

Shell Eco-marathon

SZElectricity

Csapatunk, a Széchenyi István Egyetemen működő SZEnergy Team, már 2008 óta készít alternatív, többnyire napelemes töltéssel kiegészített járműveket a Shell Eco-marathonra, ami egyetemek, főiskolák és középiskolák számára kiírt nemzetközi verseny. A szabályok változásának következtében az idei évben az eddigi járművektől jelentősen eltérően áramvonalas járművet építhettünk. A jármű neve SZElectricity, mely SZE, electric és city szavakból tevődik össze és utal a céljára.

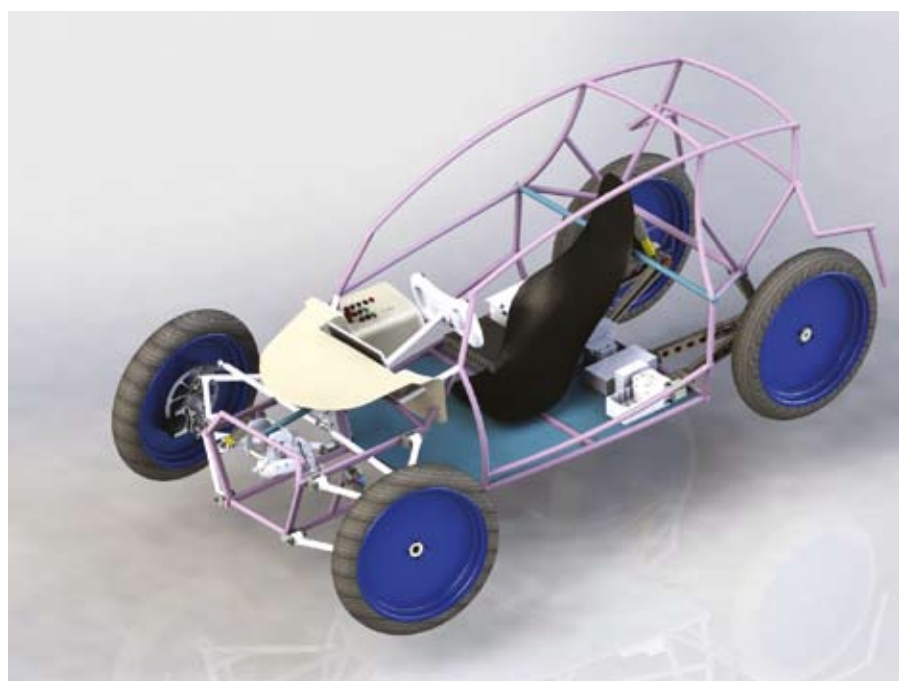
Szabályok

A Shell Eco-marathon energiatakarékosági verseny, ahol alapvetően 2 fő kategória van: a prototípus és a városi jármű. A szabályzat jelentősen eltér a két fő kategória járműveinél. Amíg a prototípusok rekordhalmozás céljából épülnek, és ezért könnyűek, alacsonyak és a minimum 50 kg-os sofőrre szabottak, addig a városi jármű kategóriában a versenyautóknak nagy vonalakban hasonlítaniuk kell egy hétköznapi autóra. A városi jármű főkategória versenyszabályzata az alábbi egységekre bontható:

- általános,
- biztonsági,
- alkategóriára szabott.



2 Az eredeti látványterv

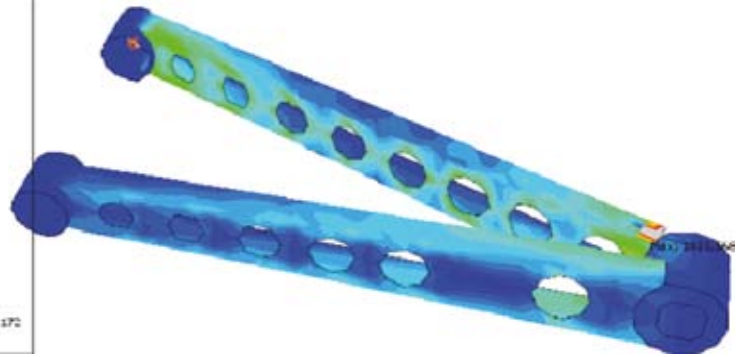
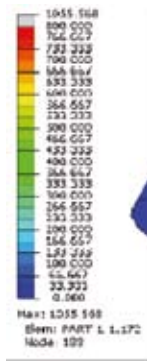


