

A 2022-es Shell Eco-marathon verseny értékelése és fejlesztési irányok meghatározása

Evaluation of the 2022 Shell Eco-marathon competition and defining development directions

Kőrös Péter^a

^aSzéchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont
korosp@ga.sze.hu

Absztrakt: A 2022-es Shell Eco-marathon Europe Urban Concept Battery Electric győztese a győri Egyetemen tevékenykedő SZEnergy csapat SZEmission járműve volt. Az eredmény az azonos szabálykiírásban megrendezett Shell versenyek között világrekordot is jelent. A versenyt a hollandiai Assen városa mellett megtalálható TT Circuit Assen versenypályám rendezték meg. A csapat felkészülése 2019-es versenyévtől tartott, mivel a versenyt csak 2022-ben rendezték meg újra a világjárvány miatt. A 2022-es SZEnergy jármű főbb fejlesztései a kormánymű és a hajtáslánc áttervezése és az energiafelhasználás optimalizálási módszereinek kidolgozása volt. A fejlesztések eredményeit tesztpályás mérésekkel igazoltuk (ZalaZone járműipari tesztpályán). A tesztpályás mérések lehetővé tették, hogy megalkossuk a grey-box alapú járműmodellt. A sikerek után viszont új célokat kell a csapat számára kitűzni, így új fejlesztéseket irányoztunk elő 2023-as versenyévadra. A jelen cikk az elvégzett munkát és a jövőbeli terveket összegzi.

Kulcsszavak: energiahatékonyság, energia, hallgatói verseny, Shell Eco-marathon, optimalizálás

Abstract: The winner of the 2022 Shell Eco-marathon Europe Urban Concept Battery Electric was the SZEmission vehicle of the SZEnergy team operating at the University of Győr. The result is also a world record among Shell races organized under the same rules. The race was held at the TT Circuit Assen near the city of Assen in the Netherlands. The team's preparation began with the 2019 competition season, as the competition was only held again in 2022 due to the pandemic. The main developments of the 2022 SZEnergy vehicle were the redesign of the steering gear and the drive chain and the development of optimization methods for energy consumption. The results of the developments were confirmed by test track measurements (at the ZalaZone vehicle industry test track). The test track measurements allowed us to create the

grey-box based vehicle model. After the successes, however, new goals must be set for the team, so we planned new developments for the 2023 competition season. This article summarizes the work done and future plans.

Keywords: energy efficiency, energy, student competition, Shell Eco-marathon, optimization

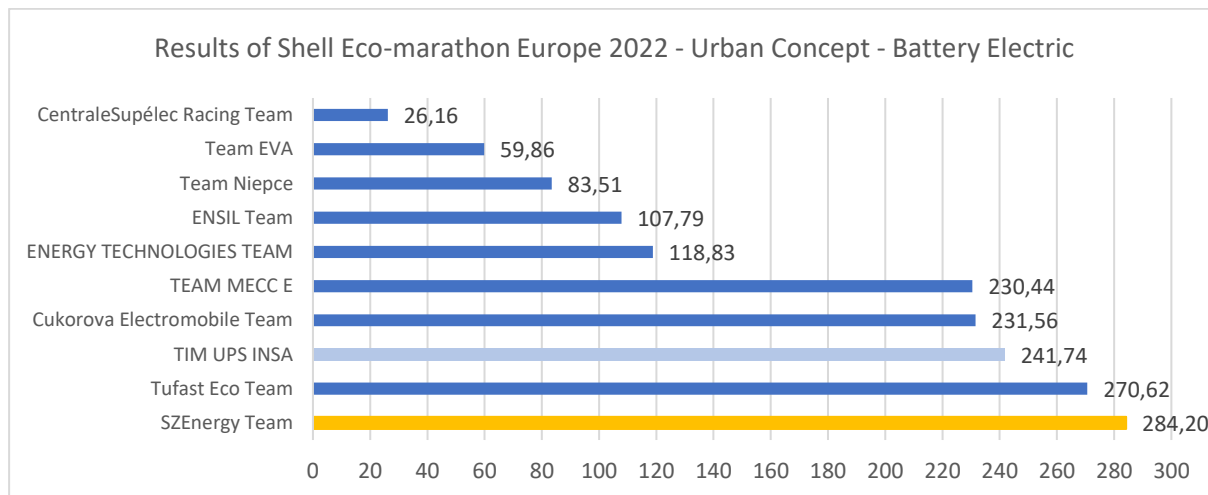
Elért eredmények

A verseny során a kb. 2400 m-es pályán 7 alkalommal kellett végig haladni úgy, hogy minden teljesített kör után kötelezően meg kellett állnia a járműnek, ez a fő különbség a városi és a prototípus járművek számára kiírt versenyszabályzatában, ami a versenyzés módját határozza meg. A csapat minden gyakorlásán - ami a technikai átvétel után volt lehetséges - és a négy hivatalos próbálkozásán teljesített a versenytávot, ami önmagában is nagy eredmény. A mért versenyeken minden alkalommal a csapat teljesítette a legjobb energiamérleggel a pályát. Az eredmények közötti eltérés leginkább a megváltozó körülményekkel magyarázható. A legjobb és a legrosszabb energiamérleg között 7% különbség adódott.



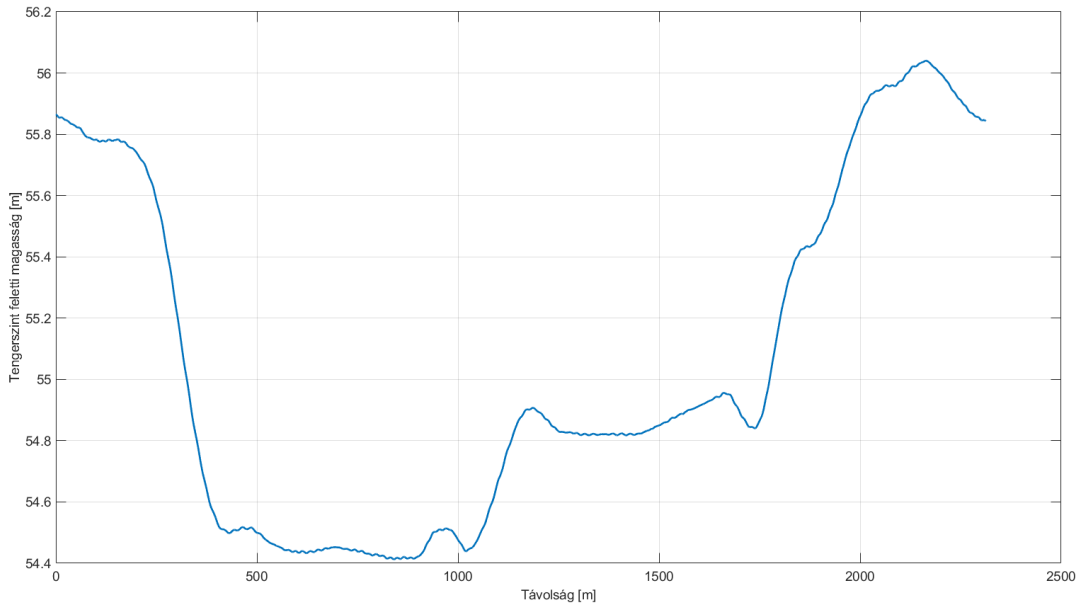
1. ábra: A Shell Eco-marathon 2022-es Urban concept versenyzőjének egy része (alsó sor, balról a 3. jármű: SZEnergy - SZEmission Urban Concept Battery Electric)

Az elért eredményt jól bemutatja, hogy a több versenyévad óta regnáló versenycsapatot sikerült a dobogó harmadik fokára taszítani (2. ábra – világoskék kiemelés). Az eredményeket összefoglaló diagram az alábbi ábrán látható (2. ábra).



