, valamint villamos hajtáslánc. Belsőégésű motorok esetében az üzemanyag lehet benzin, dízel, vagy etanol, míg elektromos hajtáslánc esetében az energiaellátásért akkumulátor vagy tüzelőanyag cella felel. [1]

A különböző kategóriákra eltérő szabályok vonatkoznak, melyek betartása kiemelten fontos, hiszen a verseny kezdetén minden autó átvizsgálásra kerül. Amennyiben egy autó a szabályoknak megfelelően készült el, részt vehet a versenyen.

1.2. SZEenergy Team

A SZEenergy Team a győri Széchenyi István Egyetemen végzi a tevékenységét 2005 óta. Az elmúlt években számos elektromos autó megtervezése és gyártása kötődik a csapat nevéhez. Ezek közül a legújabb 2019-ben készült el, és a SZEmission nevet viseli, mellyel a csapat a Shell Eco-marathon Urban Concept kategóriájában indul (1. ábra). Az elkészülés évében, a Londonban megrendezett versenyen, a csapat az új autóval a 6. helyezést érte el.

Az új konstrukció számos újítást mutatott fel, mind közül a legkiemelkedőbb az önhordó karbon karosszéria, mely a korábbi csővázas felépítményt váltotta le. Ez a megoldás lehetővé tette a csapat számára, hogy egy kis tömeggel rendelkező, azonban nagy merevségű karosszériát készítsen. A megfelelő anyaghasználatnak és a körültekintő mérnöki munkának köszönhetően az autó össztömege mindösszesen 93 kg lett.



1. ábra: SZEmission versenyautó [2]

További különlegesség az autó alakja, melynek tervezése során a légellenállási veszteségek minimális szintre történő csökkentése volt a cél. A forma ebből a szempontból ideálisnak tekinthető csepp alakot követ le, továbbá az autó homlok felülete is a lehető legkisebb méretekkel rendelkezik.

A meghajtásáért egy állandó mágneses szinkronmotor felel, mely energiaellátását két darab LiPo akkumulátor biztosítja. A motor a merev hátsó hídon helyezkedik el, és tömegcsökkentési és hatékonysági okok miatt csak a bal hátsó kereket hajtja meg.

Az autó 2019-es elkészülése óta a gépészeti fejlesztések elsősorban a tömeg, valamint a menetellenállások csökkentésére irányulnak. A dolgozat keretein belül megtervezésre került egy tengelykapcsoló, mely a későbbiekben a SZEmission új hajtásláncába integrálható: A tengelykapcsoló lehetővé teszi a motor, valamint a fogasszíj-áttétel függetlenítését a kerékről, a verseny bizonyos szakaszain, ezzel csökkentve szabadon guruláskor fellépő súrlódási veszteségeket.

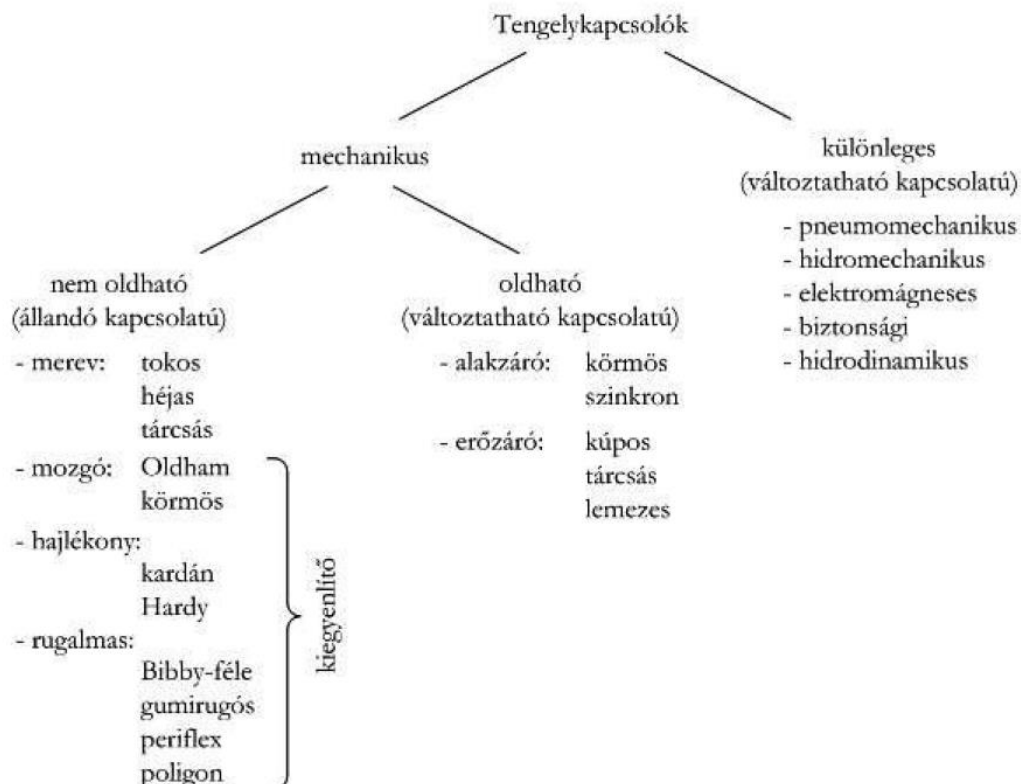
2. Irodalomkutatás

A dolgozat első része a témához kapcsolódó szakmai anyagok felkutatása, majd összegzése. Bemutatásra kerülnek a főtengelykapcsolóként alkalmazott mechanikus oldható erőzáró tengelykapcsolók. A bemutatás kitér a különféle konstrukciók felépítésére, azok működésére, a súrlódó felületként alkalmazott anyagokra, valamint a súrlódó felületeket összeszorító rugó típusokra egyaránt.

2.1. Tengelykapcsolók feladata és csoportosítása

A tengelykapcsolók a hajtástechnikában széles körben elterjedt gépelemek, melyek elsődleges feladata a nyomaték veszteségmentes átvitele két tengely között. További feladataiként lehet megemlíteni a tengelyek közötti kapcsolat tetszés szerinti oldását, tengelyhibák kiegyenlítését, valamint a káros torziós lengések csillapítását. [3]

Csoportosításuk számos szempont alapján lehetséges ezek közül önkényesen került kiválasztásra a következő (2. ábra):



2. ábra: Tengelykapcsolók csoportosítása [3]

A felsorolt tengelykapcsolók szerkezeti szempontból eltérőek, azonban mindegyikre általános érvényű az összefüggés, mely a méretezés alapjául szolgál.

$$T_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{P}{n} \cdot c_d \quad (4.1) [4]$$

T_m Mértékadó nyomaték

P Teljesítmény

n Fordulatszám

c_d Dinamikus tényező

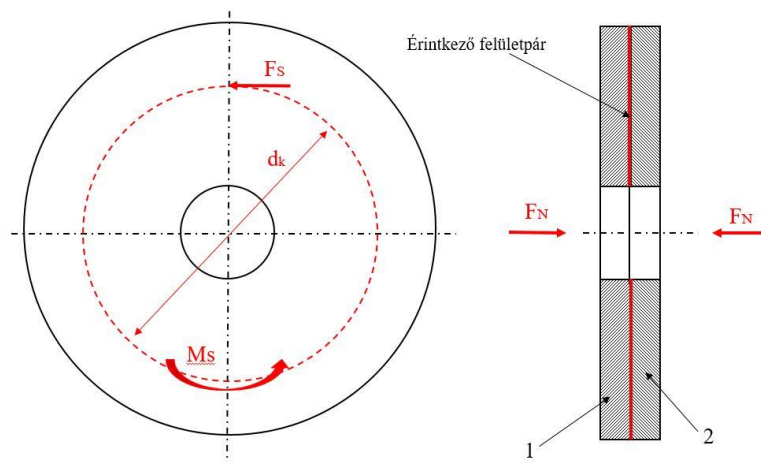
A mértékadó nyomaték a hajtógép névleges nyomatékából adódik c_d dinamikus tényezővel való szorzás után. A kapott nyomatéki érték figyelembe veszi, hogy a tengelykapcsolónak a névleges nyomatéknál nagyobb nyomatékot kell tudnia átvinni, hiszen működés közben különféle dinamikus hatások érhetik, valamint indítás során a hajtott oldali tengely felgyorsítása is nyomaték többletet igényelhet. Értéke függ a hajtógéptől és a hajtott oldali tömegtől is, így megválasztásánál körültekintően kell eljárni. Bizonyos tengelykapcsolók esetében további tényezőket kell figyelembe venni és meghatározni. [4]

A tengelykapcsolók beépítési környezete, felhasználása sokféle lehet, melyek tárgyalása túl mutat ezen dolgozat keretein, így a továbbiakban a gépjárművekben főtengelykapcsolóként is alkalmazott mechanikus oldható erőzáró tengelykapcsolók kerülnek bemutatásra, mivel a dolgozat második felében egy egyedi tervezésű tengelykapcsoló kerül ismertetésre, melynek az alapját a fent említett konstrukciók adták.

2.2. Mechanikus oldható erőzáró tengelykapcsolók

Mechanikus oldható erőzáró tengelykapcsolók (továbbiakban tengelykapcsolók), esetében a nyomaték átviteléért az érintkező felületepárok között ébredő súrlódási erő felelős, mely a felületeket összeszorító normálerő következtében lép fel (3. ábra). Ilyen jellegű tengelykapcsolók esetében a felületek összeszorítása mechanikai úton történik, általában rugóval vagy egy összeszorító mechanizmus segítségével. A tengelykapcsoló nyomatékot képes átvinni mindaddig, míg az összeszorító erő fennáll, az erő megszűnésével oldott állapotba kerül. Ily módon ezek a típusú tengelykapcsolók tetszés szerint oldhatók, majd

bekapcsolhatók akár terhelés alatt is az erre a célra kialakított mechanizmus segítségével. [4]
[5]



3. ábra: Súrlódó tengelykapcsoló sematikus ábrája

Az átvihető nyomaték értéke függ az érintkező felületpárokra vonatkoztatott súrlódási tényező értékétől, az érintkező felületek középtátmérőjétől, a felületeket összeszorító erő nagyságától, valamint az érintkező felületpárok számától. Amennyiben az érintkező felületek alakja kúpos, akkor kúpszögtől is. [3]

Súrlódó tengelykapcsolók esetében további tényezőket kell figyelembe venni a mértékadó nyomaték meghatározása során. Ezek a tényezők kellő gondossággal végzett mérlegelés után elhagyhatók, amennyiben szükséges meghatározhatók. [6]

A mértékadó nyomaték értéke súrlódó tengelykapcsolók esetében:

$$T_m = \frac{c_d \cdot T_{cs}}{c_m \cdot c_z \cdot c_v} \quad (5.1) [6]$$

T_m	Mértékadó nyomaték
T_{cs}	Csúcs nyomaték
c_d	Dinamikus tényező
c_m	Óránkénti kapcsolásokra vonatkozó korrekciós tényező
c_z	Érintkező felületpárok számára vonatkozó korrekciós tényező
c_v	Csúszási sebességre vonatkozó korrekciós tényező

Kapcsolás sűrűségére vonatkozó korrekciós tényező figyelembevétele abban az esetben indokolt, amennyiben a tengelykapcsoló óránkénti kapcsolásainak száma hozzávetőlegesen meghaladja a százat. Lemezes tengelykapcsolók esetében indokolt lehet a felülepárookra vonatkozó korrekciós tényező alkalmazása, amennyiben az számos érintkező felülettel rendelkezik. Amennyiben kapcsoláskor az érintkező felületek relatív sebességkülönbsége nagy, valamint feltételezhető, hogy indítás során nagy nyomatékot kell átvinnie a tengelykapcsolónak, szükséges a csúszási sebességre vonatkozó korrekciós tényezőt bevezetni. [6]

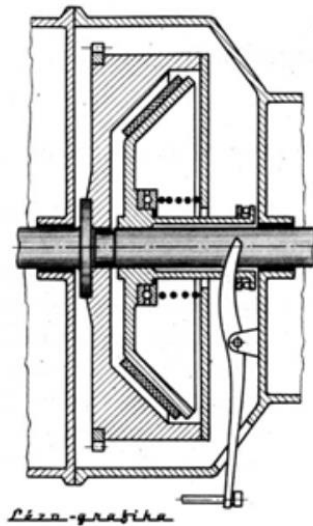
A nyomaték csúszásmentes átvitelén túl számos további követelmény van melyeknek az ilyen típusú tengelykapcsolóknak meg kell felelnie.