1 Vázszerkezet a futóművekkel és az elektronikai egységekkel

Az általános szabályzatban előírják a jármű befoglaló méreteinek, tengelytávjának, nyomtávjának minimum- és maximumértékeit. Ezenkívül tartalmazza még az alkalmazott építőanyagokra, kerékméretre és bizonyos formakialakításra vonatkozó követelményeket, mint például a mozgó alkatrészek eltakarása. A hagyományos járműhöz való hasonlóság miatt rendelkezni kell fényszóróval, irányjelzővel, hangkürttel, páratlanító berendezéssel, szélvédővel, szélvédőmosóval és egy nagyobb csomag befogadására alkalmas hellyel is.

A biztonsági előírások definiálják a bukókeretet, az 5 pontos biztonsági övet, a tűzoltópalackot és az egyéb olyan elektronikai biztonsági megoldásokat, mint a fém hátfallal elválasztott elektronikai teret.

Az alkategóriára vonatkozó előírások leírják a maximális, járműre helyezhető napelemfelületet, a Joule-méteket elhelyezését, bekötését és egyéb elektronikai paramétereket.



3 A hátsó futómű és a motor a bal kerékagyban

4 A lengőkar végelelemes szimulációjának eredménye

A versenyen az nyer, akinek a járműve energiahatékonyabban teszi meg a versenytávot (16 300 m) az előírt minimum 25 km/h átlagsebességgel. Természetesen ezt mérni is kell. Ennek segítségével ún. Joule-métereket használnak a versenybírók. A Joule-méterek a villanymotor fogyasztását, a regeneratív és a napelemek által előállított töltést mérik. Majd ezeket az értékeket összegzik és átszámolják km/kWh-ra. Így az az autó

nyer, amelyik összesített fogyasztása a legkevesebb és ezáltal a km/kWh aránya a legmagasabb.

Forma, váz, karosszéria kialakítása

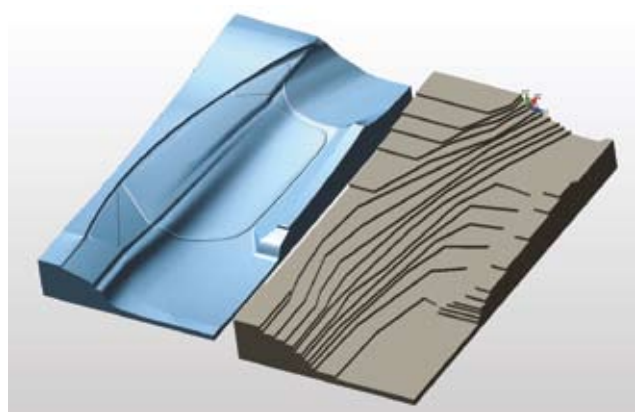
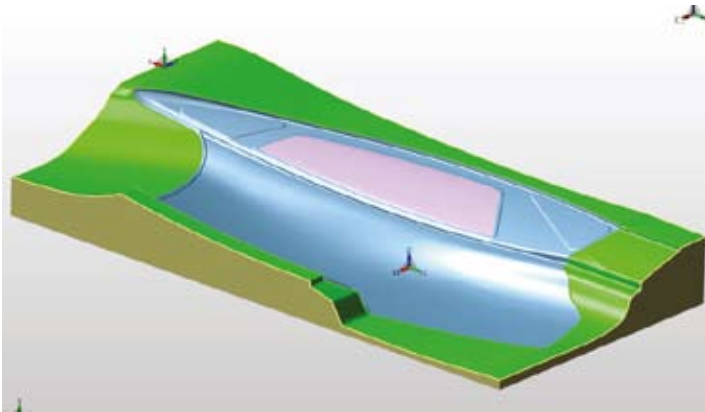
A forma kialakításánál, a szabályzatokon és az energiamegtakarításra való törekvésünkön kívül természetesen meg kell felelnünk egy olyan általános szempontnak is, mint az esztétika. A korábbi versenyautóink az akko-

ri versenylőírásoknak megfelelően és a maximalizált nagy, sík felületnek köszönhetően kevésbé voltak autószerűek és tetszetősek. Ebben a versenyévben azonban szakítva a hagyományokkal nem csak egy megbízható, energiahatékony, hanem dizájnos jármű építése volt a cél.