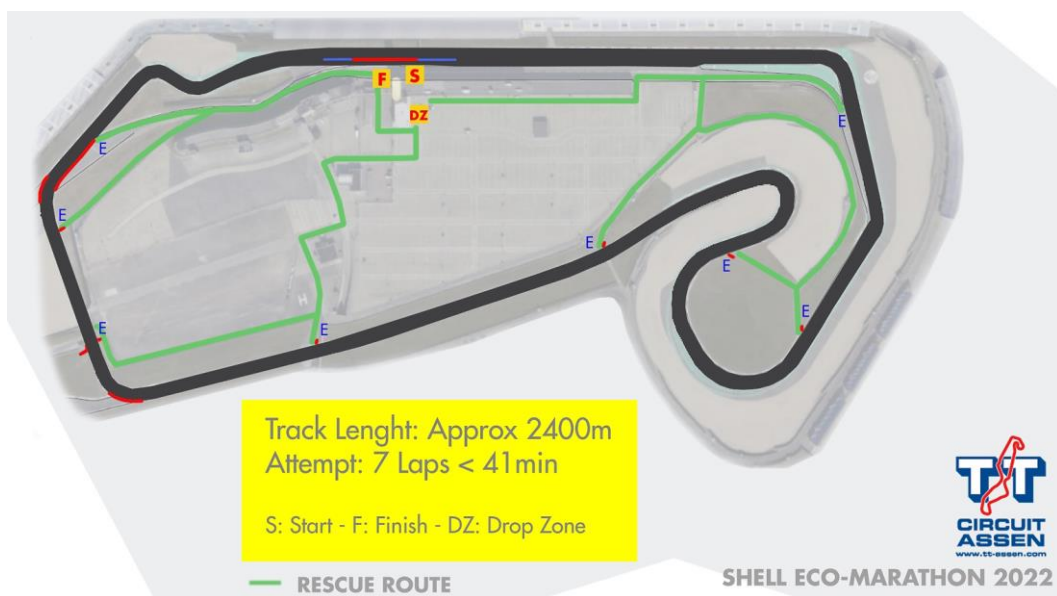
2. ábra: Shell Eco-marathon Europe 2022 Urban category - Battery Electric végeredménye

Az eredmények jól mutatják a középmezőnyben tapasztalható kis különbségeket, amelyek nagyvalószínűséggel módosíthatók volna a harmadik helyezettől az alkalmazott vezetési stratégiák függvényében. A mezőny az első öt helyezettől után nagy különbséget mutat az eredményekben, amely valószínűleg rossz konstrukciók, kivitelezések miatt nem tudtak jobb eredményt elérni. A pálya amúgy rendkívül kis magasságkülönbséget tartalmaz – mindösszesen 1.6 m –, így kifejezetten hangsúlyos szerepet kapott a jó egyenes gurulási jellemző a járműveknél.



3. ábra: Shell Eco-marathon Europe 2022 - Assen TT tengerszint feletti magasság diagram

A pálya felmérése amiatt is kulcsfontosságú a jó eredmény eléréséhez, mert a pálya tengerszint feletti magasságváltozásának járműre ható – vonóerő változása – erőkomponense akár 5-8x nagyobb erő lehet, mint adott járműsebesség esetén a jármű menetellenállása. A pálya ismerete nélkül nem lehet optimalizálást folytatni a menetciklus meghatározására. A pálya felmérése egy RTK képes GNSS-el történik meg a pályabejárások során. A tesztek és validációs mérések során igazoltuk, hogy a versenypályán mindig a legrövidebb távok megtételével lehet az energiaminimumot teljesíteni a „versenyívek” alkalmazása csak a dinamikai, idő minimumra mért versenyszámokban javasolt (4. ábra).



4. ábra: Shell Eco-marathon Europe Urban concept hivatalos pályarajz (Assen TT Circuit Short)

Az elért eredmények az elmúlt évek tudatos felkészülésének volt köszönhető, amely munkát a következő fejezetben mutatom be.

Fejlesztési, optimalizációs, validációs munkák

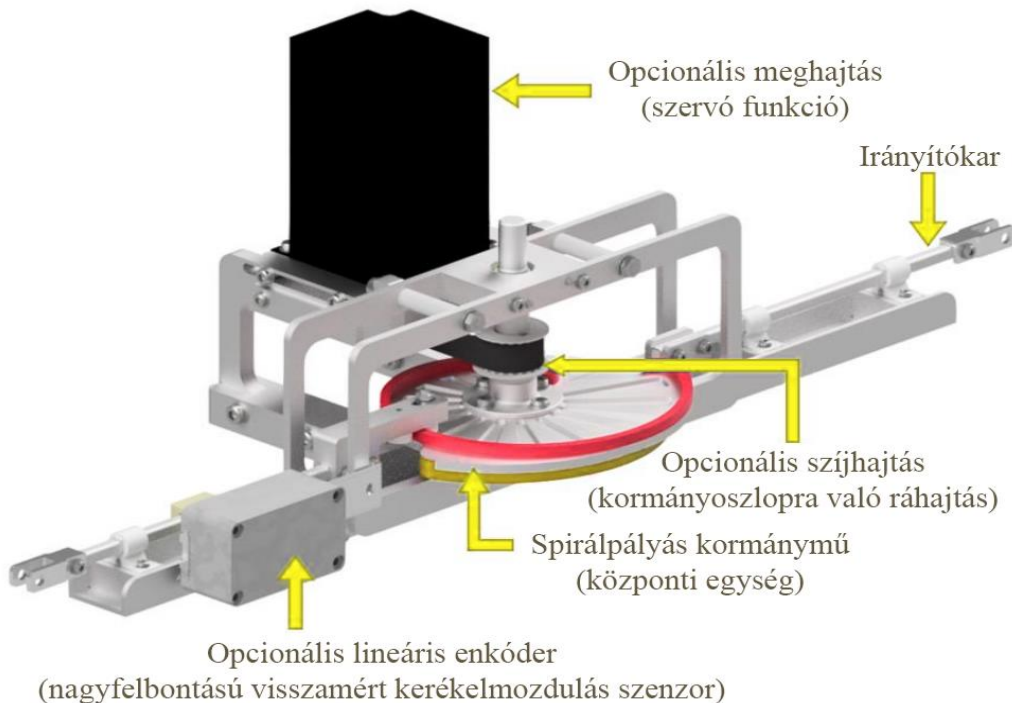
Az elért eredmények elérésében egy jól felépített munkafolyamat segített, amelyet megelőzött egy járműfejlesztési munka. Fontos, hogy a validációs munkák csak akkor elvégezhetők, ha a jármű fejlesztése befejeződött, azaz minden műszaki tartalom marad a verseny kezdetéig a járművön. Mivel egy évben csak egy verseny van Európában a Shell kiírása alapján, így a járműnek el kell készülnie a verseny megelőző hónapokban, hogy a járműmodell alkotási munkát és az optimalizálási munkát el lehessen végezni.

Munkafolyamat 2019-2022:

- Fejlesztési szakasz:
 - o Kormánymű cseréje: Spirál geometriás kormánymű megtervezése és kivitelezése, Ackermann szöghiba kiküszöbölésére [1][2].
 - o Hajtáslánc módosítása: Nagyobb teljesítményű BLDC hajtás méretezése és mérése.
 - o Hajtáslánc egyéb veszteségeinek mérése: A különböző áttételek és szíj jellemzők összehasonlítása, szabadonfutó és direkthajtás összehasonlítása.
 - o Tömegcsökkentés
- Járműmodell alkotás:
 - o Egyenesfutási kísérletek: Menetellenállás meghatározása egyenesvonalú mozgás esetén
 - o Kanyarodási ellenállás mérések: Állandó sebességen végrehajtott kanyarmenetek vonóerőszükséglet meghatározása [3].
- Menetciklus optimalizálás [4]:
 - o Pályamodellek alkotás
 - o Járműmodell alkalmazása
 - o Optimalizálási módszer kidolgozása, futtatása [4]
- Menetciklus optimalizálás validálása
 - o Menetciklus vizualizálás a pilóta számára
 - o Mérések