- Finom bekapcsolás
- Oldás során a felületek azonnali elvállása
- Súrlódó felületek között ne jelentkezzen csúszás normál üzemi körülmények között
- Káros lengéseket csillapítsa
- Kapcsoló szerkezetet csak oldáskor terhelje erő
- Szerkezet inerciája kicsi legyen
- Üzembiztos működés
- Könnyű szerelhetőség [7]

2.2.1.Kúpos tengelykapcsoló

Kúpos tengelykapcsolók esetében a nyomaték átviteléért azonos kúpszöggel rendelkező kúpos tárcsák összeszorításából ébredő súrlódási erő felelős, melyet legtöbb esetben hengeres csavarrugó szolgáltatja (4. ábra). Léteznek konstrukciók, ahol kapcsoló körmökkel biztosítják a szükséges összeszorító erőt. [4]

Az optimális súrlódási tényező érdekében a súrlódó felületre jó súrlódási tulajdonságokkal rendelkező anyagot visznek fel ragasztással vagy szegecseléssel. [5]



4. ábra: Kúpos tengelykapcsoló felépítése [7]

A kúpszög csökkentésével az adott nyomaték átvitelhez szükséges axiális összeszorító erő csökken, azonban a tengelykapcsoló önzáróvá válhat. Ezért az ilyen típusú tengelykapcsolóknál biztosítani kell, hogy az érintkező kúpok félkúpszöge nagyobb legyen, mint a súrlódási félkúpszög, ezzel biztosítva a tengelykapcsoló oldhatóságát és üzembiztonságát. [5]

Bizonyos megoldásoknál nem egy kúpos felülepár érintkezik, hanem kettő. Ebben az esetben az összefeszítést szorító körmökkel oldják meg. Az érintkező felülepárokat számát tovább emelni nem szokás, mivel az tovább bonyolítaná a kioldó mechanizmust, valamint a geometriai méreteket is nagymértékben megnövelné. [4]

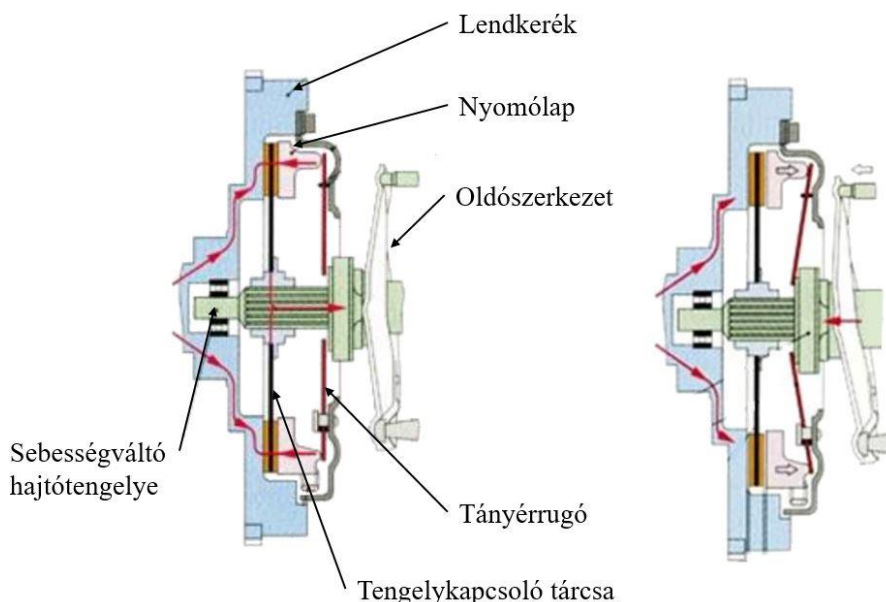
Kúpos tengelykapcsolókat elsősorban különböző ipari környezetben alkalmaznak egyszerűségük és megbízhatóságuk miatt. Gépjárművekben főtengetykapcsolóként napjainkban már nem találhatók meg. [5] [8]

2.2.2. Súrlódó tárcsás tengelykapcsolók

Gépjárművekben elsősorban főtengetykapcsolóként alkalmazzák a meghajtást szolgáló motor, valamint a sebességváltó közötti kapcsolat oldására. [5]

Általános kialakítás a főtengetykapcsolók esetében, hogy a súrlódó anyaggal bevont tárcsa a sebességváltó hajtótengelyéhez kapcsolódik, míg az összeszorításért felelős nyomólap, valamint a lendkerék a motor főtengetyével forog együtt. A lendkeréken kerül kimunkálásra a súrlódó felület ellen felülete. [5]

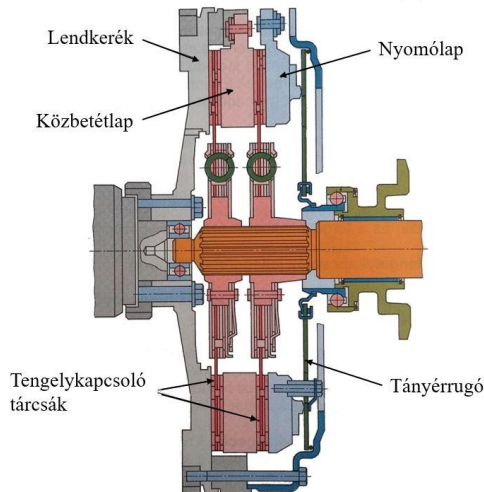
A felületek összenyomásáért és ez által a kellő súrlódó erő kialakításáért a szerkezetbe beépített egy, vagy több darab rugó felelős. A szerkezet oldása egy oldó szerkezet segítségével valósítható meg. A tengelykapcsoló oldásával a motor és a sebességváltó közötti nyomatékátvitel megszűnik (5. ábra). [7]



5. ábra: Egytárcsás tengelykapcsoló [9]

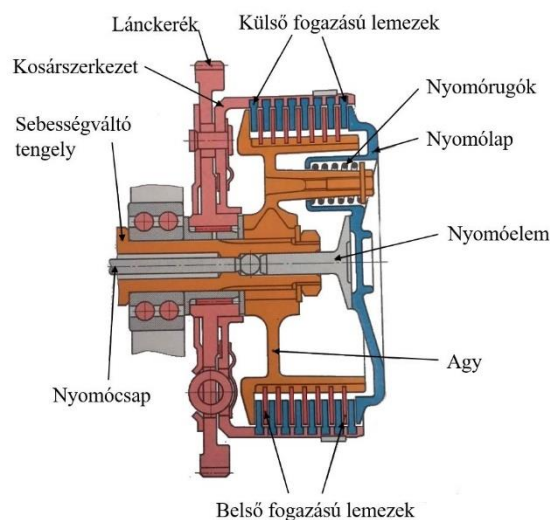
Az egy tárcsával rendelkező súrlódó tengelykapcsoló által átvihető nyomaték mértéke növelhető az érintkező anyagpárok megfelelő megválasztásával, az összeszorító erő, valamint a tárcsa átmérő növelésével. A súrlódó tárcsa átmérőjének növelésével a geometriai méretek is növekednek, ami megnöveli a tömeget, valamint megnehezíti a beépíthetőséget. A rugó erő megnövekedése pedig az érintkező felületeken kialakult túlzottan nagymértékű felületi nyomást eredményezhet, ami negatív hatással lehet a súrlódási együttható értékére, valamint a felületeken végbemenő kopás sebességére. Továbbá megnehezíti a tengelykapcsoló oldását, és a szerkezet komponenseinek a mechanikai igénybevétele is növekszik. [5]

Ennek a problémának megoldására jöttek létre az úgynevezett több tárcsás tengelykapcsolók (6. ábra). Felépítésük nagyban hasonlít a fentebb bemutatott konstrukcióhoz, ebben az esetben azonban a tengelykapcsoló kettő vagy több súrlódó tárcsát tartalmaz. A tárcsák közé közbetélapok vannak elhelyezve, amik együtt forognak a hajtó oldali lendkerékkel, valamint a nyomólappal. Axiális irányban képesek elmozdulni, ezzel biztosítva, hogy bekapcsolt állapotban a felületek egymásnak feszüljenek, oldáskor pedig elváljanak egymástól. [5] [10]



6. ábra. Kéttárcsás tengelykapcsoló [10]

Az érintkező felületepárok számának további emelésével a tárcsák átmérője, valamint a szükséges axiális összeszorító erő is csökkenthető, így egy olyan tengelykapcsolót kapunk, ami viszonylag kis mérete ellenére nagy nyomatékot képes átvinni. Az ilyen típusú tengelykapcsolók esetén, a hajtógép által leadott nyomatékot számos vékony lemez összeszorításából ébredő súrlódási erő viszi át meghajtani kívánt tengelyre. Erre utal a lemezes vagy lamellás tengelykapcsoló elnevezés is (7. ábra). [5]



7. ábra: Lemezes tengelykapcsoló [10]

Két egymástól eltérő lemez típust lehet megkülönböztetni. A külső fogazású lemezek a kosárszerkezethez kapcsolódnak, míg a belső fogazású lemezek az agyhoz. A lemezek axiális irányba képesek elmozdulni. [4]

A lemezek számának a túlzottan nagymértékű növelése, a felületeken kialakult felületi nyomás egyenetlen eloszlását eredményezheti, valamint hőelvezetési, ezáltal melegedési problémák léphetnek fel. Ennek kiküszöbölésére a lamellás tengelykapcsolókat szokás olajfürdőbe helyezni, ezzel biztosítva a keletkező hőmennyiség elvezetését. [4] [5]

Kompakt kialakításuknak köszönhetően számos felhasználási környezetben fellelhetőek. Alkalmazásukkal megoldható a differenciálmű tetszőleges összezárása, összkerék-meghajtású gépjárműveknél pedig egyes tengelyek leválasztása a hajtáslánctól. Motorkerékpároknál főtengelykapcsolóként alkalmazzák. [5]

2.2.3. Súrlódó felületek összeszorítása mechanikus úton

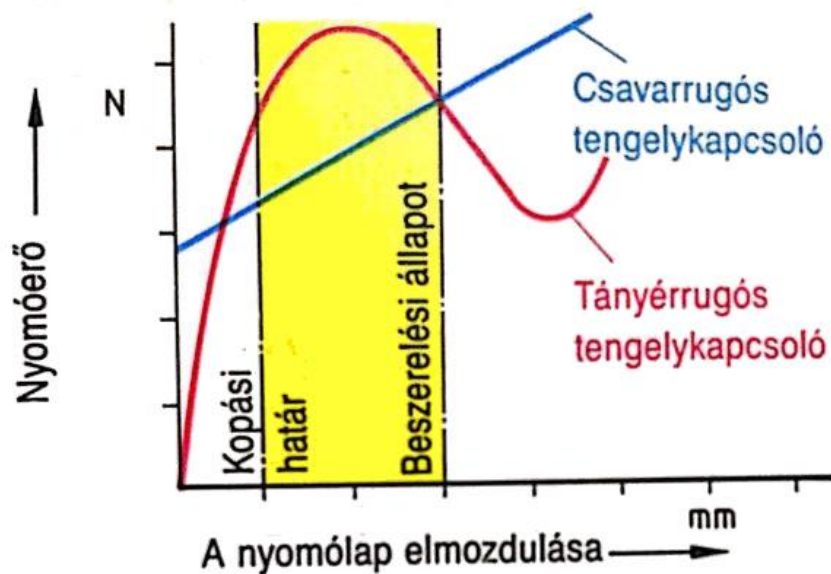
A megfelelő mértékű súrlódó erő fellépéséhez a felületek kellő mértékű összeszorítása szükséges. A tárgyalt tengelykapcsolók esetében ez mechanikai úton történik, melyet legtöbbször rugók segítségével valósítanak meg. [7]