Műszaki emberként a megfelelő forma megtalálása rendkívül nehéz feladat, ezért segítségül hívtunk egy formatervező párost, akik segítettek megvalósítani az ötleteinket.



5 A csapat



6 Az oldalfal szerszáma

Sajnos a szabályzat egyes pontjai nem tették lehetővé a látványterven szereplő autó pontos megvalósítását, de a formához ragaszkodva és figyelembe véve a gyárthatósági és áramlástechnikai szempontokat is, egy magas szintű minőséggel kivitelezett, formás járművet sikerült alkotnunk.

A jármű rugózása és úttartása miatt súlyponti kérdés volt a futómű is. Független hátsó és első felfüggesztést alkalmaztunk állítható keménységgel és hasmagassággal. Hátul hosszlengőkarokkal, elöl pedig McPherson-megoldással. Erre azért volt szükség, mert az eddigi járműveinkben

az utazás és az egyes kiállítások, autóbemutatók, gyengébb minőségű pályán történő futamok egy idő után kárt tettek a járműben.

Az alkatrészeket a tömeg minimalizálása miatt természetesen végeelemmódszerrel ellenőriztük és optimalizáltuk.

Az elmúlt évek tapasztalatai alapján két lehetőség jöhetett szóba a jármű felépítményével kapcsolatban: az önhordó monocoque vagy az alvázszerkezetre szerelt vákuumozott karbon-kompozit karosszériaelemek. Anyagi lehetőségeink és a technológiákban szerzett eddigi tapasztalataink alapján az utóbbit választottuk.

7 Előgyártmány és szerszám

A végleges forma elnyerésének első fázisa a szerszámok elkészítése.

MDF-lap alapú szerszám mellett döntöttünk. Ez a szerszámtípus jó minőségű felületkezeléssel és lakkozással, megfelelő alternatívát biztosít a szerszámból való 2-5 munkadarab kivételére. A szerszámok tervezését KeyCreator szoftverrel végeztük.

Az előgyártmányokat a már korábban említett 20 mm vastagságú lapokból vágjuk ki és szereljük össze. Ezeket a szelleteket eleinte kézi vágással, később 2D-s faforgácsoló gép segítségével vágtuk ki a táblákból.

A szerszámok végső formáját 3 tengelyes marással érjük el. A szerszámok tervezésénél kiemelt szempont volt, hogy egy általános 3 tengelyes megmunkálóközpont (marógép) alámetszés nélkül el tudja végezni a feladatot.

A forgácsolás után szükség volt alapos felületkezelésre, amely több rétegben felhordott kitréteget jelent, alapos kézi, gépi száraz és nedves csiszolással. Ezután lakkozással fejeztük be a szerszámkészítést.

A karosszériaelemek gyártásának elvi ábráját láthatjuk a 9. ábrán.