Fejlesztések

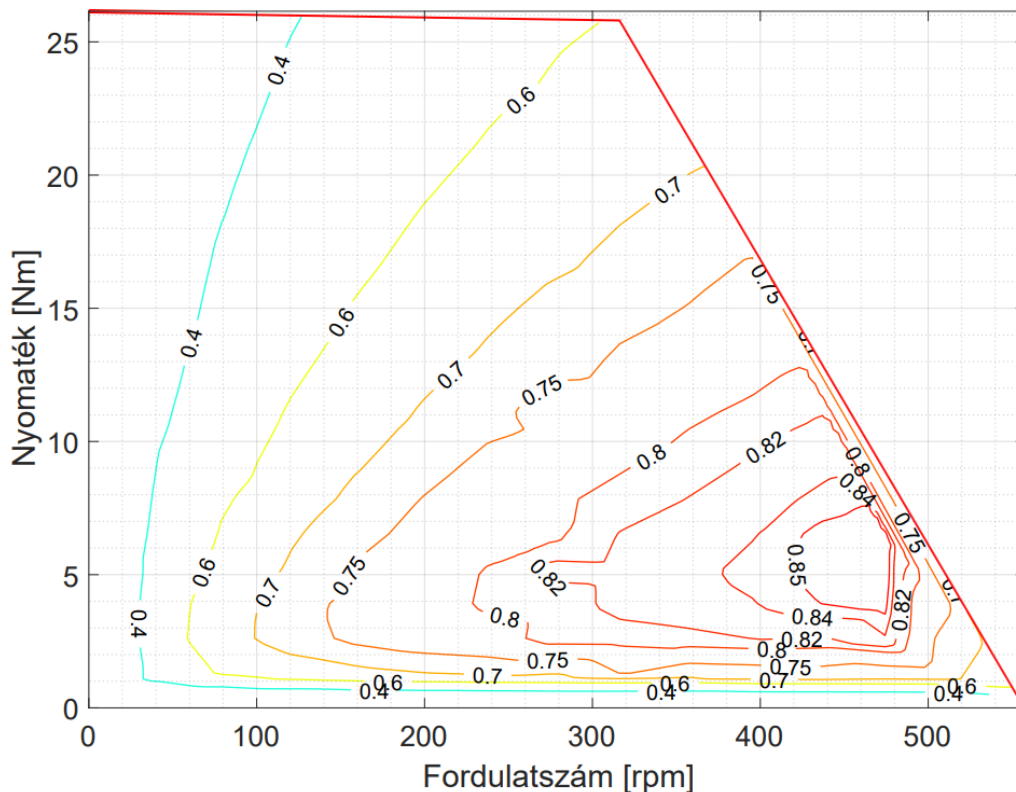
A 2019-es versenyen több probléma volt a 3D nyomtatott alkatrészeket is tartalmazó fogasléces konstrukcióval, így a 2020-as versenyévre egy új, innovatív megoldást terveztünk [2]. Mivel a 2020-as megmérettetés elmarad a pandémia miatt, így csak teszt pályán tudtuk tesztelni annak működését. Az új kormánymű (5. ábra) sikeresen teljesített több versenytávot, komolyabb meghibásodás nélkül. Ami jelentkezni szokott a konstrukciónál, hogy a zsírral bekent alkatrészekben gyakran megtapad a finom szemcséjű homok és por, amely nagyobb kopást eredményez a műanyaggyörgős alkatrészekben. A kormánymű előnye, hogy az Ackermann trapéz geometriával ellentétben nem tartalmaz szöghibát a teljes működési tartományon, mindig az ideális szögben fordítja el a kerekeket. A konstrukció tervezésénél elsődleges szempont, hogy az irányítókarok mozgása holtjátékmentesen tudja lekövetni a kormányzási spirál ívét (pontos CNC megmunkálás szükséges az alkatrészen). Az irányítókarokon két-két görgő felel azért, hogy a spirál peremén fusson az irányítókar egyik vége, míg a másik végén gömbfejes csatlakozással kapcsolódik a kerékagyból kinyúló karra (ami lehet egy sima egyenes kar, nem szükséges a trapéz geometriát kialakítani).



5. ábra: Spirálpályás kormánymű geometria

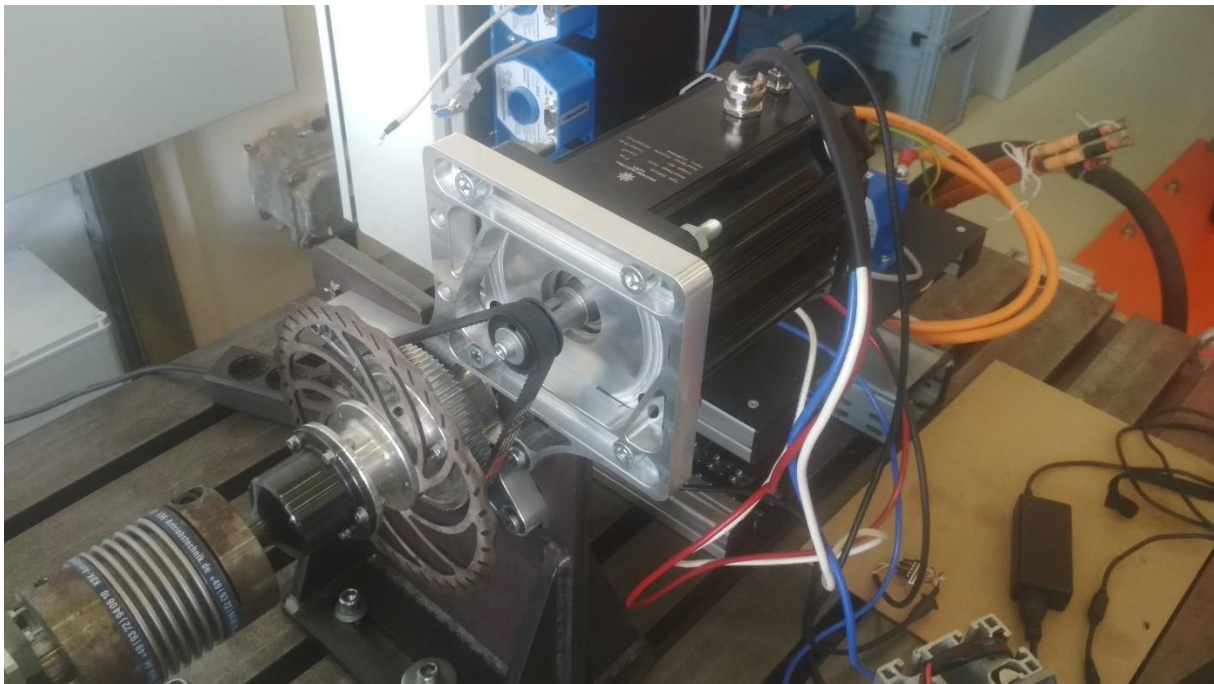
Az elkészült kormánymű megbízhatósága mellett kisebb össztömeggel rendelkezik, mint a fogasléces konstrukció. A kopó alkatrészek és az irányítókar cseréje indokolt lehet a versenyévadok előtt. A megfelelő zsírzást is biztosítani kell a görgős elemeknél.

A 2019-es évadban egy amerikai gyártmányú PMSM biztosította a meghajtást, ami sajnos a fékpadí mérések alapján nem tudta azokat a paramétereket, amelyet a műszaki adatlapja tartalmazott. A versenyig nem volt lehetséges a meghajtó motort kicserélni (gépészeti és villamos illesztési okok miatt), így egy kis teljesítményű, rossz munkatérben üzemelő hajtással kellett versenyeznünk. A meghajtó motor az Allied Motion Quantum QB3404 B10 PMSM-je volt 4-es lassítóáttétellel alkalmazva (6. ábra). A hajtás mindösszesen 26 Nm-es indítónyomatékkal rendelkezett és a maximális fordulatszáma az adott áttétellel 500 rpm felé adódott, ami a jármű esetén kb. 50 km/h-s sebességet jelentett. Az alkalmazott sebességprofil mellett, ahol még az optimalizációs munkák még nem születtek meg, ott nagyon rossz munkaterületen dolgozott a hajtás – átlagosan 60-70%-os hatásfokértékű munkatérben. A méréseket és a menetciklust ismerve a verseny után úgy döntöttünk, hogy a kormánymű cseréje mellett a hajtáslánc áttervezése szükséges.