Korábban elterjedt megoldás volt, hogy a nyomólap kerülete mentén egységesen elosztott, kellő mértékben előfeszített hengeres csavarrugók biztosították a szükséges összeszorító erőt. Ez a megoldás azonban napjainkra elsősorban lemezes tengelykapcsolók esetében található meg. Tárcsás tengelykapcsolókban felváltotta az egyszerűbb szerkezeti kialakítást lehetővé tévő egy darab tányérrugó. Az egyszerűbb szerkezeti kialakításon túl további előnye a tányérrugós kialakításnak a rugókarakterisztikából következik. [7]

Hengeres csavarrugó lineáris karakterisztikájának következtében a tengelykapcsoló oldásához szükséges erő egyenletesen növekszik egészen addig, míg a tengelykapcsoló oldott állapotba nem kerül. A rugóerő ebben az esetben éri el a legnagyobb értékét. Ez azt eredményezi, hogy a tengelykapcsoló oldása során egyre nagyobb erőt kell kifejteni az oldószerkezeten. [7]

Ezzel szemben a tányérrugó ismérve a degresszív karakterisztika. Az alakváltozás során a rugóerő növekedési mértéke folyamatosan csökken, tehát a rugó egyre lágyabbá válik az alakváltozást közben. Egy bizonyos deformációs határon túl a tányérrugó újra felkeményedik. [7]

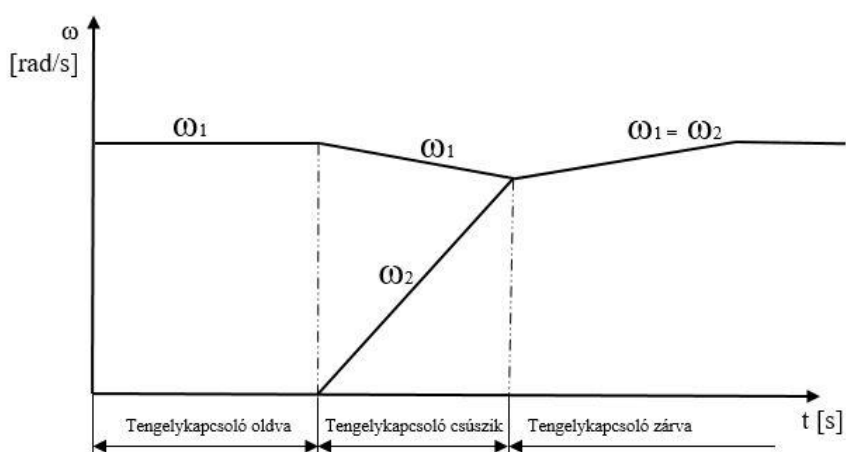
A két karakterisztikát közös diagrammon megvizsgálva az eltérő karakterisztikán túl megfigyelhető, hogy a tányérrugó szükséges mértékre való előfeszítése rövidebb úton valósítható meg, mint egy csavarrugós megoldás esetén (8. ábra). Látható tovább, hogy a tányérrugó megfelelő méretezésével, a karakterisztika következtében, a tengelykapcsoló oldása során folyamatosan csökkenő erőre van szükség. [7]



8. ábra: Rugókarakterisztikák összehasonlítása [10]

2.2.4. Surlódó tárcsák anyaga és kialakítása

A surlódó tengelykapcsolók bekapcsolási folyamatára jellemző jelenség a konstrukciós kialakítástól független. Bekapcsolás után az érintkező felületek csúsznak egymáson egészen addig, míg a hajtó, valamint a hajtott tengelyek szögsebessége azonos nem lesz. Ez a csúszás következménye annak, hogy a hajtó oldali ω_1 szögsebességű tengely a hajtott oldali ω_2 szögsebességű tengelyt nem tudja egyből felgyorsítani a kívánt szögsebességre annak tehetetlensége miatt (9. ábra). [5]



9. ábra: Tengelykapcsolóban fellépő szögsebességek alakulása kapcsolás során [5]

A relatív sebesség különbségből adódó csúszásnak a következménye a súrlódó felületeken végbemenő anyagvesztés, vagyis kopás, továbbá intenzív hőfejlődés. Ezen okok miatt az anyagválasztás során körültekintően kell eljárni, figyelembe véve az adott anyag kopási tulajdonságait, hősokkal szembeni ellenállását, az érintkező felületepárokra vonatkozó súrlódási együttható értékét a hőmérséklet, a felületi nyomás, valamint a felületek között fennálló sebesség különbség függvényében. [6]

Anyaghasználatot tekintve számos elterjedt megoldás létezik. A súrlódó anyagpárok megválasztásánál az egyik felület általában acél vagy öntött vas, az ehhez érintkező felület pedig alkalmazásnak megfelelő súrlódó anyag. Ezzel a párosítással megvalósítható a kiszámítható kopásviszony, valamint a súrlódási együttható optimális értéken tartása széles üzemi tartományban. Az ilyen jellegű ellenfelületekkel szemben elvárás, hogy a súrlódó anyaggal szemben kopásálló legyen, valamint ne tegyen kárt annak felületében. Súrlódó tengelykapcsolókban súrlódóbevonatként alkalmazott anyagok

- Acél
- Szinterfém
- Kerámia
- Szerves alapú anyagok
- Karbon kompozitok [6] [11]

Acél-acél párosítás alkalmazása olajban futó lemezes tengelykapcsolókban lelhető fel. Az alkalmazott edzett lemezek felületeinek párhuzamossága, valamint a kielégítő felületi érdesség a megfelelő gyártástechnológiával érhető el. A felületekre megengedett nyomásérték magas, azonban a súrlódási tényező értéke viszonylag alacsony a kenés következtében. [6]

Szinterfém anyagok esetében a betétek alapanyagául fémporkeverék szolgál, melyet magas nyomás mellett, magas hőmérsékleten visznek fel a hordozó felületként szolgáló anyagra. Az így kapott súrlódó felület kopásálló, magas felületi nyomásnak is ellenáll, továbbá magas hőmérséklet tartományban is üzemképes a jó hővezetőképességének köszönhetően. [6]

Kerámia alapú anyagok gyártása hasonló módon történik, különbség a felhasznált por kerámia koncentrációjában lelhető fel. A kerámia alkalmazásával kemény kopásálló, azonban törékeny felület kapható, mely a megfelelő kialakítással magas hőmérsékletnek és magas felületi nyomásnak kiválóan ellenáll. A keményfelület miatt az ellenfelület keménységét is szükséges növelni ezzel biztosítva a megfelelő kopásviszonyokat. [6]

Szerves alapú betétek jó csillapítási és kielégítő súrlódási tulajdonságuknak köszönhetően széles körben elterjedtek a gépjárműiparban. Felépítését tekintve számos anyag található meg bennük, elsősorban különböző műanyag szálak, valamint fémes anyagok ezeket pedig általában fenol formaldehid gyanta köti össze. Az anyagok arányának megfelelő megválasztásával elérhető, hogy a viszonylag széles hőmérséklet tartományban közel változatlan legyen a súrlódási együttható értéke, valamint a kopás sebessége is kielégítő legyen. [10] [11]

Karbon kompozit anyagokat elsősorban versenysportban alkalmaznak, ahol a felhasználási környezet megköveteli a hőmérséklettel szembeni ellenálló képességet. Ezen anyagokra jellemző, hogy magas hőmérséklet tartományban és nagy relatív sebességkülönbség fennállása esetén is kiváló a súrlódási tényező értéke. További előnyük a kis sűrűség, mely lehetővé teszi a kis tömegű súrlódó tárcsák beépítését. Gyártás során a karbon szál keveréket gyantával kötik össze, az anyag kemencébe rakva magas hőmérsékleten éri el a végleges formáját. [11]

A tárcsákra a súrlódó betétek szegecseléssel vagy ragasztással kerülnek felhelyezésre. Szénszálas súrlódó anyag alkalmazása során gyakori, hogy a tárcsa a saját anyagból van kimunkálva. A tengelykapcsoló lágy indítása érdekében a tárcsák tengelyirányú rugózása biztosított a súrlódó betétek között elhelyezkedő rugalmas szegmenseknek köszönhetően. További csillapítás érhető el, amennyiben a tárcsaagy, valamint betétezett rész rugóval van egymáshoz kapcsolva, ezzel csillapítva a motor felől érkező torziós lengéseket. [10]

3. Tengelykapcsoló tervezési folyamatának bemutatása

A dolgozat második része a tervezési folyamatot hivatott bemutatni. Ebben a részben kifejtésre kerül, hogy milyen okok vezettek a tengelykapcsoló megtervezéséig, valamint az eddigi tapasztalatok mily módon befolyásolták magát a folyamatot. Bemutatásra kerül a tengelykapcsoló megtervezési folyamata és annak végeredménye.

3.1. Tervezés előzménye

A Shell Eco-marathonon résztvevő csapatok célja, hogy energiagazdálkodási szempontból a lehető leghatékonyabb, legenergiatakarékosabb autót építsék meg, ezzel közelebb kerülve a győzelemhez. Az egyik ilyen elterjedt megoldás az úgynevezett szabadonfutás, mely esetben a meghajtást biztosító motor nem hajt, a sebességéből, valamint a tömegéből adódó lendület mozgatja az autót. A folyamat optimalizálható amennyiben a szabadonfutási szakaszokban a hajtáslánc komponensei függetlenítésre kerülnek a hajtott keréktől, ezzel kiküszöbölve a hajtáslánc súrlódásából adódó veszteségeit.

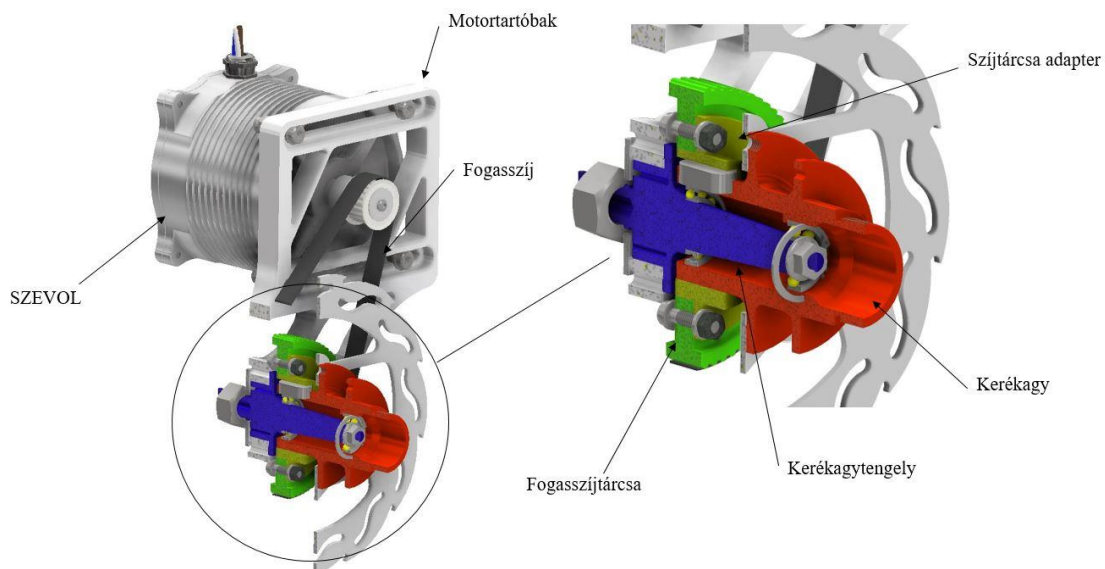
Már a csapat előző autóján a SZElectricity-n elkezdődtek a fejlesztések melyek arra irányultak, hogy szabadonfutáskor a motor függetleníthető legyen a keréktől. Ezt elsősorban forgásirány-kapcsolású tengelykapcsolóval, más néven szabadonfutóval, illetve egy bistabil állandó mágneses tengelykapcsolóval (PMBECU) kívánta a csapat megoldani. Szabadonfutó alkalmazásával a motor leválasztható ugyan, azonban a regeneratív fékezés nem megvalósítható, így ez a megoldás elvetésre került. A bistabil állandó mágneses tengelykapcsoló beépítésével a regeneratív fékezés megoldhatóvá vált, azonban számos probléma ütötte fel a fejét használata során.