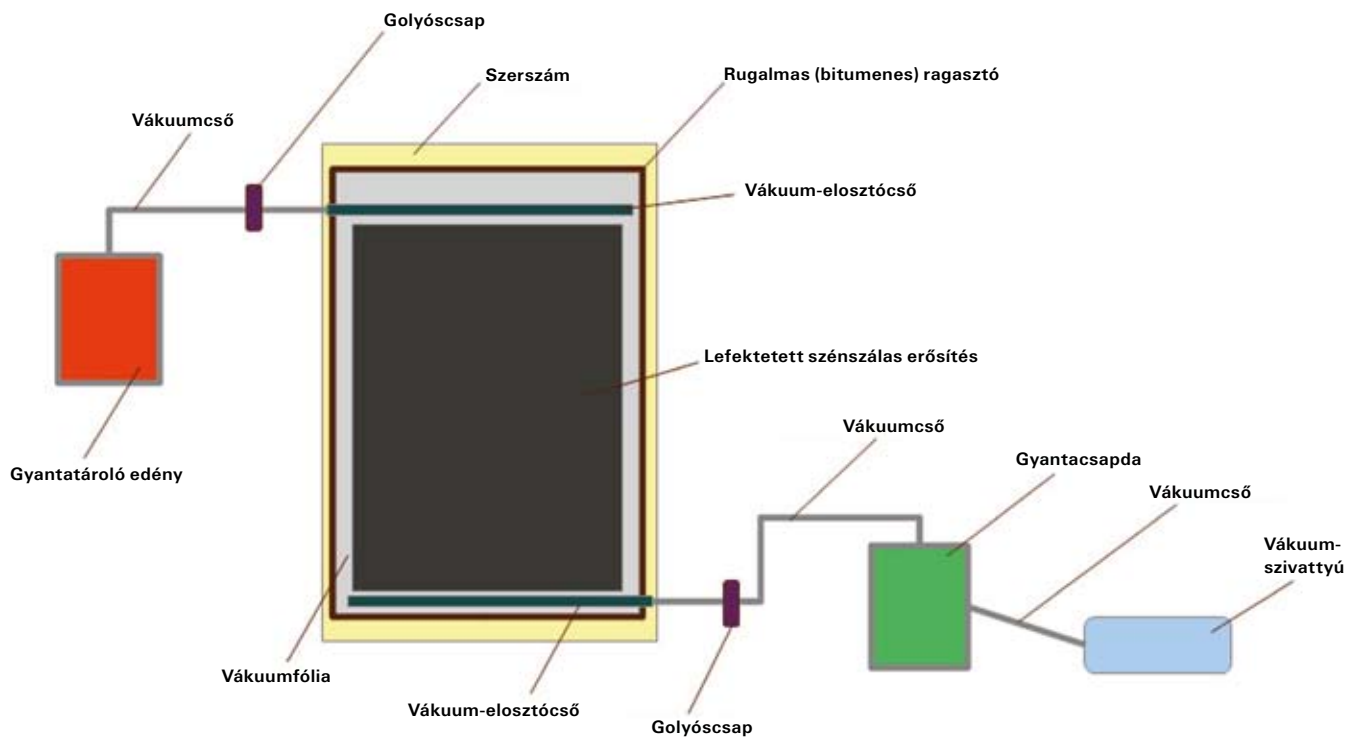
A karosszériaelemek elkészítése minden esetben a szerszám ellenőrzésével kezdődik. A szerszám minősége nagyon fontos, mert az alkalmazott technológiával együtt határozza meg a gyártandó munkadarab felületi és kitöltési minőségét.

A karosszériakészítés legsarkalatosabb pontja a karosszériaelemek egymáshoz és a vázhoz való illesztése.

Hosszas gondolkodás után úgy döntöttünk, hogy a modellautóknál a Nascarban bevált elvet alkalmazzuk és egy az egyben mozgatható felépítményt használunk. A karosszériaelemeket egymáshoz ragasztással rögzítettük.



8 tetőszerszám marás közben



9 A karosszériaelemek gyártásának elvi ábrája

Így a burkolatot a rögzítésre szolgáló gyorskapocs oldása után egyszerűen le lehet emelni a járműről. A tökéletes rögzítésről, a stabil felfogás érdekében a vázszerkezet és a karosszéria között megfelelő profilban hajlított alulelemek és műanyag hab gondoskodott.

Szimuláció

Már a tervezési fázis alatt nagyon fontos volt, hogy megbizonyosodjunk a fejlesztéseink eredményességéről. Ennek érdekében egy hosszú távú alapos szimulációs folyamatot kezdtünk el. A szimulációban 3 szoftvert használtunk, Matlab Simulink, Cruise, CarMaker. Ezek a szoftverek nagyon hasznosak jármű-szimulációra, főként az együttes alkalmazásuk esetén.

A szimuláció elkészítése során nagyon fontos volt minél több paraméter pontos felvétele. Itt nemcsak a jármű paramétereit kell figyelembe venni, hanem a környezetet is, ami ebben az esetben a versenypálya geometriája, a szélállás stb., és nem utolsósorban a sofőr.

A felparaméterezett pálya, jármű és sofőr párosítása után már jól számítható eredményeket kaphatunk.

