

Futómű tervezése összkerék-hajtású elektromos kísérleti járműhöz

Suspension system planning for an electric 4 wheel driven experimental vehicle

JANOCH Ábel¹, Dr. HARTH Péter²,

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárműtechnológia Tanszék
Magyarország, 1111 Budapest, Stoczek utca 6, janochabel@gmail.com

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárműtechnológia Tanszék
Magyarország, 1111 Budapest, Stoczek utca 6, peter.harth@auto.bme.hu

Abstract

Vehicle control with torque-vectoring methods is one of the key research field these days. We modify an old experimental vehicle with the aim of testing new control algorithms developed in the Department of Automotive Technologies. In this paper the mechanical suspension design will be presented from creating the new drivetrain layout to the system and part designs.

Kivonat

Napjaink egyik fontos kutatási területe a járműirányítás témakörében az elektromos hajtású járművek nyomaték-vektorálást alkalmazó vezérlése. A BME Gépjárműtechnológia Tanszéken fejlesztett algoritmusok valós körülmények közötti vizsgálatára egy korábbi tesztjárművet alakítottunk át. Ebben a cikkben a kísérleti autó futóművének mechanikus tervezése kerül bemutatásra az új hajtáslánc-elrendezés megválasztásától az alkatrészek főtervének elkészítéséig.

Kulcsszavak: Futómű tervezés, elektromos járművek

1. BEVEZETÉS

A folyamatosan fejlődő akkumulátor technológia mára lehetővé teszi, hogy a személyautóknál várható felhasználási módok nagy részénél már újra valós alternatívája legyen a villamos hajtás a belsőégésű motorral történő járműhajtásnak. Ezzel párhuzamosan az elmúlt évtizedekben a számítástechnika is olyan fejlődésen ment át, amely biztosítja az alapot a járműirányítási feladatok teljes újragondolására.

Az villanymotorok egyik jelentős előnye a belsőégésű motorokkal szemben az, hogy könnyen és gazdaságosan megvalósítható vele a kerekek egymástól független meghajtása. Ezt kihasználva sokkal könnyebben megoldható a hagyományos járműveknél bonyolult rendszereket igénylő, (pl.: önzáró differenciálmű, „elektronikus differenciálzár” a fékrendszer vezérlésével stb.) kerekenként eltérő hajtó- és fékezőnyomatékkal történő járművezérlés.

A BME GJT-n zajló elektromos hajtással, hajtóművekkel, valamint vezérlési algoritmusokkal kapcsolatos fejlesztések és kutatások validálására kezdtünk bele egy régebbi tesztjármű átépítésébe. Az autó korábban is az elektromos hajtás tesztelésére szolgált. Egy darab villanymotorja a pilóta mögött volt elhelyezve és a hátsó kerekeket lánchajtás közvetítésével mozgatta. Az új kialakítás négy kisebb, egymástól függetlenül vezérelhető villanymotort tartalmaz.

2. KÖVETELMÉNYRENDSZER

A tervezési feladat legfontosabb megkövetései a következők voltak: 4 motor alkalmazása féltengely-hajtással, 100 km hatótáv, 100 km/h maximális sebesség, megközelítőleg 400 kg maximális tömeg, valamint a lehető legtöbb rendelkezésre álló, korábbi alkatrész felhasználása. Az utolsó pontot figyelembe véve a váz (1. ábrán bemutatva), a korábban is alkalmazott motorkerékpár felnik és a féknyergek kerültek felhasználásra.



1. ábra: Rendelkezésre álló vázszerkezet

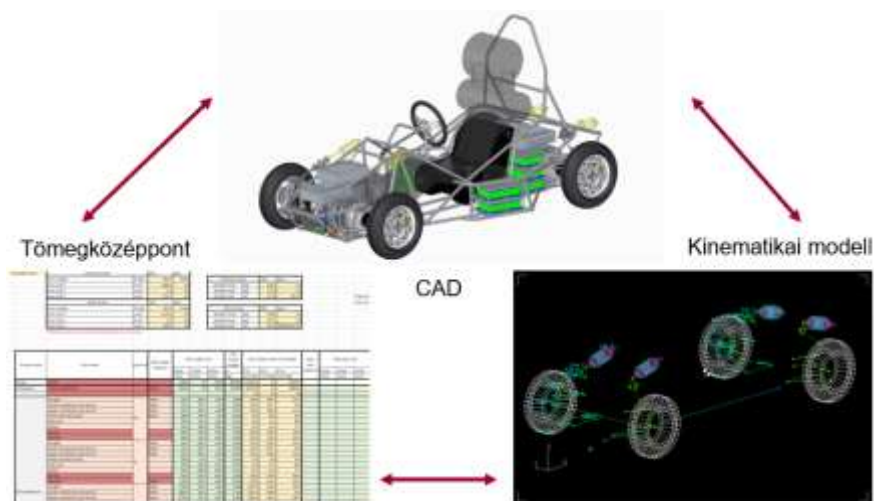
A célunk egy semleges viselkedésű – de ésszerű kereteken belül alul- és túlkormányozottságra is beállítható – jármű megalkotása volt, amelynél üzemi körülmények között a nyomaték-vektorálást alkalmazó vezérlésnek lesz domináns a hatása a kocsi dinamikus viselkedésére.