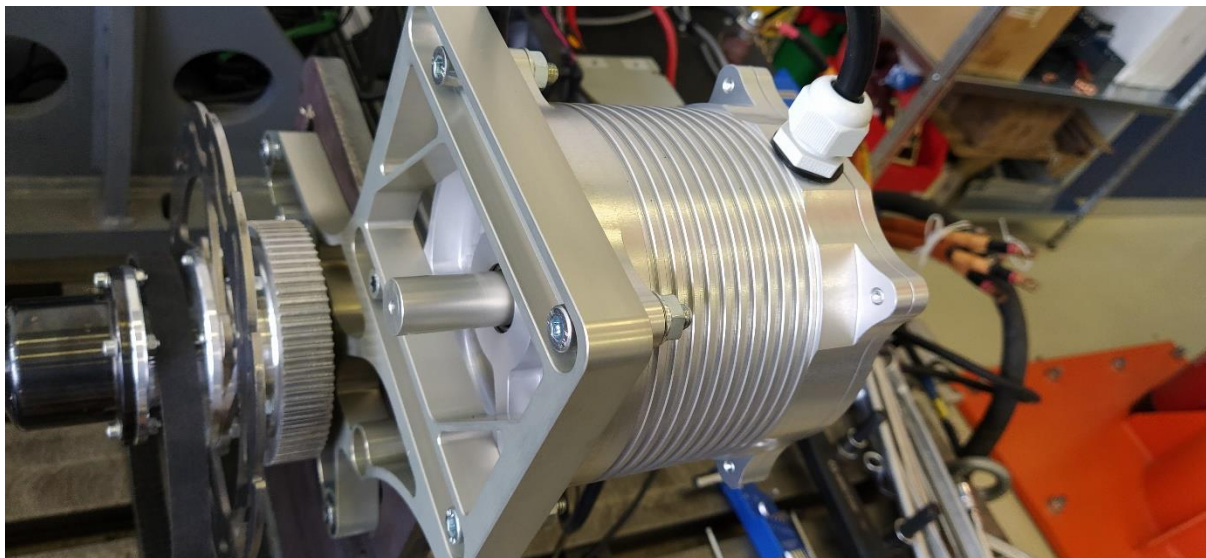


6. ábra: Allied Motion Quantum QB03403 B10 - NEMA34 hajtáslánc hatásfokmezője (4-es lassító bordásszíj hajtás mellett)

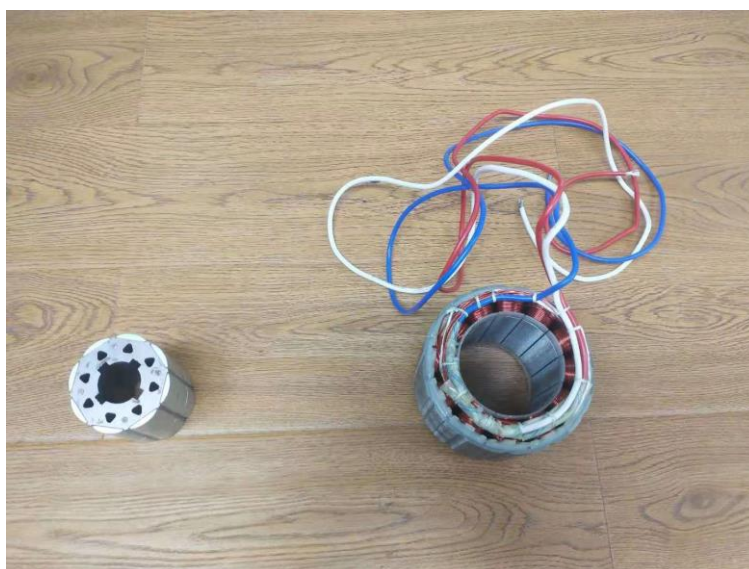
Az új hajtáslánccal szemben támasztott követelményeink azok voltak, hogy csak HALL elemes szenzorozottsággal rendelkezzenek – mivel le akartuk csökkenteni a motorvezérlő alapfogyasztását 1W alá –, valamint az indítónyomatéka minimum 30 Nm legyen úgy, hogy a jármű végsebessége 30-36 km/h közé essen az alkalmazható áttételek függvényében. A fékpadi vizsgálatok során a Volcano BLDC motorjait mértük le, különböző konstrukciós kialakításokkal. A három motor közül kettőnek egyedi alumínium házat terveztünk és egyet pedig eredeti kialakításában teszteltük. Az egyedi ház gyártása a tömegcsökkentést tűzte ki célul, amely sikeresnek mondható, mivel az eredeti motor tömegét egyharmadával sikerült csökkenteni.



7. ábra: Volcano BLDC motor 1 kW (eredeti kialakítás)

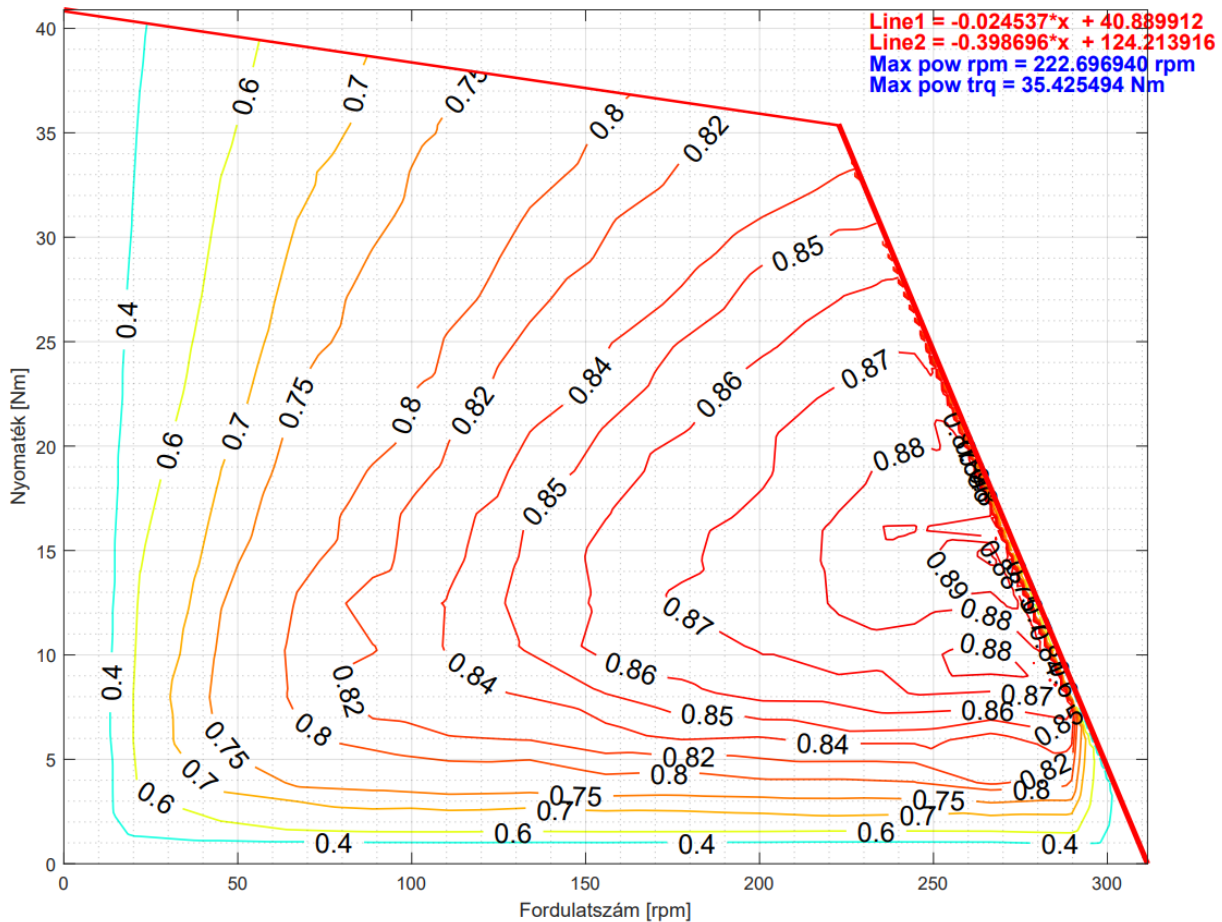


8. ábra: SZEVO1 BLDC motor 1 kW (legkisebb aktív résszel)



9. ábra: SZEVO2 BLDC motor 1 kW aktív része (1/3-al nagyobb hossz, mint a SZEVO1)