A szerkezet egytengelyűségi hibákra, valamint a tárcsák közé kerülő szennyeződésekre érzékeny volt. Ebből adódóan üzemi körülmények között a tengelykapcsoló gyakran megcsúszott. További hátránya a tömege mely elérte a 4kg-ot. Megemlíthető továbbá, hogy a bistabil állandó mágneses tengelykapcsoló oldásához, valamint összezárásához a tekercsek gerjesztése szükséges, ezzel pedig kapcsolások során energiát használ fel.

A SZEmission hajtásláncának megtervezésénél az alacsony tömeg, valamint a súrlódási veszteséges lehető legkisebb szintre történő csökkentése kapta a fő hangsúlyt, így az nem tartalmaz tengelykapcsolót. Azonban az autó 2019-es elkészülése óta számos mérés lett végezve, melyek egy része a motor leválasztásával nyerhető energia vizsgálatára irányult. A mérési eredmények kiértékelése után egyértelművé vált, hogy egy tengelykapcsoló hajtásláncba való beiktatásával a csapat jelentős előnyre tehet szert vetélytársaival szemben.

3.2. SZEmission hajtásláncának bemutatása

A SZEmission jelenlegi hajtáslánca a hátsó merev hídon található meg (10. ábra). A meghajtásért felelős állandó mágneses szinkronmotor a karbon kompozitból készült hídra csavarkötéssel felerősített motortartóbakon helyezkedik el. Erre a bakra van felerősítve továbbá a kerékagy tengely, másnéven tengelycsonk, melyen a kerékagy forgó mozgását biztosító kettő darab mélyhornyú golyóscsapágy található meg. A motor egy fogasszíj áttételen keresztül hatja meg a kerékagyat, az arra felhelyezett fogasszíj tárcsán keresztül. A nyomatékátvitelt a kerékagy és a fogasszíj tárcsa között reteszkötés biztosítja. Fogasszíj használatának köszönhetően a nyomaték átvitel, az alakzárás következtében, csúszásmentesen, magas hatásfokkal valósítható meg a tömeg alacsony szinten tartása mellett.



10. ábra: SZEmission hajtáslánca [12]

Anyag használatot tekintve kis sűrűségének és jó szilárdságtani tulajdonságokkal rendelkező alumínium 7075-T6 (AlZn5.5MgCu) volt előnyben részesítve a tervezés során. Kivételt képez ez alól a kerékagy tartó tengely, melyet a jármű súlyából adódó súlyerőn túl az útestről érkező dinamikus hatások is igénybe vesznek. Ezek mellett hat rá a hajtásból származó húzóerő. Ez az összetett igénybevétel indokolta az acél alkalmazását

3.3. Tengelykapcsoló tervezése

A tengelykapcsoló megtervezése, mint minden mérnöki feladat, a tervezett szerkezettel szemben támasztott elvárások megfogalmazásával kezdődött. Ezt követően szükséges volt egy olyan konstrukció megtalálása, mellyel a lehető legegyszerűbb módon összeegyeztethető a lefektetett követelményrendszer. Végezetül pedig a követelményeknek megfelelő konstrukció tervezésére került sor.

A tengelykapcsolóval szemben támasztott követelmények:

- Szerkezet inerciája alacsony legyen
- Tökéletes oldás minden körülmény között
- Kapcsolás során ne érje ütésszerű terhelés a komponenseket
- Kenés nélküli üzemre képes legyen
- Egyszerű felépítés
- Szerelhetőség
- Modularitás
- Oldott állapotban a kerék oldali csapágycsuklókat ne terhelje az oldásból származó erő
- A tengelyek szinkronizálását képes legyen elvégezni.
- Emberi erővel oldható szerkezet

A lehetséges konstrukció utáni vizsgálódás két irányba indult el. Megvizsgálásra kerültek az oldható alakzáró, majd az oldható erőzáró tengelykapcsolók.

Alakzáró tengelykapcsolók előnye a kis tömeg, valamint az egyszerű felépítés. Azonban számos egyéb tényező van, melyek következménye, hogy ilyen jellegű felhasználásra nem alkalmasak. Kapcsolás során a tengelyek között fennálló szögsebesség különbséget nem, vagy csak kismértékű eltérés során tudják ütés mentesen kiegyenlíteni. Továbbá terhelés során a finom, könnyed kapcsolás nem megvalósítható. Száraz körülmények közötti üzemük pedig megkérdőjelezhető. [3] [4]

Ezzel szemben súrlódó tengelykapcsolókkal megvalósítható a finom, ütésmentes kapcsolás akár terhelés alatt is. Száraz, kenésmentes üzemi körülmények között is megbízhatóak. A kapcsolás során fellépő csúszás lehetővé teszi a tengelyek között fennálló szögsebesség különbség kiegyenlítését. A modularitást, valamint kis tömeget szem előtt tartva egy darab tárcsával rendelkező tengelykapcsoló lett választva a tervezés alapjául.

A motor, valamint a fogasszíj leválasztása is cél, így a tengelykapcsolót a fogasszíj áttétel után szükséges beépíteni. Az újonnan tervezett hajtáslánc komponenseinek elhelyezkedése

lehetővé teszi, hogy a tengelykapcsoló és a fogasszíj tárcsa egységet alkosson, ezzel csökkentve a beépítési helyszükségletet és a szerkezet tömegét. A fogasszíj tárcsa kereskedelmi forgalomban elérhető, a fogazat megmunkálása méret pontos, míg a tárcsa belső része anyagráhagyással készült, ezzel lehetővé téve a későbbi megmunkálást (11. ábra).



11. ábra: Előgyártott fogasszíjtárcsa

3.3.1. Súrlódóanyag választás

Anyagválasztást során elsődleges szempont volt az anyagpárra vonatkoztatott magas súrlódási együttható érték, illetve, hogy a súrlódó felületként választott anyag a csapat számára elérhető, továbbá az tetszőleges méretre szabható legyen. Ezért célszerű volt egy vállalat keresése, melynek fő profilja súrlódó anyagok fejlesztésével és gyártása.

A ProTec Friction Group már évtizedek óta foglalkozik súrlódó anyagok és bevonatok gyártásával, forgalmazásával. Termékpalettájukon megtalálható számos anyag, melyek elérhetők lap, gyűrű, valamint már a hordozó felületre felvitt formában. A széles választék és a személyre szabhatóság ideálissá teszik a termékeket egyedi konstrukciókban való alkalmazásra. [13]

A megvizsgált anyagok közül kiválasztásra került a kevlár alapú TF1700 kód nevű súrlódó anyag (12. ábra). A magas súrlódási együttható értéken, a kiemelkedő kopási tulajdonságain, valamint a kedvező sűrűségeen túl további előnye, hogy akár 0,1mm-es vastagságban is elérhető, ezzel csökkentve a tárcsa beépítési méreteit, valamint a tömegét. [13]



12. ábra: TF 1700 súrlódóanyag [13]

Gyártói ajánlásra a kiválasztott anyag C60 nemesíthető acéllal kerül párosításra, ezzel biztosítva az optimális súrlódási együttható értéket. A kiválasztott acél nemesítésével a felület kopásállósága tovább növelhető.

A tervezés szempontjából releváns adatokat a 1. táblázat foglalja magába.

1. Táblázat: TF 1700 mechanikai tulajdonságai [13]

TF1700	
Sűrűség	1,27 g/cm ³
Csúszási súrlódási tényező (C60 esetében)	~0,65
Tapadó súrlódási tényező (C60 esetében)	~0,7
Megengedett felületi nyomás	~ 25 MPa
Rugalmassági modulus	7,2 GPa
Poisson tényező	0,27
Keménység (Shore-D)	85±5

Tárcsára való rögzítésére LOCTITE PC 9456 kód nevű kétkomponensű epoxy ragasztó lett választva.

3.3.2.Számítás

A tengelykapcsoló méretezéséhez elengedhetetlenül fontos a hajtó villanymotor által leadott csúcsnyomatéki érték ismerete, ebből a mértékadó nyomaték meghatározása. A csapat mérőpadon végzett méréseiből tudható, hogy ez a csúcsérték indítás során lép fel, értéke az áttételt követően $T_{cs} = 40,5 \text{ Nm}$. Működés közben a hajtómotorra egyenletes üzem jellemző, így a választott dinamikus tényező értéke $c_d=1,15$. Továbbá azt is ki kell emelni, hogy ez a csúcsérték egy rövid időpillanatig áll fent, konstans üzemi körülmények között a tengelykapcsolónak ennél az értéknél kisebb nyomatékot kell átvinnie.

Súrlódó tárcsás dörzskapcsoló esetében további tényezőket kell figyelembe venni a mértékadó nyomaték meghatározása során. Ezek a tényezők kellő gondossággal végzett mérlegelés után elhagyhatók, amennyiben szükséges meghatározhatók.

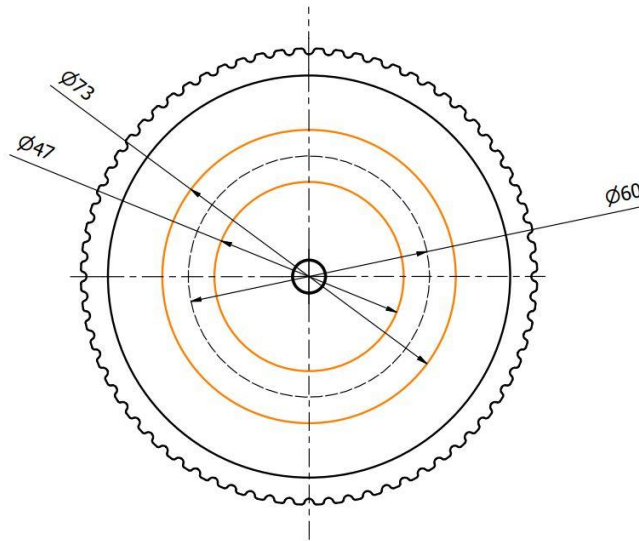
A mértékadó nyomaték értéke:

$$T_m = \frac{c_d \cdot T_{cs}}{c_m \cdot c_z \cdot c_v} \quad (19.1)$$

T_m	Mértékadó nyomaték
T_{cs}	Csúcs nyomaték
c_d	Dinamikus tényező
c_m	Óránkénti kapcsolásokra vonatkozó korrekciós tényező
c_z	Érintkező felületepárok számára vonatkozó korrekciós tényező
c_v	Csúszási sebességre vonatkozó korrekciós tényező

A csapat eddig szerzett tapasztalataiból feltételezhető, hogy a tervezett tengelykapcsoló verseny közbeni kapcsolási száma 100/óra alatt lenne, így az erre vonatkozó korrekciós tényező elhagyható. Kritériumként volt megjelölve, hogy az érintkező felületek száma nem haladhatja meg a 2 darabot. Ilyen érték mellett nem szükséges korrekciós tényezőt bevezetni. Nem lett figyelembe véve a bekapcsoláskor fellépő csúszási sebességre vonatkozó korrekciós tényező se, hiszen a felgyorsítandó tömeg bekapcsolás következtében csupán a tengelykapcsoló hajtó oldala, valamint a motor forgórésze. Ezek felgyorsításánál a nyomatékszükséglet csekély. A mértékadó nyomaték értéke így $T_m = 46,575 \text{ Nm}$.