A futómű geometria meghatározásához a közúti [1,2] és verseny célú [3,4,5] járművek futóműtervezéssel kapcsolatos irodalmait és a CalPoly egyetemi csapatnak a kerek profilú gumiabroncsok alkalmazásáról szóló tanulmányát [6] is felhasználtuk. A tervezési célok a következőként voltak meghatározva:

- **Kialakítás:** Mindkét tengelyen kettős keresztlengőkaros futómű, eltérő hosszúságú és egymással nem párhuzamos lengőkarokkal, nyomórudas rugózással
- **Tengelytáv:** Az akkumulátorcsomag, a pilóta és a hajtáselemek elhelyezhetősége miatt a lehető legnagyobb legyen.
- **Kerékdőlés:** A kerek profilú abroncsok hosszirányban 0° -os dőléshez közeli helyzetben biztosítják a legnagyobb átvihető erőket, míg keresztirányban akár 45° -ig is az optimális tartományban maradnak. A futómű és a hajtás más alkatrészei nem viselnének el ilyen mértékű dőlésváltozást és szimmetrikus berugózáskor (egyenes vonalú gyorsítás/lassítás) is hátrányos lenne, ezért kevésbé szélsőséges karakterisztikát választottunk: Statikus érték: -0.5° , kirugózáskor pozitív irányba változzon, szimmetrikus berugózáskor kb. -2° , karosszériadőlésre és elkormányzásra kb. -4° -ig változzon a kerékdőlés.
- **Nyomtávváltozás és kerékösszetartás:** Berugózáskor növekszik a nyomtáv, kirugózáskor csökken. Az abroncsok oldalkúszását csökkentve ezzel összhangban berugózáskor szét- kirugózáskor összetartás jöjjön létre. Ez ívmenetben, a külső, terhelt kerekek domináns viselkedése miatt elől alulkormányozottságot, míg a hátsó tengelyen túlkormányozottságot okoz. Elöl ezt kívánatos viselkedésnek tekintjük, hátul pedig kompromisszumos megoldásként a nyomtávváltozás és az összetartás-változás mértéke is minimális legyen.
- **Csapgeometria:** Elöl kismértékű, negatív kormánylegördülési sugár jöjjön létre, ami miatt visszatérítő nyomaték ébred, de nem terheli túl a rendszer elemeit. A csapterpesztés legyen elég nagy, hogy biztosítsa a megfelelő kormánylegördülési sugár létrejöttét, de megfelelően alacsony is, hogy az ívkülső keréken az általa okozott pozitív dőlés a lehető legalacsonyabb legyen. Az első tengelynél a fékezés és a kormányzás a domináns terhelés míg hátul a hajtás. Ezért elől pozitív, hátul negatív utánfutás alkalmazása szükséges
- **Állíthatóság:** minden kerék dőlése és összetartása állítható legyen

3. ALKALMAZOTT MODELLEK

Az optimális – kinematikai feltételeket teljesítő, ütközésmentes és könnyen gyártható – geometria meghatározásához három, a 2. ábrán bemutatott modellt építettünk fel és ezeket egymással párhuzamosan fejlesztettük. Első a futómű kinematikai modellje volt. A nevezetes pontok koordinátaival meghatározott modell könnyen módosítható és könnyen kinyerhető belőle a fontos futómű karakterisztikák. A geometria optimalizálásával párhuzamosan készült el a teljes járművet tartalmazó CAD modell Solid Edge környezetben. A korai változatokban még 3 dimenziós vázlatok jelölték a futómű alkatrészeit, majd a munka előre haladtával lettek egyre részletesebben kidolgozottak az alkatrész modellek.