Egy elektromos meghajtású jármű esetén fontos szempont, hogy az akkumulátorokból kivett elektromos energia lehetőleg nagyobb hányada hasznosuljon mozgási

energiaként. A járművet vezetőnek azonban nehéz megbecsülnie azt, hogy adott pillanatban jól (nagy hatásfokértékű munkapontokon) megfelelően üzemelteti-e az elektromos gépet vagy sem. A CarMaker beépített sofőrmodelljének sebességre szabályozó modellje mutatott arra a nem kívánt eredményre, hogy bizonyos mun-

kapontokat „tanácsos elkerülni”. Összehasonlítva az emberi vezérléssel, minden esetben rosszabb energiafelhasználási mutatókkal bírt. A kapott eredmény előrevetíti azt is, hogy az autóiipar által elfogadott tesztciklusok kedvezőtlen eredményeket adnak elektromos meghajtású járművek esetén. (Az ilyen ciklusok álta-



10 Az összeszerelés kezdete



11 Az elemek ragasztása közben

lában trapéz alakú sebesség-idő diagramok.)

Adott pályán, adott járművel a következő szimulációs eredmények születtek (egy kWh energia felhasználásával megtehető távolságadatok):

CarMaker beépített, sebességtartó sofőr modellje:

- 146 km/kWh.

Testvezetők eredményei:

Energiatakarékos szempontokat nem figyelembe vevő vezetési stílussal (teljes nyomtértartomány használata)

- 142-167 km/kWh.

Energiatakarékos üzemeltetési szempontokat figyelembe véve ugyanazon testvezetők:

- 180-260 km/kWh.

Adott pályát ismerő, időlimiteket figyelembe vevő sofőr (Shell Eco-marathonon részt vevő csapat pilótája):

- 301 - 307 km/kWh.

Az adatok jól mutatják, hogy a gyakorlott, az adott útszakaszt ismerő gépjárművezető intuitív módon képes az energiatakarékos „vezetési stílust” megtanulni. Az ilyen ismeretekkel nem rendelkező vezető számára kívántunk egy olyan kijelzést létrehozni, mely segítséget nyújt e tanulási folyamathoz.

Az ábrán látható grafikus interfészen a zöld sáv mutatja, hogy az elektromos gép a ked-

vező hatásfoktartományban üzemel-e. Ha a piros vonal alatt van a kijelző szintje, akkor gyorsítani kell, ha felette, akkor lassítani. A kijelző kedvező tulajdonsága, hogy az optimális üzemi tartományokon kívül eső esetekben a kijelző a színét is megváltoztatja (sárga - gyorsítás szükséges, piros - lassítás szükséges). Ez a módszer nagy segítséget nyújtott a verseny alatt a sofőrünk számára.