A számítás során az érintkező felületek külső, valamint belső átmérője konstrukciós megfontolásból előre megválasztásra került. A külső átmérő $d_1 = 73$ mm, míg a belső $d_2 = 47$ mm (13. ábra). A méretek meghatározásánál szem előtt volt tartva, hogy az átmérő viszonyokra vonatkozó tapasztalati tényező értéke $c = 0,1 - 0,25$ közé essen. Szempont volt továbbá, hogy a tárcsa külső peremén kerül elhelyezésre a kosárszerkezet, míg a belső részen a tárcsa csapágyazása.



13. ábra: Súrlódó felület elhelyezkedése a tárcsa homlokfelületén

A mértékadó nyomaték az érintkező anyagpárookra vonatkoztatott csúszási súrlódási együttható érték, valamint a súrlódó felületek geometriai méretének ismeretében meghatározható a szükséges összeszorító erő, majd az érintkező felületeken kialakult felületi nyomás. Mivel a tárcsa mindkettő oldalán található súrlódó anyag, ezért két darab érintkező felületpárral lett elvégezve a számítás.

A szükséges axiális összeszorító erő meghatározásához alkalmazott összefüggés:

$$T = n \cdot \mu \cdot F \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{(d_1^3 - d_2^3)}{(d_1^2 - d_2^2)} \quad (21.1) [6]$$

$$F = \frac{3 \cdot T \cdot (d_1^2 - d_2^2)}{n \cdot \mu \cdot (d_1^3 - d_2^3)} \quad (21.2)$$

T	Átvihető nyomaték
n	Érintkező felületepárok száma
μ	Súrlódási tényező
F	Felületeket összeszorító erő
r_1	Érintkező felület külső átmérője
r_2	Érintkező felület belső átmérője

A felületeken kialakult felületi nyomás megvizsgálása fontos, hiszen a túlzottan nagy nyomás negatív hatással lehet a súrlódási tényező értékére, a kopás sebességére, valamint roncsolhatja a felületet. Ezért a kapott értéket össze kell vetni a felületre megengedett maximális nyomásértékkal.

A meghatározáshoz használt összefüggés:

$$P = \frac{F}{\pi \cdot (r_1^2 - r_2^2)} \quad (22.1) [3]$$

P	Kialakult felületi nyomás
F	Felületeket összeszorító erő
r_1	Érintkező felület külső sugara
r_2	Érintkező felület belső sugara

A kapott eredmények a 2. táblázatban láthatók.

2. Táblázat: Számítás eredményei

Érintkező felületpárok száma	Szükséges összeszorító erő [N]	Kialakult felületi nyomás [Mpa]	Felületpárok által átvitt nyomaték [Nm]
2	1176	0,48	20,25

3.3.3. Rugó méretezés

A tervezet tengelykapcsolóban a felületek összeszorítását tányérrugó biztosítja, ezzel egyszerűsítve a szerkezet felépítését s csökkentve a tömegét.

A tányérrugó anyagának 51CrV4 melegem hengerelt rugó acél lett választva. Az anyag mechanikai tulajdonságai a 3. táblázatban láthatók.

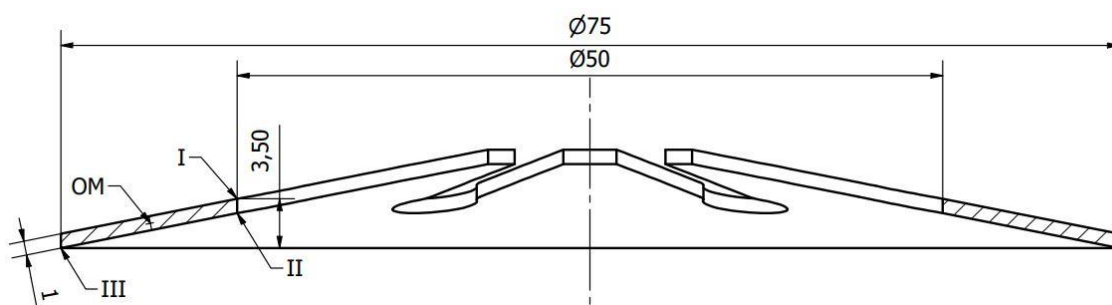
3. Táblázat: 51CrV4 rugóacél mechanikai tulajdonságai [14] [15]

51CrV4	
Sűrűség	7,8 g/cm ³
Rugalmassági modulus	210 GPa
Poisson tényező	0,3
Megengedett nyomófeszültség	~2600 MPa

A rugó megtervezéséhez alapul szolgált a kiszámolt axiális összeszorító erő értéke, mivel előfeszített állapotban ezt az erőt kell kifejteni a nyomólapra. Méreteinek meghatározása a Mubea vállalat által kínált méretező szoftver segítségével történt.

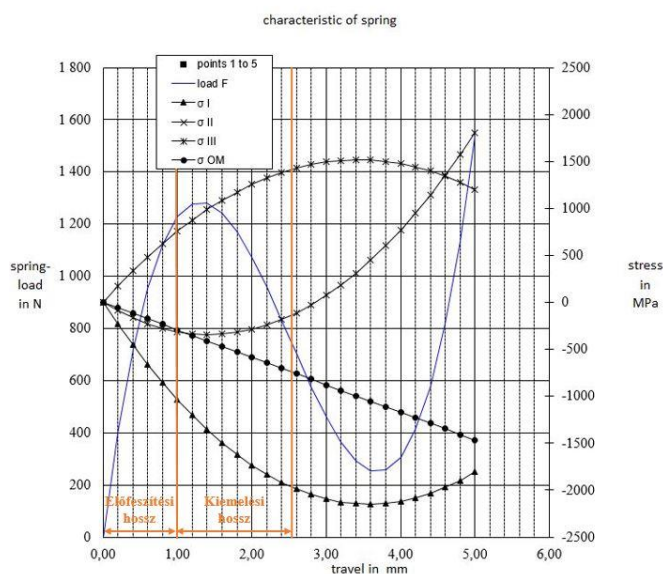
A program az Almen és László által kidolgozott összefüggés alapján a megadott paraméterek függvényében meghatározza, majd ábrázolja a rugókarakterisztikát, valamint a rugó veszélyes pontjaiban ébredő feszültségi értékeket a deformáció függvényében. A hajlító igénybevétel következtében nyomó, valamint húzó feszültség ébred a rugó veszélyes pontjain melyek az élek mentén helyezkednek el. [4]

A tányérrugó méretei a 14. ábrán láthatók



14. ábra: Tányérrugó méretei

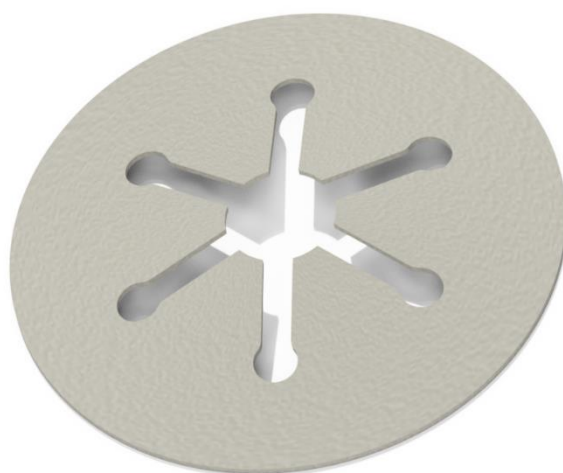
A tányérrugó karakterisztikáját megvizsgálva látszik, hogy a szükséges előfeszítési út 1 mm, valamint, hogy a kinyomási út hossz 1,5 mm (15. ábra). A két érték összegéből adódik a működési hossz, ezen a hosszon szükséges megvizsgálni a rugó veszélyes pontjain ébredő nyomó feszültségi értékeket, melyek nem haladhatják meg a választott anyagra előírt megengedett maximális értéket.



15. ábra: Tányérrugó karakterisztikája és az ébredő feszültségek

Az ébredő nyomó feszültség maximális értéke $\sigma_I = 1950 \text{ MPa}$ ezt összevetve a megengedett értékkel a rugó megfelelőnek tekinthető.

A tányérrugó belső pereme mentén elhelyezett nyelvek segítségével billenthető oldás során. A bevágások végén található furat pedig a rögzítő csapok elhelyezésére szolgál (16. ábra).



16. ábra: Megtervezett tányérrugó

3.3.4. Tengelykapcsoló bemutatása

A tengelykapcsoló főbb elemei kielégítő szilárdságtani tulajdonságokkal rendelkező és alacsony sűrűségű alumínium 7075-T6 (AlZn5.5MgCu) - ből készülnek.

A választott anyag mechanikai tulajdonságait a 4. táblázat mutatja.

4. Táblázat: 7075-T6 (AlZn5.5MgCu) mechanikai tulajdonságai [16]

Alumínium 7075 T6	
Sűrűség	2,81 g/cm ³
Rockwell keménység	87 HRB
Rugalmassági modulus	71,1 GPa
Poisson tényező	0,33
Szakítószilárdság	510-572 MPa
Folyáshatár	430-476 MPa

A tengelykapcsoló méreteit a fogasszíj tárcsa méretei határozták meg, így a konstrukciós folyamat a szíjtárcsa megtervezésével kezdődött. Ezen a központinak tekinthető elemen kerül rögzítésre a kosárszerkezet, valamint a tárcsa súrlódó felületével érintkező acélbetét, mely csavarkötéssel kerül rögzítve a tárcsa homlokfelületére. A tengelykapcsoló kosár a tárcsán kialakított illesztőváll segítségével kerül pozícionálásra a tengelykapcsoló kosár és annak rögzítéséről átmenő csavarok gondoskodnak.

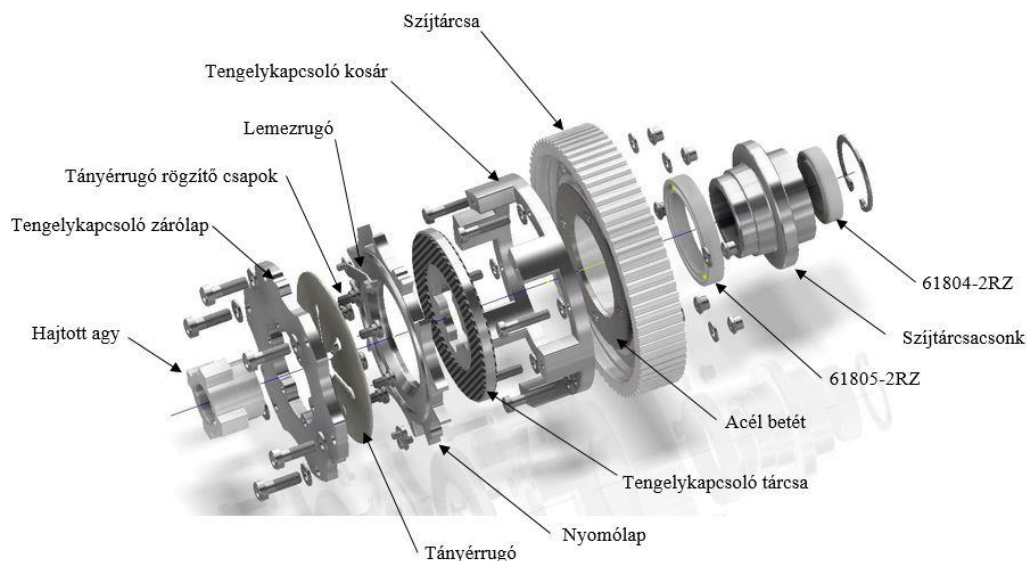
A kiválasztott súrlódó anyag, méretre munkálás után, kerül felhelyezésre a kiválasztott alumínium ötvözetből készült tárcsára, mely a gyártás során kerül előkészítésre a

ragasztáshoz. A homlokfelületen sugár irányban kialakított hornyok biztosítják a ragasztó megfelelő eloszlását, ezzel pedig a felvitt anyag pozícióját. A hornyok elosztása úgy lett kialakítva, hogy a súrlódó anyag kellő nagyságú síkfelületen legyen képes felfeküdni, biztosítva ezzel az érintkező felületek párhuzamosságát. A tárcsa az agy részhez csatlakozik, mely az üzem során ébredő nyomatókot reteszkötésen keresztül adja tovább a kerék meghajtását biztosító tengelynek.