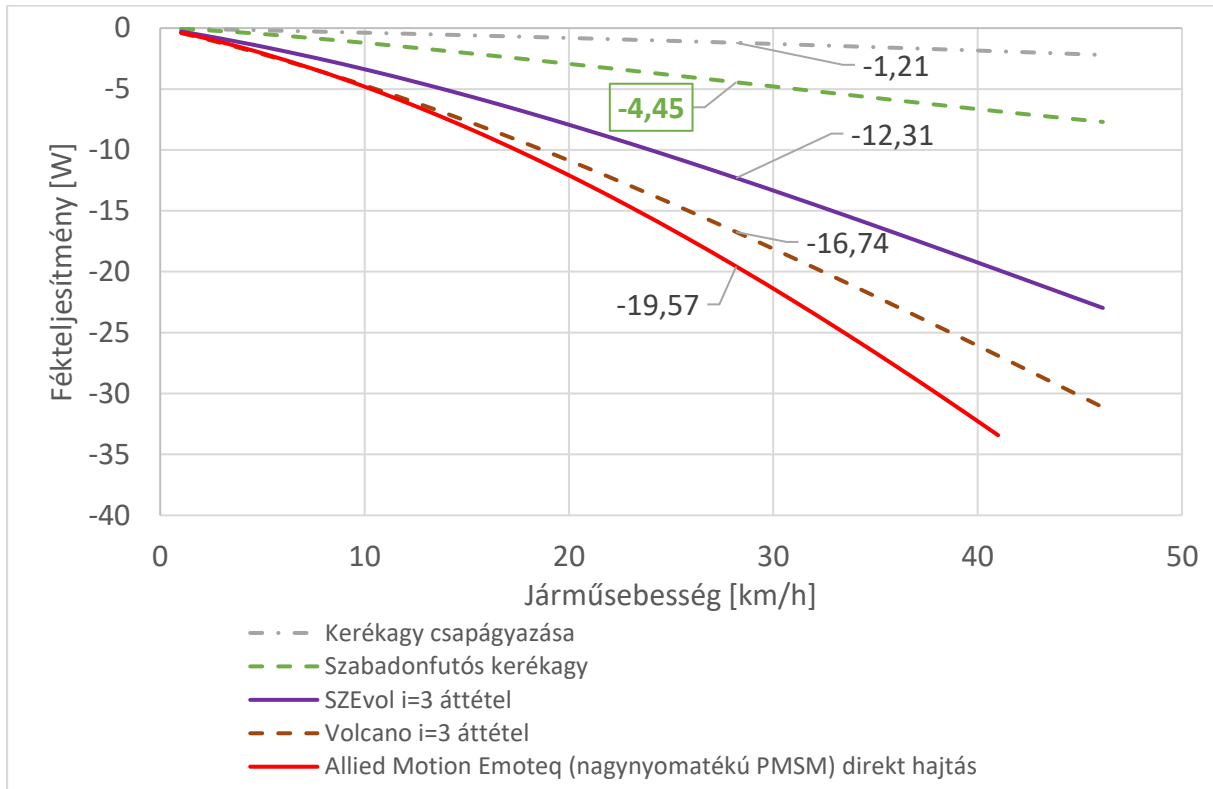
A fékpadi mérések során nagyon hasonló eredményeket kaptunk, azaz a motorház áttervezése nem volt hatással a motor működésére.



10. ábra: SZEVOL2 BLDC 1kW $i=3.27$ hajtáslánc hatásfokmező (48V, 35A fázisáram limit)

Hajtáslánc egyéb veszteségeinek mérése azért fontos szempont, mert a versenyek során több ideig gurul szabadon a jármű, mint hajt. Ha a hajtáslánc veszteségei túl nagyok a szabadon gurulás során, akkor túl hamar „emésztődik fel” a jármű mozgási energiája. A hajtásláncot tehát a fékpadi mérések során nem csak hajtás szempontjából vizsgáljuk, hanem azt is, hogy nem gerjesztett motormeghajtó elektronika mellett mekkora féknyomatékot, átszámolva mekkora fékteljesítményt jelent az adott hajtás. Az alábbi ábra jól mutatja (11. ábra), az elmúlt években alkalmazott hajtásláncaink fékteljesítményét. Fontos kiemelni, hogy a pálya ismerete nélkül, nem lehet dönteni az alkalmazandó hajtáslánc konstrukcióról, mivel a megtett körszám nagyban befolyásolja az esetleges regeneratív üzemben visszanyerhető energiamennyiséget – mivel a szabályzat szerint minden kör végén meg kell állni. Mivel a 2022-es pálya kevés megállást tartalmazott, így a szabadonfutós hajtáskonstrukció mellett döntöttünk, hogy a szabadon gurulás esetén ne fékezze a járművet az áttételes vagy a direkt hajtás fékteljesítménye. A diagramokból az is adódik, hogy a valós megoldást nem a szabadonfutó alkalmazása jelenti, hanem egy tengelykapcsoló. Ezzel a hajtásrendszerrel biztosítható lenne, hogy szabadon gurulás esetén csak a kerékcsapágyazás határozná meg a csapágyhajtási veszteségeket, ami

összesen kb. 5W teljesítmény lenne. A szabadonfutó alkalmazása esetén kb. 8W teljesítményt jelent a csapágyazások veszteségei, míg direkthajtás esetén ez 15-24W között mozog. A veszteségteljesítmények kimérésénél olyan összefüggéseket is ki tudunk mérni, hogy tanácsos minél rövidebb szíjhajtást alkalmaznunk, mert úgy kevesebb borda teremti meg a fizikai kapcsolatot, így a veszteségek is kisebbek lesznek. Természetesen a kellő nyomatékot át kell tudnia vinni az adott hajtásláncnak.



11. ábra: Hajtásláncok fékteljesítményei a járműsebesség függvényében

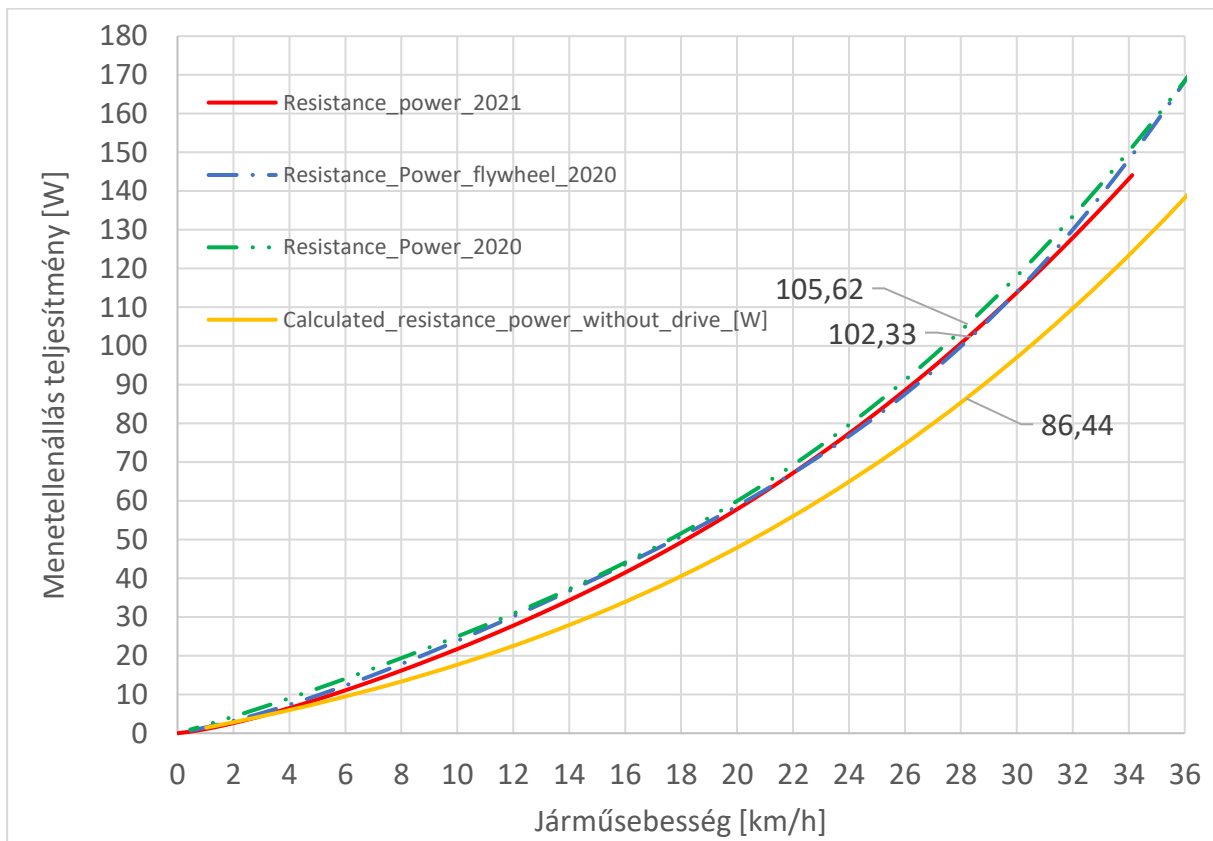
A tömegcsökkentés mindig cél maradhat az energiahatékonysági versenyeken, hiszen az határozza meg a gyorsítási veszteségeket, azonban a szerkezet merevségét, integritását nem veszélyeztetheti ez a cél. A 2022-es verseny során összefüggés volt a járművek által keltett zaj és az eredményük között. A túl könnyű, nem egységként létező karosszéria és mechanika sok veszteséget jelent valójában. Vonóerőben a 10-20 N-os nagyságrendekről beszélhetünk a járműveknél, ahol egy remegő karosszéria elem miatt változó légellenállási együttható, vagy egy féktárcsához hozzáérő fékbetét nagyobb erőkomponenst is eredményezhet, mint egy jó jármű teljes menetellenállása. A tömegcsökkentési szándékaink ezért csak a segédberendezéseket érintették – mint pl. elektronika egységeket tartalmazó doboz cseréje egy szerelőlemezre vagy az ablaktörlő mechanizmus áttervezése és kompakttá tétele –, a futómű és