12 Az elkészült karosszéria

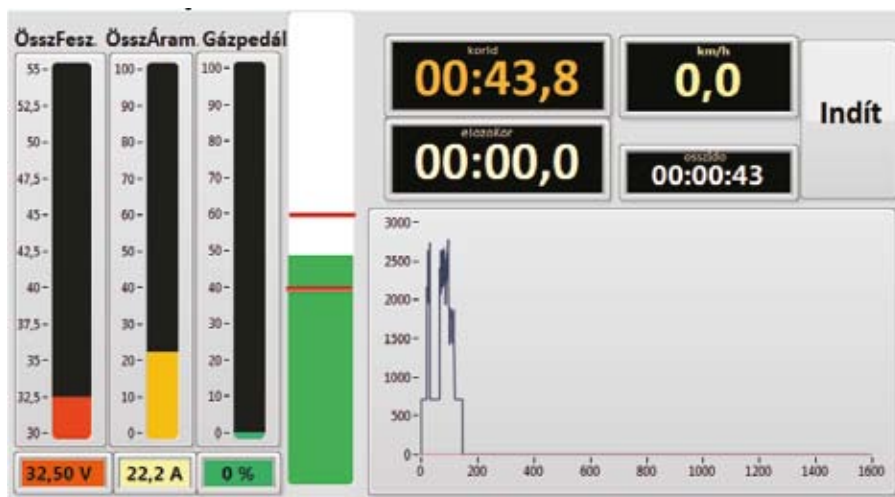
Motor, motorvezérlő elektronika

A jármű hajtására az eddig jól bevált technológiát alkalmaztuk. Egy 1 kW-os BLDC motort használtunk a bal hátsó kerékbe építve. Az állandó mágneses, kefe nélküli DC motorok vezérlésére egy kereskedelmi forgalomban kapható PMS motorvezérlőt alkalmaztunk. A motorvezérlő kiválasztásánál nagy jelentőséggel bírt a vezérlő hatásfok paramétere az energiahatékonysági futamon való részvétel miatt. Az Elmo MC által gyártott egység minden tekintetben megfelelt a vele szemben támasztott kritériumoknak. Teljesítményszintje elegendő a jármű motorjának meghajtására és a teljes teljesítményskálán 98% hatásfok körüli. Ezenfelül CAN-kommunikáció segítségével adatokat képes továbbítani a jármű irányításáért felelős egységnek a motor vezérlési paramétereiről.

Telemetria

A szimulációs paraméterek pontosítása érdekében terveztünk egy telemetriai rendszert is a járműbe, ami segítségével a verseny alatt valós paramétereket gyűjthetünk a járműről, a pályáról és a sofőről is.

A telemetriás rendszer informatikai szempontból három alrendszerre osztható. Az alrendszerek a következők: CompactRIO, tablet PC és boksztucái PC. A CompactRIO feladata a jármű összes kimenő és bemenő jeleinek kezelése, a motor irányítása és a BMS felügyelete. A tablet PC a vezető felé kijelző interfészként szolgál, valamint adat-



13 Labview gui

gyűjtési feladatokat lát el. A boksztucái PC a verseny alatt élő adatokat jelenít meg a járműről. Az alrendszereket a 8. ábra szemlélteti.

A jármű irányításáért felelős rendszer

A jármű irányításáért felelős alrendszer megvalósítására egy kereskedelmi forgalomban is kapható beágyazott CompactRIO rendszert használunk.

A CompactRIO egy robusztus, újrakonfigurálható beágyazott irányító és adatgyűjtő rendszer, melyet három részegység alkot: a processzor, ami egy valós idejű operációs rendszert futtat (RTOS), a felhasználás helyén programozható logikai kapumátrix (FPGA) és cserélhető ipari I/O modulok.

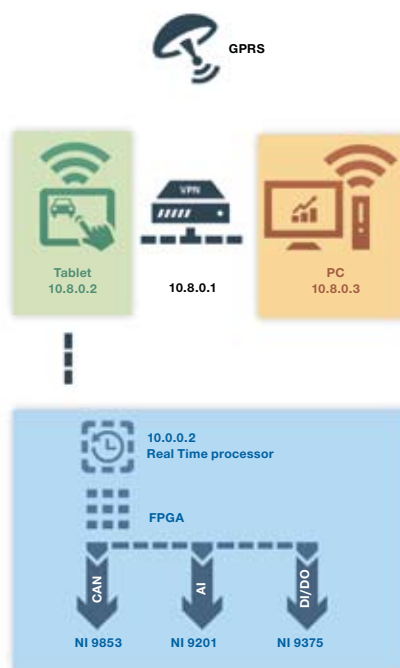
Az általunk használt CompactRIO rendszeren (NI cRIO 9004) a Phar Lap ETS nevű valós idejű operációs rendszer fut, a processzor 195 MHz órajelű, a rendszerhez 64 MB DRAM memória tartozik. Az FPGA-egység egy Virtex-5 LX30 típusú, 4 modul befogadására alkalmas komponens. A beépített CompactRIO rendszert a 9. ábra szemlélteti. Esetünkben 3 modul került alkalmazásra, ezek pedig az NI 9853, NI 9201 és NI 9375 megnevezésű CompactRIO modulok. A modulok a CAN-kommunikációt, az analóg bemenetek lekezelését, valamint a digitális jelek kezelését szolgálják. A fejlesztést a National Instruments LabVIEW fejlesztőkörnyezetén végeztük.

A valós idejű egység feladata sokrétű, a fő funkciói a következők:

- a motorvezérlő CAN-üzenetekkel történő konfigurációja,
- a motorvezérlő státuszának lekérdezése, a státuszüzenetek feldolgozása,

- a BMS (Battery Management System) által biztosított adatok feldolgozása, a BMS vézleoldása, hiba esetén
- adatfeldolgozás,
- adattovábbítás a tablet PC felé.