A felületek összeszorítása a nyomólap által történik, melyhez a rugó közvetlen kapcsolódik. Ebben az esetben is megtalálhatók a szíjtárcsánál alkalmazott acélbetétek, melyek csavarkötéssel vannak rögzítve. A nyomólap a kerülete mentén kialakított körmökkel kapcsolódik a tengelykapcsoló kosarához, ezzel biztosítva azok együtt forgását. Kerülete mentén található továbbá 3 darab lemez rugó, melyek a tengelykapcsoló oldását követően biztosítják a nyomólap elválását az érintkező felülettől.

A tényérrugó a tengelykapcsoló zárólapjához csatlakozik, az erre a célra tervezett csapok segítségével, melyek pozícionálják, valamint oldáskor meggátolják, hogy tengelyirányba képes legyen elmozdulni.

A tengelykapcsoló felépítését a 17. ábrán látható.



17. ábra: Tengelykapcsoló robbantott ábrája

Tervezés során fő szempont volt, hogy oldott állapotban a kerék oldali csapágyazást ne terhelje az oldásból származó erő. A szíjtárcsacsonkon elhelyezett csapágy veszi fel nyitott állapotban a rugó kinyomásából származó erőt. Ezzel elkerülve, hogy az a kerék hajtótengely csapágyazásán ébredjen. A tervezett tengelykapcsoló 18. ábra látható.



18. ábra: A tervezett tengelykapcsoló axonometrikus nézetben

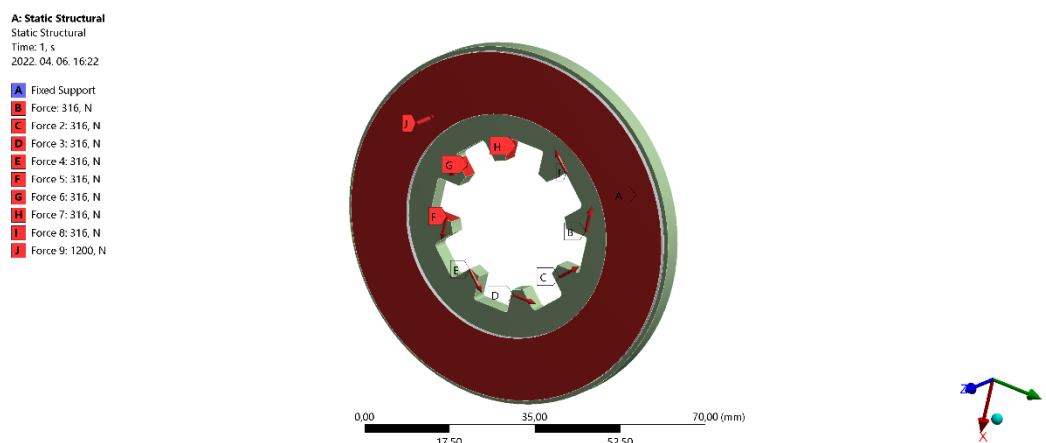
3.3.5. Szilárdságtani ellenőrzés

Végelem szimuláció azokon az alkatrészekon lett elvégezve, melyeket üzemküzben összetett igénybevétel ér, így vizsgálatra kerültek a következő alkatrészek:

- Tengelykapcsoló tárcsa
- Nyomólap
- Szíjtárcsacsonk
- Tengelykapcsoló kosár és zárólap

A statikus végelem szimuláció környezete Ansys Workbench 2019 R1 programban került felépítésre. CAD modellek a tervezésre használt programból lettek importálva a szükséges egyszerűsítések eszközölését követően. Az egyszerű geometriák következtében a program által kínált automatikus hálógenerálás funkció volt alkalmazva. Pontos eredmények érdekében hálózás során, a programban erre a célra beépített eszköz segítségével, konvergencia vizsgálat lett végezve. Ezzel a módszerrel biztosítható, hogy a szimuláció a megfelelő csomópont számmal rendelkező hálóval legyen elvégezve. Az alkatrészeket ért terhelések meghatározhatók a komponenseket ért csavaró nyomaték csúcsértéket, valamint a rugó előfeszítéséből és oldásából származó erőket alapul véve. A vizsgált komponensek anyaga a fentebb bemutatott alumínium 7075-T6 melynek folyáshatára 430 Mpa. Kivételt képez a súrlódó felület anyaga, mely a megfelelő anyagtulajdonságokkal lett ellátva a szimuláció során. A szimulációs eredmények kiértékelése $n=2$ – es biztonsági tényezővel történt.

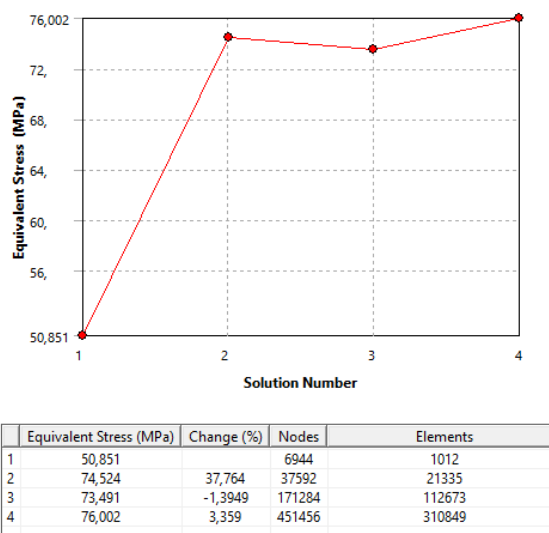
A vizsgálat a tengelykapcsoló tárcsa szimulációjával kezdődött. A peremfeltételek megadása során megfogásra került a tárcsa egyik homlokfelületek, az összeszorító erő pedig a másik homlokfelületen lett definiálva. A fogakon a csavaró nyomaték következtében ébredő reakcióerők lettek felvéve (19. ábra).



19. ábra: Peremfeltételek a tárcsa esetében

Hálózás során a pontos eredmények érdekében konvergencia vizsgálat lett végezve, vagyis a program maximális feszültségérték környezetében lokális háló sűrítést alkalmazott, ezzel pontosítva a kapott eredményt.

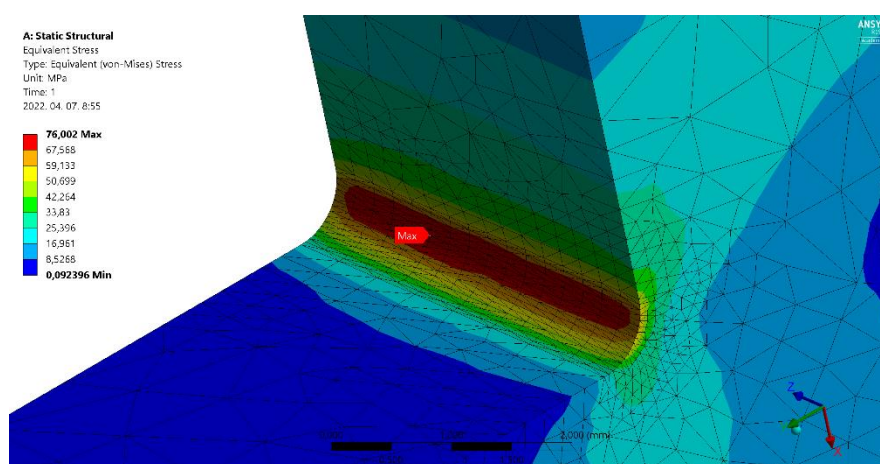
Látható, hogy az iterációs folyamat 4 lépésből állt. Az utolsó lépésben 451456 db csomópont és 310849 db elem került legenerálásra (20. ábra).



20. ábra: Konvergencia vizsgálat eredménye

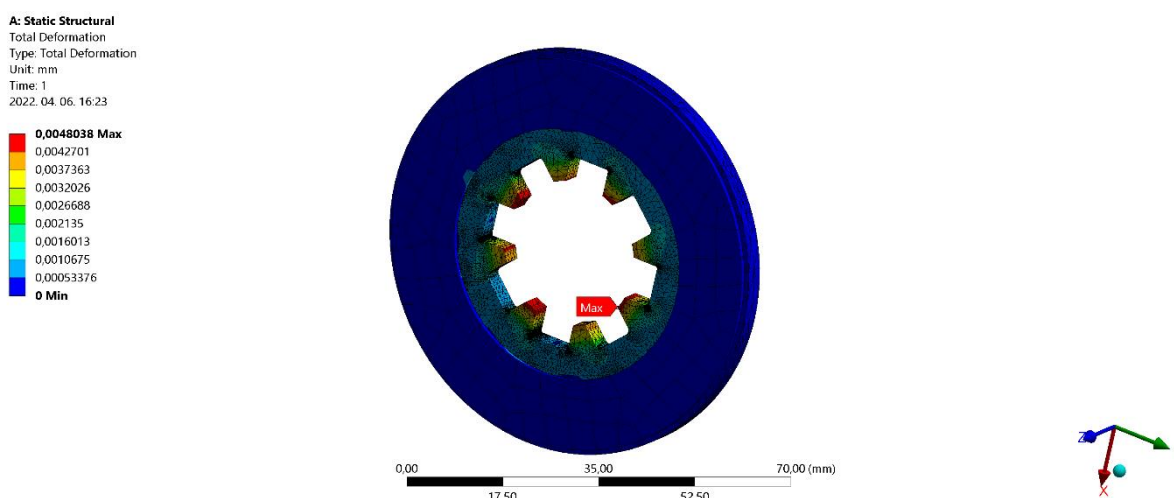
Feltételezhető, hogy a háló további finomítása nem járna szignifikáns változással a redukált feszültségi értékeket tekintve, azonban a számítási időszükségletet nagymértékben megnövelné. Ezért a háló csomópont száma megfelelőnek tekinthető.

A maximális feszültség a kapcsolódó fogak tövében ébred, értéke pedig 76,002 Mpa (21. ábra). Ez az érték elfogadhatónak tekinthető, hiszen a tárcsa anyagának választott alumínium folyáshatára 430 Mpa. A homlokfelületen kialakult felületi nyomás értéke hozzávetőlegesen 0,73 Mpa, mely a súrlódó felületként alkalmazott anyagra megengedett érték alatt van, így kijelenthető, hogy a kialakult felületi nyomás nincs negatív hatással a súrlódási tényező értékére.