hajtáslánc elemeinél ez nem volt fő cél. A segédberendezések alkotóelemeit viszont átterveztük, így kb. 6 kg-ot spóroltunk meg a 2019-es járműhöz képest.

Járműmodell alkotás

A fejlesztéseket követően meg kellett ismerni magát a járművet. A modellezést *grey-box* technikával közelítettük meg. Ez azt jelenti a gyakorlatban, hogy a teljes járművet nem kívántuk lemodellezni – úgy mint, a futóművet, gumimodellt, csatolt merev rendszereket stb. –, hanem a minket érdeklő menetellenállást határoztuk meg két üzemben. Ez a két üzem az egyenes haladás és a kanyarodás. A jármű üzemében az egyenesvonalú kigurulás üzem a meghatározó.

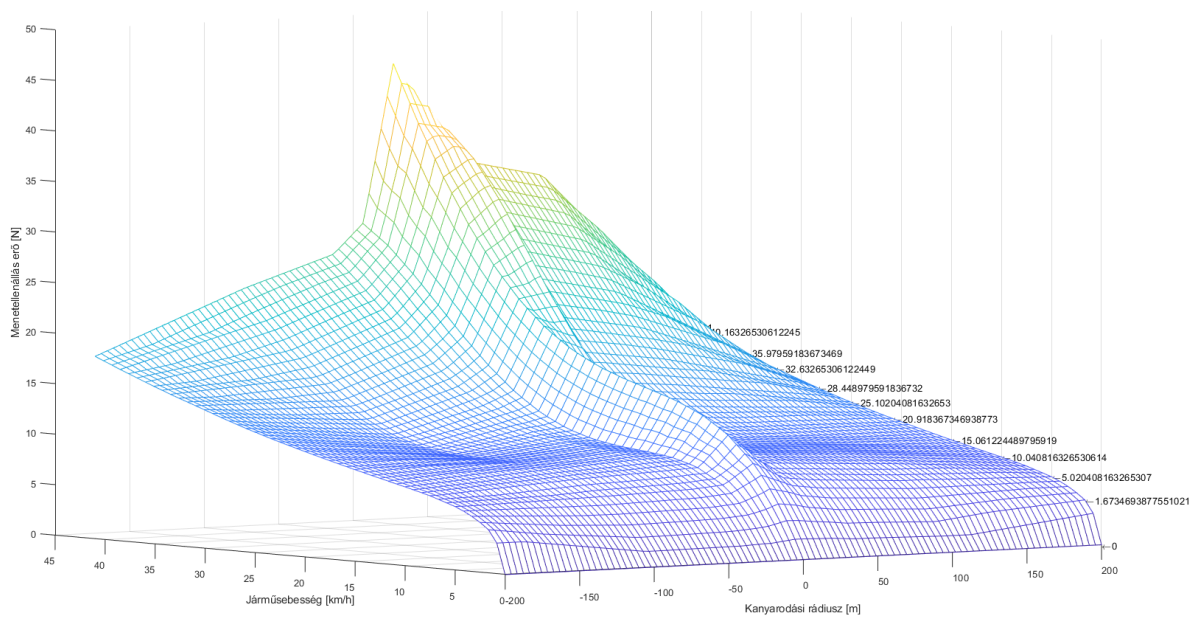
Az egyenesvonalú haladásnál fellépő menetellenállást könnyen mérhetjük a jármű kigurításával. A mentett járműsebesség adatokból és az ismert össztömegeből kiszámítható, hogy a jármű mentellenállása mennyi – sebesség függvényében. Az ismert komponenseket, mint például a hajtáslánc fékteljesítménye, megkaphatjuk az olyan fontos paramétereket, mint a légellenállási együttható értékét. A mérések alapján kiderült, hogy a jármű C_v értéke 0,1 alatt van, ami kimagasló érték járművek esetén.



12. ábra: SZEenergy SZEmission 2022 jármű mentellenállása egyenes haladás esetén

A fenti diagram jól mutatja, hogyha a hajtáslánc veszteségteljesítményét nem számítjuk, akkor a jármű 28 km/h mellett mindösszesen 86W mechanikai teljesítményből hajtható. A csapat előző járművénél ez 130-160W közé volt tehető. Ez a jelentős javulás az önhordó, merev karosszériának és a jó légellenállási együtthatónak köszönhető nagyrészt.

A kanyarodáskor fellépő plusz erőkomponenseket úgy mértük ki, hogy sebességszabályozott üzemmódban üzemeltetve a hajtást ki tudtuk számolni a szükséges vonóerőt az ívmenetek során. Az adatokat rögzítve adódik egy *Look-up-Table*, ami leírja a járművet mentellenállás szempontjából a vizsgált két üzemben. A szimulációs modellben a kigurulások és az ívmentes mérések összefoglaló *Look-up-Table*-jét használtuk fel (13. ábra), amely 200m kanyarodási rádiusz esetén az egyenesfutás erőértékeit használja fel. A tesztek a ZalaZone tesztpályán végeztük el, ahol kiváló útburkolaton lehetséges ezeket a nagy kanyarrádiuszú méréseket megtenni. Fontos viszont, hogy a méréseket viszonylag szélcsendes időben kell végrehajtani.



13. ábra: SZEnergy SZEmission 2022 jármű mentellenállás LUT-je

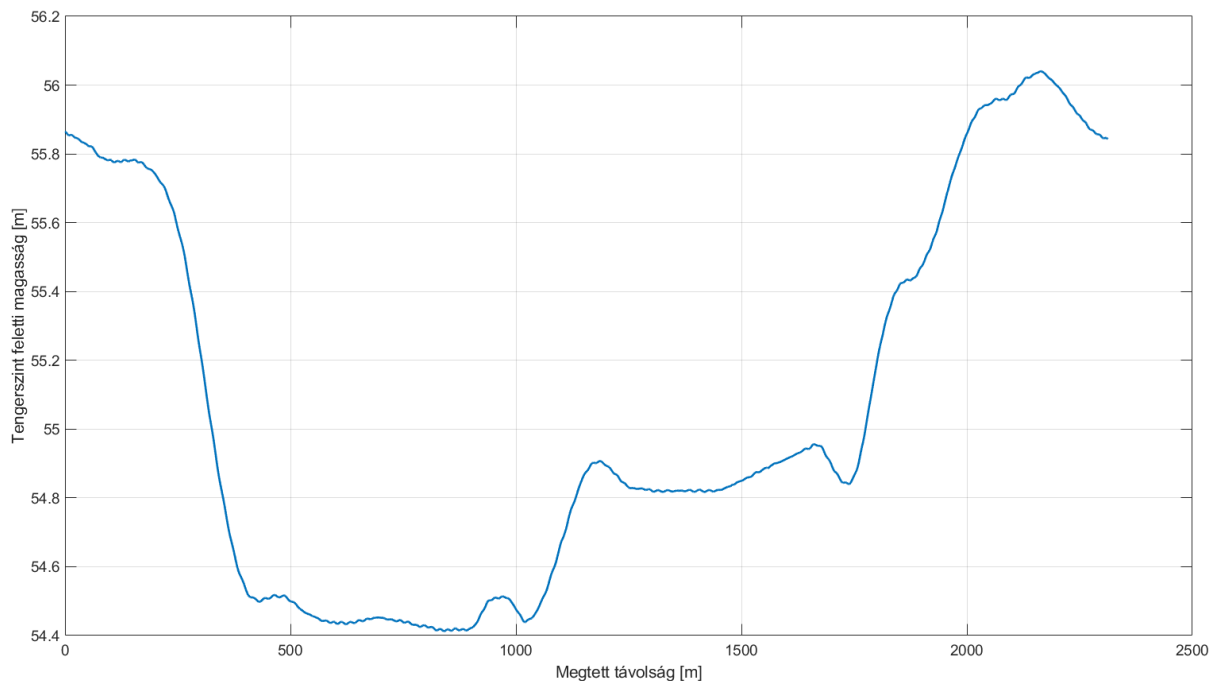
Érdekes megfigyelni, hogy a jármű mentellenállása eltérő a két kanyarodási irányban, amit valószínűleg nem lehetne modellezni, ha a rendszert *white-box* módszerrel közelítenénk meg.