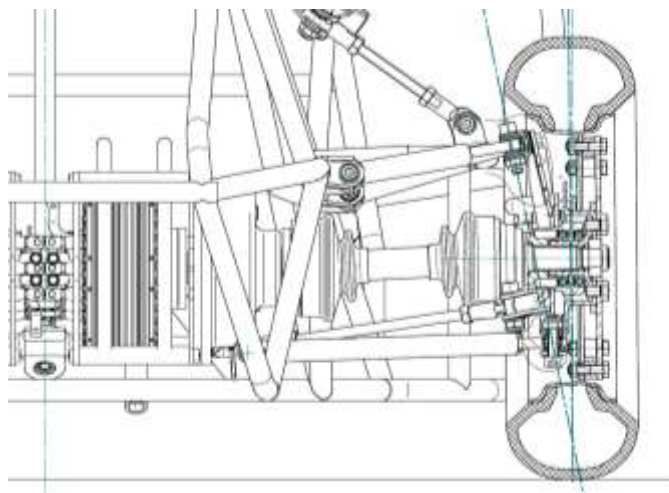


2. ábra: Alkalmazott modellek

A harmadik felhasznált eszköz a tömegközéppont számítására használt táblázat volt. Az egyes alkatrészek katalógusból származó vagy CAD modellből leolvasott tömegét és az alkatrészmodell tömegközéppontjának helyzetét felhasználva az Excel-tábla kiszámítja az össztömeget, a teljes jármű tömegközéppontját és a tengelyterhelések eloszlását.

4. VÉGLEGES GEOMETRIA

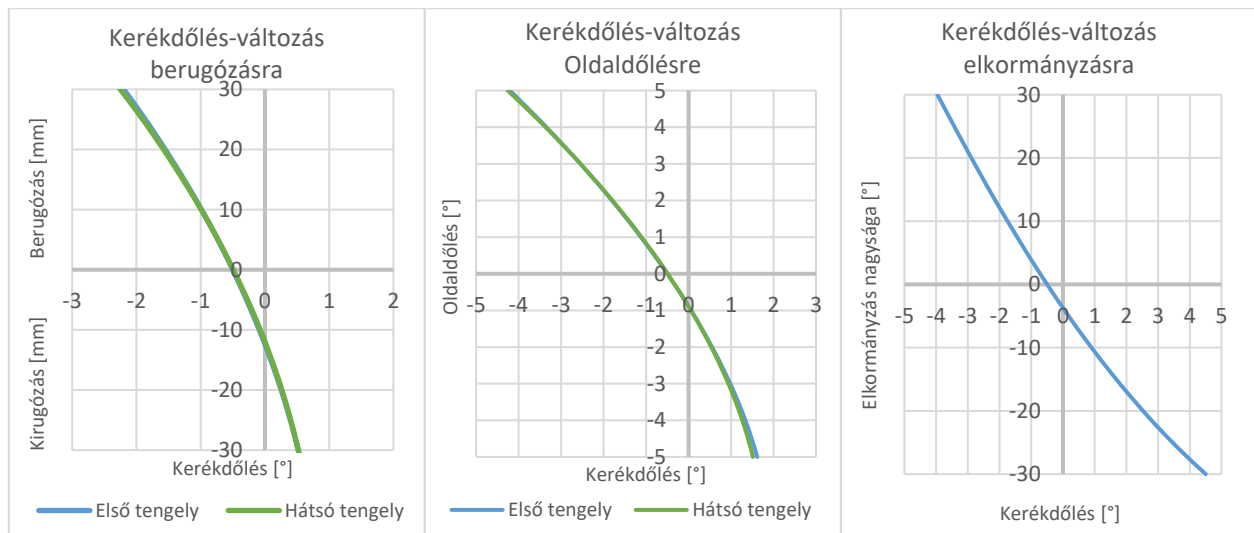
A végleges geometria részletes bemutatása (nevezetes pontok összes koordinátája, valamint a fontos futóműkarakterisztikák) a [7]-számú hivatkozásban található meg.



3. ábra: Első futómű, csapterpesztés, kormánylegördülési sugár

A háromrészes felni abroncsai és keréktárcsája közé elhelyezett szélesítésekkel megnöveltük a felni ET-számát, ezzel lehetőséget biztosítva a csonkállvány alsó gömbcsuklójának a vázszerkezettől távolabbi elhelyezésére. Így sikerült elérni a célok között meghatározott kismértékű, 6.1 mm-es negatív kormánylegördülési sugarat és a csapterpesztés is a kitűzött tartományba került (11.7°). Az említett paraméterek a 3. ábrán kerültek bemutatásra.

A lengőkarok eltérő hosszának és elhelyezésüknek pontos megválasztásával sikerült elérnünk a célként megjelölt, szimmetrikus berugózásra kisebb, karosszíriadólásra és elkormányzásra nagyobb mértékben létrejövő negatív kerékdőlést. A statikus értéket -0.5° -nak választottuk, berugózásra pedig minden esetben pozitív irányban változik a dőlés.



1.-3. diagram: Kerékdőlés-karakterisztikák

A lengőkarok elhelyezése a nyomtáv- és összetartás-változásra is hatással volt, de elsődleges szempontként a dőlés-változás alakulását vettük figyelembe. Következő lépésben a nyomtávrukak helyzetének célszerű megválasztásával tudtuk az összetartás-változás karakterisztikáját is az általunk meghatározott követelményekhez hangolni.