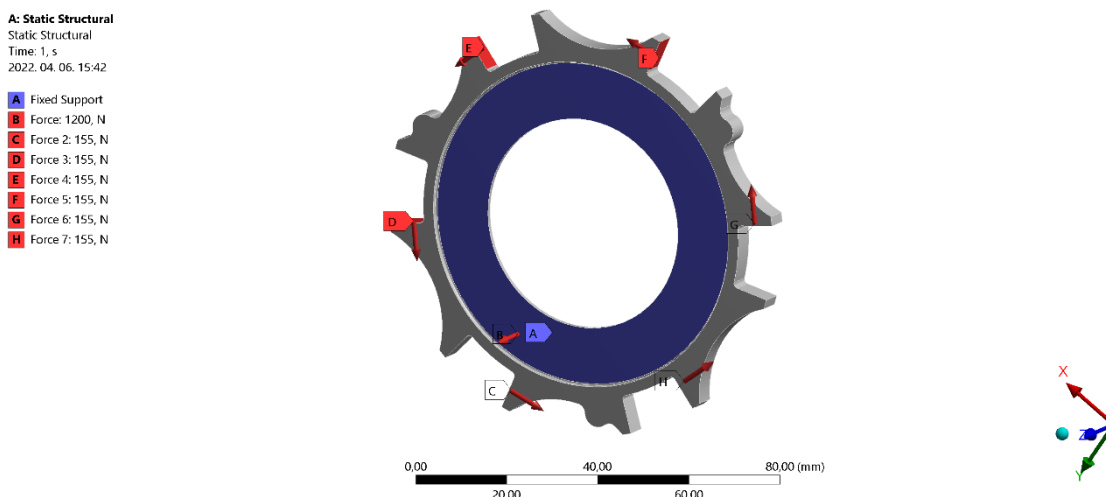
21. ábra: Feszültségeloszlás a fog tövében

A legnagyobb elmozdulás értéke csupán 0,0048 mm, ami a fogak végén ébred. Ilyen alacsony mértékű deformáció nem befolyásolja a szerkezet működését (22. ábra).



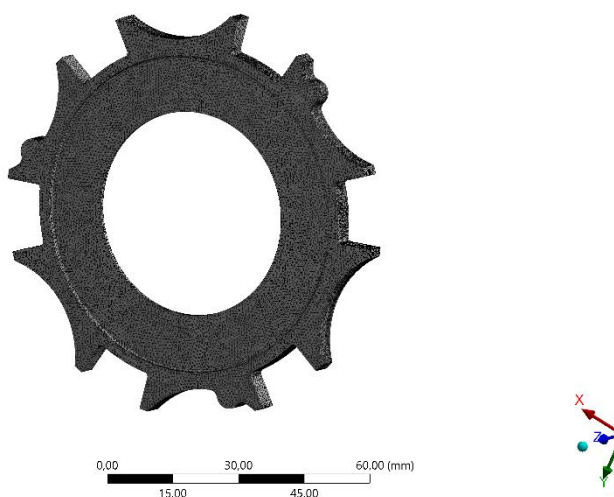
22. ábra: Tengelykapcsoló elmozdulás értékei

A nyomólap vizsgálata esetében, a peremfeltételek megadása során, lekötésre került a nyomólap homloklapfelülete. Az alkatrész, valamint a tányérrugó csatlakozási felületén lett definiálva az erő, melyet a rugó előfeszített állapotban kifejt a nyomólapra. Ennek értéke 1200N. Továbbá a csavaró nyomaték következtében a körmök és a kosár fogai között erő ébred, mely a maximális nyomaték és az erő támadáspontja, valamint középvonal közötti távolság ismeretében meghatározható. Ezek a körmökön ébredő erők lettek felvéve a megfelelő felületeken a szimuláció során (23. ábra).



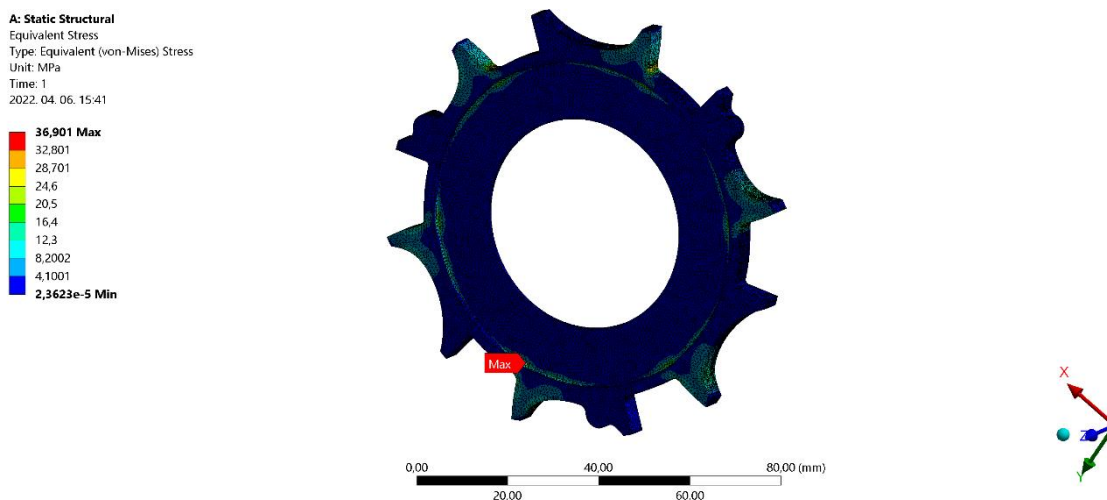
23. ábra. Terhelések és megfogások a nyomólapon

Hálózás során 0,4 mm – es elemméret mellett 310177 db csomópont és 179387 db elem került generálásra (24. ábra).



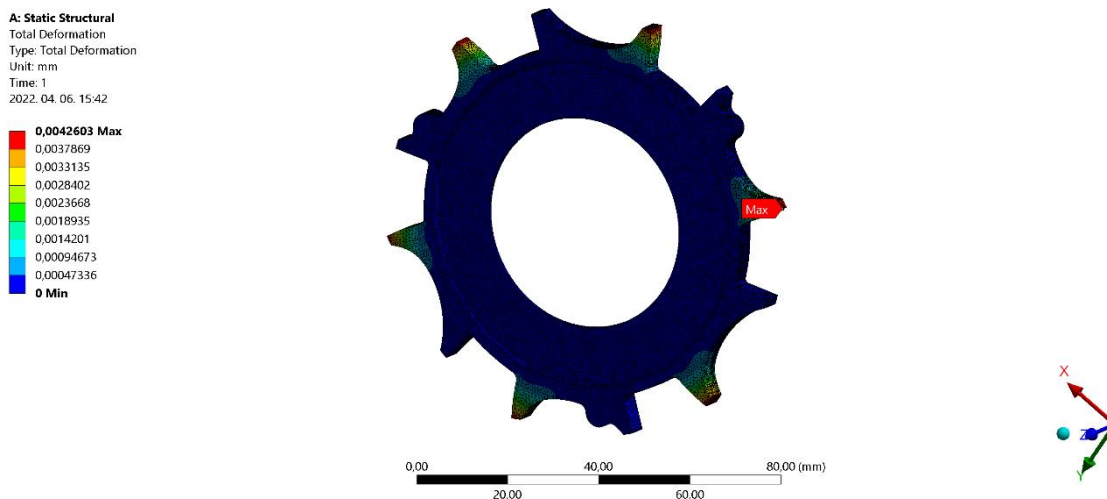
24. ábra. Behálózott nyomólap

Az alkatrészben a terhelés hatására ébredő legnagyobb feszültség a homlokfelület tövében ébred, értéke 36,9 MPa (25. ábra). A kapott eredményt összevetve a tárcsa anyagának folyáshatárával látható, hogy az alkatrész üzem során fellépő terheléseknek ellenáll, így az megfelelőnek tekinthető.



25. ábra. Feszültség eloszlás a nyomólapon

A maximális elmozdulás a körmök végén ébred, értéke 0,00426 mm (26. ábra). Ez nincs hatással a szerkezet üzembiztonságára, így az szintén elfogadhatónak tekinthető.

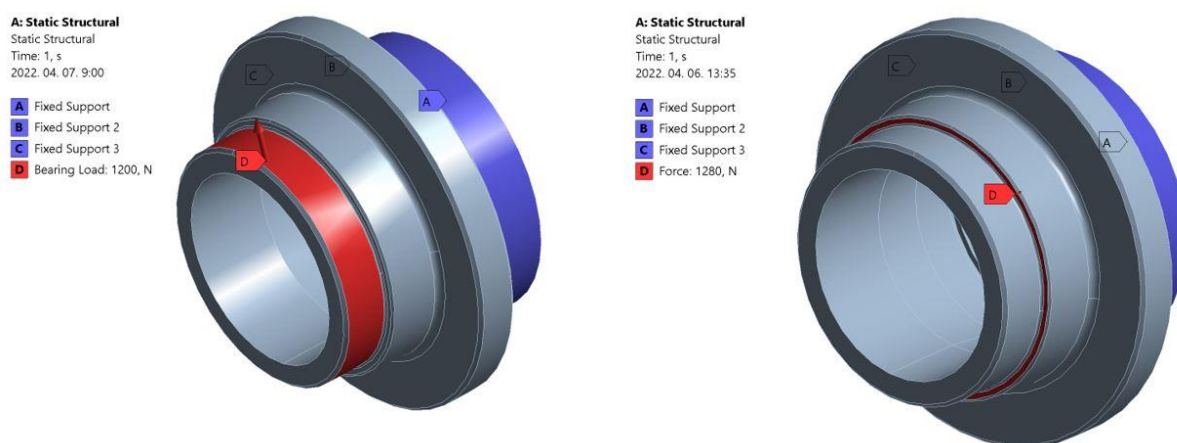


26. ábra: Elmozdulási értékek

Vizsgálatra került továbbá a szíjtárcsacsonk, melyre kettő egymástól jól elkülöníthető igénybevétel hat. A tengelykapcsoló zárt állapotában a hajtásból származó sugárirányú szíj feszítő erő a csapágy érintkező felületén hajlítja az alkatrészt, ennek a hajlító erőnek a maximális értéke 1200 N. Nyitott állapotban a rugó kinyomásához szükséges nyomó erő a

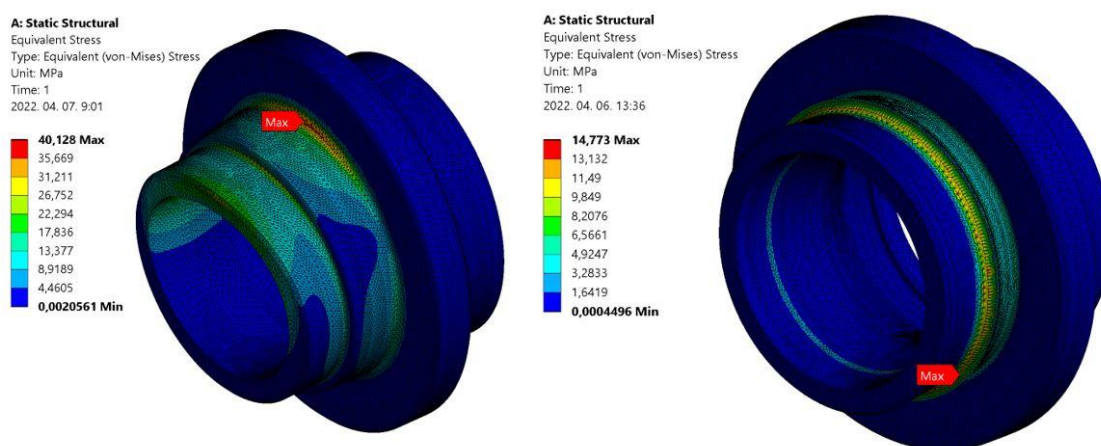
csapágyon keresztül nyomja az alkatrészt. A nyomóerőnek a legnagyobb értéke a rugókarakterisztikát megvizsgálva határozható meg. A rugóerő függvény lokális maximuma a kinyomási tartományban, vagyis 1 mm és 2,5 mm intervallumon az 1,4mm helyen van, értéke 1280 N. Így számításoknál ez az érték lett felvéve a csapágy számára kialakított vállon. Megfogások a csonk, valamint a motorbak érintkező pontjain lettek definiálva (27. ábra).

Mindkettő esetben azonos struktúrával rendelkező háló lett alkalmazva mely 441037 db csomópontot és 259318 db elemet tartalmazott 0,4 mm – es elemméret mellett.