Menetciklus optimalizálás

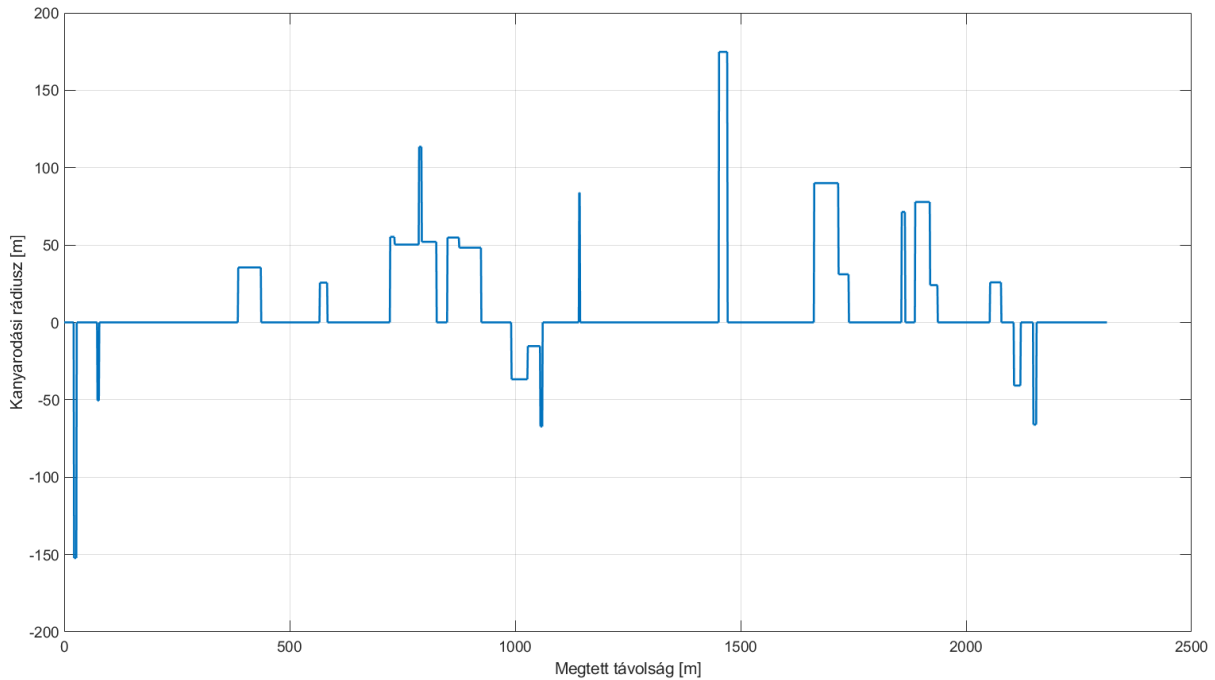
Ahhoz, hogy az adott hajtásláncot, egy ismert menetellenállású járműben legjobb energiahatékonysággal tudjuk üzemeltetni, ahhoz optimalizálást kell végrehajtanunk. Az

optimalizáláshoz szükséges ismernünk a pályát – amely tartalmazza a pálya kanyarodási rádiuszát és tengerszint feletti magasságát –, illetve a jármű mentellenállását leíró LUT-t, illetve a hajtáslánc hatásfokmezejét. Ha ezeket mind ismerjük úgy lehet optimalizációs folyamatot indítani, hogy az ideális menetciklust meghatározzuk. A kidolgozott optimalizációs eljárás offline, azaz közvetlenül nem implementálható a járműirányító szoftverbe. Az optimalizáció lefutása után előáll egy olyan sebesség diagram, amely úgy mond „itinerként” szolgál a pilóta számára, hogy hol kell gázt adnia. A sebességprofil mellett keressük azt a nyomatékreferencia értéket is, amellyel üzemeltetni kell a hajtást a gyorsítási szakaszokban.

A pályamodellek alkotás során két paramétert kell tudnunk meghatározni a pályán bejárt távolság függvényében. Az első a tengerszint feletti magasság, másik a kanyarodási rádiusz. A tengerszint feletti magasság adatokból kiszámítható az emelkedőből (14. ábra), lejtőből eredő plusz erőkomponens – ami természetesen lehet pozitív és negatív érték is –, illetve a kanyarodási rádiusz (15. ábra), ami bemenetét fogja képezni a mentellenállás LUT-nek, második változójaként.



14. ábra: Pályamodellek tengerszint feletti magasság diagramja



15. ábra: Pályamodell kanyarodási rádiusz diagramja

A járműmodell maga a kimért adatokat tartalmazó LUT lesz, illetve pár jármű paraméter, ami az adott járműre jellemző – mint például keréktámró, össztömeg, elektromos rendszer alapfogyasztása stb.

A menetciklus optimalizálásánál a pályán megtett távolsághoz keressük azokat a pontokat, ahol a hajtást üzemeltetni kell. Általánosan elmondhatjuk, hogy a pályát kb. 10m-es szakaszokra bontva, még nem túl sok paramétert keres az optimalizáló. Az idei verseny pályáján 232 paramétert kellett keresnie az optimalizálónak, mivel a pálya több mint 2300 m volt. A 232 paraméter még két paramétert keres, ami nem más, mint a gyorsítási szakasz (teljes gáz) után az a sebesség, amely után átvált a rendszer egy korlátozott referencianyomaték értékre. Összesen tehát a 2022-es asseni versenypályára így 234 paramétert kerestünk az optimalizálóval. Könnyebbség az optimalizálónak, hogy a paramétervektorból 232 változó csak diszkrét értéket vehet fel – azaz csak 0 és 1 lehet –, csak két paramétert keresünk a valós számok halmazán. Az optimalizálás sebességét növelhetjük, ha a követelményeknek megfelelő mintákat adunk hozzá a kezdeti populációhoz – az optimalizálásra GA algoritmust választottunk. Az optimalizálási módszert [4][5] cikk mutatja be részletesen. A célfüggvény az optimalizálás során természetes a hajtáslánc által felvett energiamennyiség minimalizálása.