A himba geometriájának meghatározásakor sikerült elérnünk, hogy a tervezett ± 30 mm-es rugóúton közel állandó maradjon annak áttétele (elöl 0.944-1.109, hátul 0.883-0.853 között változik). Optimálisabb lett volna egy olyan kialakítás, ahol a teljes nyomórúd-himba-rugóstag rendszer egy, a jármű hossztengetyére merőleges síkban fekszik, de az akkumulátorcsomag és az inverterek helyigénye a rendelkezésünkre álló vázszerkezetben ezt nem tette lehetővé.

5. ALKATRÉSZEK KIALAKÍTÁSA

A meglévő vázszerkezet átalakítása során a lehető legnagyobb mértékben igyekeztünk megőrizni annak eredeti formáját, de az eltérő hajtásrendszer teljesen átalakított futóművet, ezzel új bekötési pontokat igényelt. Emellett a hátrébb kerülő kormányrúd rögzítésére és a pilóta védelmére egy első és egy hátsó bukócsőre is szükség volt.

A villanymotorokhoz és a bolygóműhöz kapcsolt féltengely-hajtás két homokinetikus csukló alkalmazását igényli. Ezeket a kereskedelmi forgalomban könnyen és olcsón elérhető elemek közül választottuk ki. A kis méretük miatt a Volkswagen Lupo, Polo III, Seat Arona járművekhez gyártott csuklókat és tengelycsonkokokat használtuk fel. Belülről ez, míg kívülről a három részes felni pereme szabta meg a rendelkezésünkre álló térfogatot a fékrendszer és a kerékcsapágyazás tervezésekor. Utóbbihoz két darab SKF 61907-2RZ csapágyat alkalmaztunk, amelyek között helyezkedik el a kerék középsíkja. A fékeknél a kis rendelkezésre álló hely és a meglévő féknyergek helyigénye miatt elkerülhetetlen az egyedi tárcsák alkalmazása.

A lengőkarok szabványos csövekből és egyszerű geometriájú sarokelemekből készített hegesztett alkatrészek. A vázhoz szabványos szilentekkel, a csonkállványhoz szabványos gömbcsuklókkal kapcsolódnak. Utóbbinak a karbantartásigénye nagyobb, mint egy futóműveknél gyakrabban alkalmazott „talpas gömbfejnek”, viszont erősen korlátozott a beépítésére rendelkezésre álló hely. Az egyedi gyártású csonkállvány egy esztergált agyrészből és egyszerű lemezalkatrészekből lesz kialakítva. A megemlített alkatrészek CAD modellje a 4. ábrán látható.



4. ábra: Lengőkarok, csonkállvány és csapágyazás kialakítása

6. TOVÁBBI LÉPÉSEK

A projekt következő lépése az alkatrészek gyártásra történő előkészítése, a részletes tervrajzok elkészítése lesz. Itt figyelembe kell majd vennünk a hegesztett szerkezetek gyártására jellemző deformációk kialakulását. Két elem, a himba és a kerékagy vége-selemes szilárdságtani analízise már elkészült [7], ezeket a diák licensznél nagyobb elemszámmal is szükséges lenne lefuttatni, valamint további alkatrészek ellenőrzésére is szükség lehet a közeljövőben.

A projekt csoportunkra vonatkozó részét akkor tekinthetjük majd sikeresnek, ha a teljes futómű és a féltengelyhajtás elkészül. Ekkor a gurítható és kormányozható vázat átadhatjuk a villamos hajtást fejlesztő csapatnak.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1]: Kádár Lehel, Varga Ferenc, Kőfalusi Pál: **Közúti járművek szerkezetana**. Budapest: BME MOGI, 2014
- [2]: Reimpell, J.; Stoll, H.;Betzler W. J.: **The Automotive Chassis: Engineering Principles**. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2001. ISBN 0 7506 5054 0
- [3]: Milliken, W.F.; Milliken, D.L.: **Race Car Vehicle Dynamics**. Warrendale, USA, Society of Automotive Engineers, Inc., 1995. ISBN 1-56091-526-9
- [4]: Carroll Smith: **Tune to win**. Fallbrook, CA, USA: Aero Publishers Inc., 1978 ISBN 0-87938-071-3
- [5]: Allan Staniforth: **Competition Car Suspension**, 3. kiadás, Sparkford, UK: Haynes Publishing, 1999. ISBN 1 85960 644 X
- [6]: Tristan French, Alissa Roland, Maximilian Sluiter: **Camber-Car Design & Dynamics**. California Polytechnic State University, 2013
- [7]: Janoch Ábel: **Futómű tervezése összkerekhajtású elektromos kísérleti járműhöz**. Diplomaterv, MSc, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárműtechnológia Tanszék, 2020