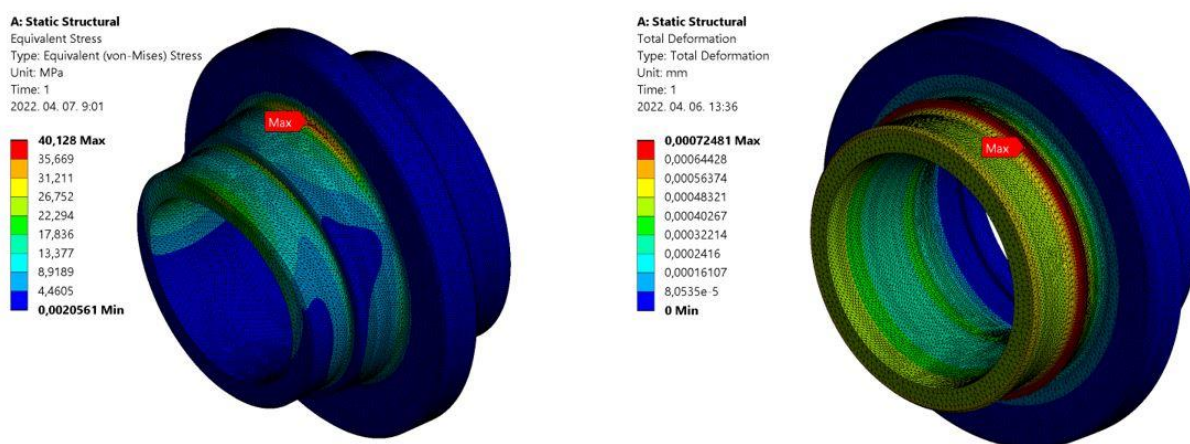
27. ábra: Eltérő terhelési esetekben alkalmazott peremfeltételek

Terhelés módjától függően a maximális feszültség eltérő helyen ébred. Hajlítás során a maximális feszültség értéke 40,128 Mpa. Amennyiben az alkatrésze nyomóerő hat a redukált feszültség értéke alacsonyabb mindösszesen 14,773 MPa (28. ábra). Az anyag folyáshatárának ismeretében kijelenthető, hogy az alkatész az üzem közben fellépő terheléseket elviseli.



28. ábra: Redukált feszültség értékek

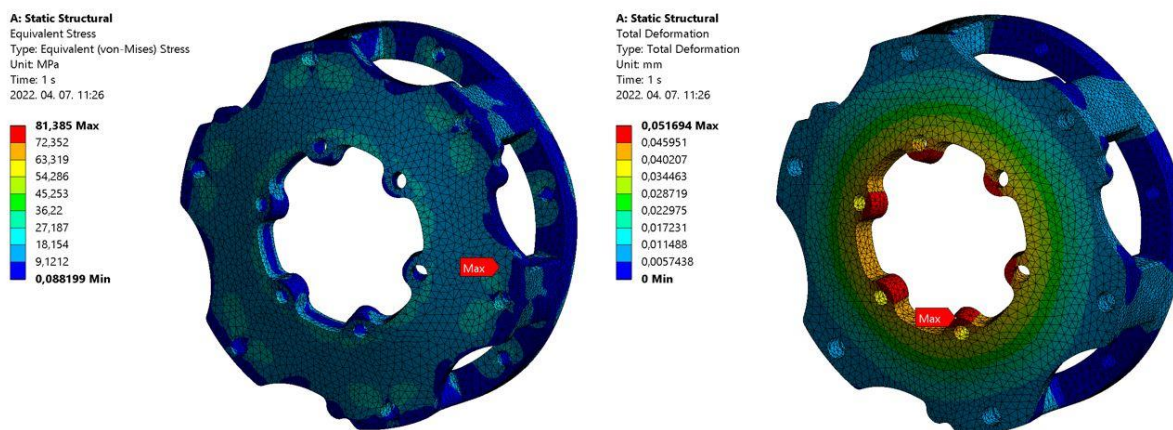
A deformáció értéke mindkettő esetben csekély, így azok nem befolyásolják a szerkezet működését (29. ábra).



29. ábra: Elmozdulási eredmények

A szimuláció utolsó lépése a tengelykapcsoló kosár és a tengelykapcsoló zárólapjának vizsgálata volt. A két alkatrész vizsgálata a tengelykapcsoló zárt állapotában ébredő erők, valamint a maximális hajtó nyomaték figyelembevétele mellett zajlott. Erők lettek felvéve a nyomólap, valamint a kosár csatlakozási felületein, ezzel szimbolizálva a csavarás során fellépő hatásokat. A zárólapot a rugó előfeszítéséből származó erő terheli, így az szintén felvételre került a szimuláció során. A megfogások a kosár talpán kialakított rögzítő furatokon lettek definiálva.

A kapott eredményeket megvizsgálva látható, hogy az alkatrészcsoport a terheléseknek ellenáll, a fellépő elmozdulások pedig nincsenek negatív hatással a szerkezet működésére. A maximális redukált feszültség értéke 81,385 MPa, míg a legnagyobb elmozdulás 0,0517mm (30. ábra).



30. ábra: Redukált feszültség és elmozdulás értékek

Látható, hogy a vizsgált alkatrészek mindegyike maradandó alakváltozás nélkül elviseli a fellépő terheléseket. A sok esetben megjelenő alacsony redukált feszültség értékek arra engednek következtetni, hogy az alkatrészeken további tömegcsökkentéseket lehet végrehajtani.

4. Összefoglalás

A dolgozat célja egy tengelykapcsoló megtervezése volt, mely a SZEnergy Team SZEmission elnevezésű elektromos versenyautójának újonnan fejlesztett hajtásláncába kerül a jövőben beépítésre. A tengelykapcsoló használatával az autó energiahatékonysága tovább növelhető, mely további sikerekhez juttathatja hozzá a csapatot.

A dolgozat megírása a témával kapcsolatosan fellelhető szakirodalom felkutatásával majd annak összegzésével kezdődött. A szakirodalomra épülően megkezdődött a tervezési folyamat.

A tengelykapcsolóval szemben támasztott elvárások lefektetése után kiválasztásra került egy konstrukció, mely mentén elindulhatott a tervezés. A tervezési folyamat fontosabb lépései részletes bemutatásra kerültek. A megfelelő súrlódó anyagpárosítás megválasztása után a számításokat kellett elvégezni, melyek eredménye alapot adott a felületek összeszorítását biztosító rugó méretezéséhez. A szükséges számítások és méretezését követően bemutatásra került a megtervezett tengelykapcsoló.

Végezetül pedig a megtervezett alkatrészekén végeselem vizsgálat lett végezve, ezzel megbizonyosodva arról, hogy a komponensek az üzem közben fellépő hatásoknak ellenállnak. A vizsgálati eredmények megmutatták, hogy az alkatrészek elviselik az őket ért terheléseket, valamint, hogy további tömegcsökkentés valósítható meg.

Jövőbeni cél a tengelykapcsoló legyártása, majd annak próbapadi vizsgálata. Amennyiben üzembiztos a működése, elkezdődhet a tömegcsökkentet komponensek megtervezése, majd gyártása.

Köszönetnyilvánítás

A dolgozat kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül a „Tehetséggondozás és kutatói utánpótlás fejlesztése autonóm járműirányítási technológiák területén (EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Ábrajegyzék

1. ábra: SZEmission versenyautó [1].....	2
2. ábra: Tengelykapcsolók csoportosítása [3]	3
3. ábra: Súrlódó tengelykapcsoló sematikus ábrája	5
4. ábra: Kúpos tengelykapcsoló felépítése [7]	7
5. ábra: Egytárcsás tengelykapcsoló [9]	8
6. ábra. Kéttárcsás tengelykapcsoló [10]	9
7. ábra: Lemezes tengelykapcsoló [10]	9
8. ábra: Rugókarakterisztikák összehasonlítása [10].....	11
9. ábra: Tengelykapcsolóban fellépő szögsebességek alakulása kapcsolás során [5].....	11
10. ábra: SZEmission hajtáslánca [12]	15
11. ábra: Előgyártott fogasszíjtárcsa.....	17
12. ábra: TF 1700 surlódóanyag [13]	18
13. ábra: Súrlódó felület elhelyezkedése a tárcsa homlokfelületén	20
14. ábra: Tányérrugó méretei	23
15. ábra: Tányérrugó karakterisztikája és az ébredő feszültségek	23
16. ábra: Megtervezett tányérrugó	24
17. ábra: Tengelykapcsoló robbantott ábrája	25
18. ábra: A tervezett tengelykapcsoló axonometrikus nézetben	26
19. ábra: Peremfeltételek a tárcsa esetében	27
20. ábra: Konvergencia vizsgálat eredménye	27
21. ábra: Feszültségeloszlás a fog tövében	28
22. ábra: Tengelykapcsoló elmozdulás értékei	28
23. ábra. Terhelések és megfogások a nyomólapon.....	29
24. ábra. Behálózott nyomólap.....	29
25. ábra. Feszültség eloszlás a nyomólapon	30
26. ábra: Elmozdulási értékek	30
27. ábra: Eltérő terhelési esetekben alkalmazott peremfeltételek	31

28. ábra: Redukált feszültség értékek	31
29. ábra: Elmozdulási eredmények	32
30. ábra: Redukált feszültség és elmozdulás értékek	32

Táblázatok jegyzéke

1. Táblázat: TF 1700 mechanikai tulajdonságai [13]	18
2. Táblázat: Számítás eredményei	22
3. Táblázat: 51CrV4 rugóacél mechanikai tulajdonságai [14] [15]	22
4. Táblázat: 7075-T6 (AlZn5.5MgCu) mechanikai tulajdonságai [16].....	24

Irodalomjegyzék

- [1] „Shell Eco-marathon hivatalos honlapja”.
<https://www.makethefuture.shell/en-gb/shell-eco-marathon> , 22 03 2022.
- [2] „autopro.hu”:
<https://autopro.hu/techtogether/igy-erinti-a-koronavirus-jarvany-az-egyetemi-csapatokat/342906>, 01 04 2022.
- [3] T. Balogh, G. Bukoveczky, A. Lászlóné Pozsgai és M. Veres, Gépszerkezettan III., Győr: Széchenyi István Egyetem, 2006.
- [4] Á. Dr. Zsáry, Gépelemek I., Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó, 1989.
- [5] G. Zinner, Gépjárművek erőátviteli berendezései, Tankönyvmeseter Kiadó, 2005.
- [6] Z. Dr. Terplán, G. Nagy és I. Herczeg, Mechanikus Tengelykapcsolók, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1966.
- [7] Z. Dr. Lévai, Gépjármű-Erőátvitel, Egyetemi tananyag, Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, 2012.
- [8] „DESCH Group hivatalos honlapja”
<https://www.desch.com/en/home.html>. 24 03 2022.
- [9] D. V. Zoltán, „Tengelykapcsoló segédlet a Járműszerkezet I. tantárgyhoz,” Széchenyi István Egyetem Közúti és Vasúti Járművek Tanszék.
- [10] Bohner, Gscheidle, Leyer, Pichler, Saier, Schmidt, Siegmayer és Zwickel, Gépjárműszerkezetek, Budapest: Műszaki Tankönyvkiadó, 2017.
- [11] R. C Dante, Handbook of Friction Materials and their Applications, Elsevier Science, 2015.
- [12] *SZEnergy Team, belső forrás.*
- [13] „ProTec friction group hivatalos oldala,”
<https://www.protecfriktion.com/tf1700-ultimate-severe-service-kevlar> , 01 04 2022.
- [14] „Ovako hivatalos honlapja,”.
<https://steelnavigator.ovako.com/steel-grades/51crv4-en100892002/>, 20 03 2022.
- [15] „Mubea vállalat hivatalos honlapja,”.
<https://mubea-discsprings.com/disc-spring-calculator-tool/>, 20 03 2022.

- [16] „ASM Specification Aerospace Metals,”:
<https://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA7075T6>,
05 04 2022.