Menetciklus optimalizálás validálása

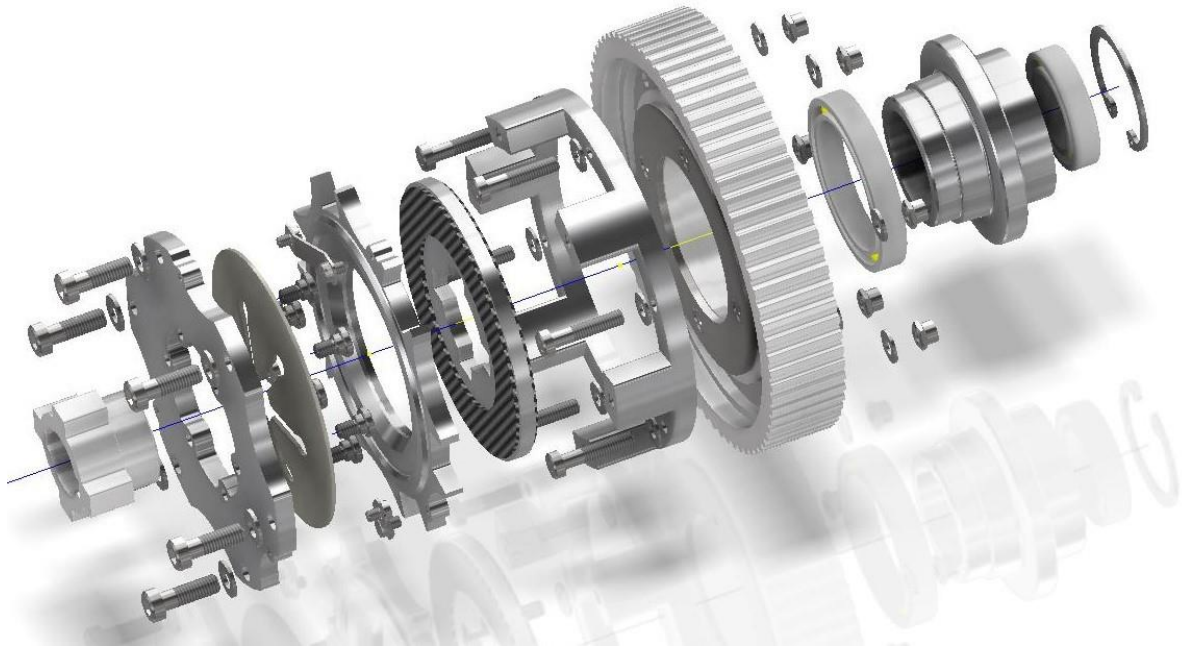
Az optimalizáló által meghatározott menetciklust ki kell jelezni a pilóta számára, mivel a versenyszabályzat nem teszi lehetővé a teljesen automatikus hajtásüzemeltetést. Ez lehetséges lenne GPS rendszert és járműodometriát felhasználva. A pilóta számára megtett távolság alapján jelezzük ki azokat a pontokat – egy tablet kezelőfelületén –, ahol valójában be kell kapcsolnia a hajtást. Az optimalizálási módszer az adott pályára határozza meg a legjobb üzemeltetési módszert, így különösképpen fontos, hogy a pilóta mindig ugyanazt a pályát járja be a futam során. A módszer validálása során a pilóta sosem tudott jobb energiamérleget produkálnia, mint az optimalizált menetciklus még egy olyan pályán sem, ahol sok tesztkörrel megtehető. A módszer további előnye az, hogy a megtett körök energiamennyiségei nem szórnak annyira, mint más csapatoké, ahol a pilóta „érezsből” üzemelteti a járművet, nem áll rendelkezésére a grafikus felületen látható itiner. A validálási munkákat a ZalaZone tesztpályán végeztük el, ahol csak akkor láttunk nagyobb eltérést a modellünk és a valós mért eredmények között, ha jelentős szél fúj – 15 km/h feletti szél már jelentősen befolyásolja a mentellenállást – a tesztek során. Ha a külső hatásokat is becsülni tudjuk, úgy lehetőség nyílik egy on-line optimalizáló megvalósítására.

A járműmérések során olyan tesztek is végrehajtottunk, amelyekre különböző példákat láttunk a versenyek során. Az ilyen teszteknel derült fény arra a tényre, hogy energiafelhasználás szempontjából mindig a legrövidebb pályahossz eredményezi a legjobb mutatót, nem kell a „versenyíveket” használni. Mindez azzal magyarázható, hogy a jármű menetellenállása nem nő meg olyan drasztikusan a szűk kanyarok során sem, viszont a rövidebb bejárt pálya energiamegtakarítást jelent. A jármű formájára is készítettünk tesztet, ahol az aerodinamikailag fontos hátsó rész – 7 foknál nem jobban szűkülő teste – hiánya kb. 7-8%-kal rontotta az energiamérleget egy 1.5 km-es tesztpályán. A mérések azért fontosak, hogy a szimulációs modellt validáljuk az adott versenyévedra és tudjunk menetciklust optimalizálni az adott versenyen.

Fejlesztési irányok

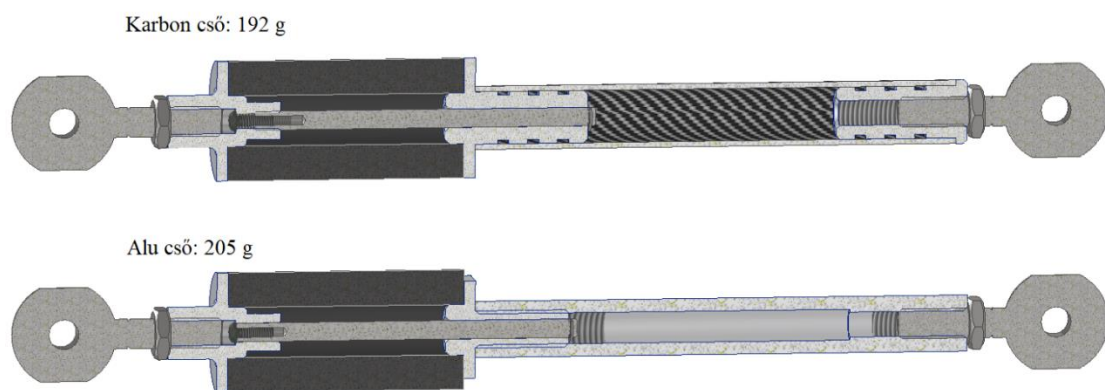
A 2022-es év tapasztalatait összefoglalva, két területre kell koncentrálnia a csapatnak, amellyel még jobb energiatakarékos jármű hozható létre. Hajtásrendszerben meg kell valósítani a hajtáslánc mechanikai le és felkapcsolását, azaz kistömögű tengelykapcsolót kell alkalmazni (16. ábra). Ez nem csak a szabadonfutási fékteljesítményen fog javítani, hanem minden egyes

megállás esetén alkalmazni tudjuk a regeneratív fékezést, ami közvetlenül javítja az energiamérleget.



16. ábra: Tervezett tengelykapcsoló 3D CAD modellje

A másik cél, hogy a tömegcsökkentést olyan alkatrészekben is végre kell hajtani, amely teherviselő elemként funkcionál. Ennek jó példája a futómű lengéscsillapító eleme, ami jelenleg hidraulikus rendszer, amit egy gumirugós, egyszerűsített lengéscsillapítóval helyettesítenénk (17. ábra). Itt jelentős súlycsökkentést lehetne végrehajtani – járműszinten kb. 2.5 kg-ot.



17. ábra: Gumirugós lengéscsillapító tag

Fontos szempont, hogy minden új alkatrész, mechanikai egység csakis validált teszteredményekkel kerülhet a járműbe, nem veszélyeztetve a sikeres versenyszám teljesítéseket. A fejlesztések végrehajtása után újra kell alkotni a járműmodellt, illetve pontosíthatjuk a járművet leíró szimulációs modellt. Fejlesztési cél még, hogy az optimalizációs módszer sebessége javuljon, vagy akár on-line optimalizálásra legyen lecserélhető.

Irodalomjegyzék

- [1] Pusztai Zoltán, Kőrös Péter, Friedler Ferenc: Modelling Steering Resistance to Save Energy (2022), *6th Agria Conference on Innovative Vehicle Technologies and Automation Solutions – InnoVeTAS 2021 Sense the future, 2022. május 13., Eger*
- [2] Pusztai Zoltán, Kőrös Péter: Steering mechanism design for lightweight vehicle, *GÉP 2020/3-4: LXXI.évfolyam pp. 17-21., 5 p. (2020)*
- [3] Pusztai Zoltán, Kőrös Péter, Friedler Ferenc: Vehicle Model for Driving Strategy Optimization of Energy Efficient Lightweight Vehicle, *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS 88 pp. 385-390., 6 p. (2021)*
- [4] Pusztai Zoltán, Kőrös Péter, Szauter Ferenc, Friedler Ferenc: Vehicle Model-Based Driving Strategy Optimization for Lightweight Vehicle, *ENERGIES 15: 10 Paper: 3631 (2022)*
- [5] Pusztai Zoltán, Kőrös Péter, Szauter Ferenc, Friedler Ferenc: Hybrid Driving Strategy Optimization Using Cognitive Infocommunications, *IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (szerk.) 12th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom 2021): Proceedings, Online kiadás, Nemzetközi: IEEE (2021) 1,098 p. pp. 435-440., 6 p.*