A valós idejű egység legfontosabb, időkritikus funkciója a motorvezérlő konfigurációja. A programrészlet állapot-átmeneti diagramja a 10. ábrán látható. A valós idejű rendszer indulásakor a program az „Initalize” állapotba kerül, ahol megtörténik a motor alapvető betanítása. Innen a „Current_mode_set” állapotban adja meg a program a motorvezérlőnek, hogy áramvezérelt üzemmód-



14 A telemetriás rendszer alrendszerei

ban kell felparamétereznie a motort. Ezután a „Motor_on” állapotban történik meg a motor bekapcsolása. A gázpedállállásnak megfelelően a „Drive” állapotban történik a motor áramlimitekkel történő vezérlése. A motorhibák esetén az „Error” állapotba kerül a programvezérlés, ez az állapot dolgozza fel a hibákat, és dönt arról, hogy a motor újraparaméterezés után üzemeltethető-e tovább, illetve vézmechizmusként leállítja-e azt. A motor nem vézüzemű leállításához a felhasználónak a kormányon található motor be- és kikapcsoló gombot szükséges megnyomnia, ekkor a „Motor_off” állapot kiadja a szükséges CAN-üzeneteket és a motorleáll. A motor ugyanezzel a gombbal indítható, és a korábban ismertetett algoritmus alapján kezd újra működni. A gomb kétféle megnyomását különböztetjük meg: a rövid gombnyomás során a „Motor_on” állapotba kerül a program, a hosszú gombnyomás esetén pedig az „Initialize” állapotba. Az egyes állapotok elnevezésénél összhangban a motorvezérlő dokumentációjával, angol elnevezéseket használtunk.

A motorvezérlő státuszának lekérdezése és a státuszüzenetek feldolgozása, külön programszálakon hajtódik végre az üzenetek prioritása alapján besorolva. A motorfordulatszám, a motor-fázisáram és motorfeszültség gyakrabban lekérdezett érték, mint például a motorvezérlő hőmérséklete és a motor állapota, így a lekérdezésnél és a motorvezérlő CAN válaszainak feldolgozásánál is külön méreteztük a programszálak frekvenciáját és prioritását.

Az akkumulátorfelügyeleti rendszer (BMS) által biztosított adatok feldolgozása, a BMS vézleoldása szintén külön programszálként lett megvalósítva. CAN-üzenetek a motorvezérlőtől csak kérésre érkeznek, míg a BMS állandó státuszüzeneteket küld. Amennyiben ezek az üzenetek abbamaradnának, a program azonnal leoldja a BMS reléjét, így biztosítva a jármű biztonságos üzemelését. A valós idejű rendszer adatfeldolgozás funkciója a CAN-üzenetek fizikai értékeké történő alakítását, az analóg jelek feldolgozását, illetve azokból származtatott értékek számítását jelenti (idő függvényében fordulatszámából távolságot, áramból és feszültségből pedig mechanikai munkát számol a rendszer). Az így feldolgozott adatokat a megosztott hálózati változóként továbbítja a rendszer a tablet PC felé.

Az FPGA-egység a bemenő és kimenő jelek feldolgozását, alacsony szintű vezérlését és a modulok kezelésének feladatkörét látja el. Az egység funkcionális követelményei között

a teljesség igénye nélkül olyan funkciókat találunk, mint az index villogtatása, a gázpedál jelének vagy a kézigráz jelének továbbítása a valós idejű egységnek kézigrázkapcsoló alapján vagy a CAN-modul felinicializálása. Természetesen ezeken a funkciókon kívül számos, egyszerű működési logikát valósít meg a rendszer FPGA-szinten.

Tapasztalatok, fejlesztési lehetőségek

A SZElectricity összességében az előkelő 8. helyen fejezte be a versenyt a 34 járművet számláló mezőnyben. Mivel ez volt az első évünk ebben a sűrű, már több 10 éves tapasztalattal rendelkező mezőnyben, a célkitűzésnek megfeleltünk, az ugyanis a mezőny első felének elérése volt. Azonban évek múlva ismét szeretnénk elérni a mezőny elejét, és csatába szállni a dobogós helyekért. Ehhez még rengeteg munka és legalább 3-4 verseny szükséges.

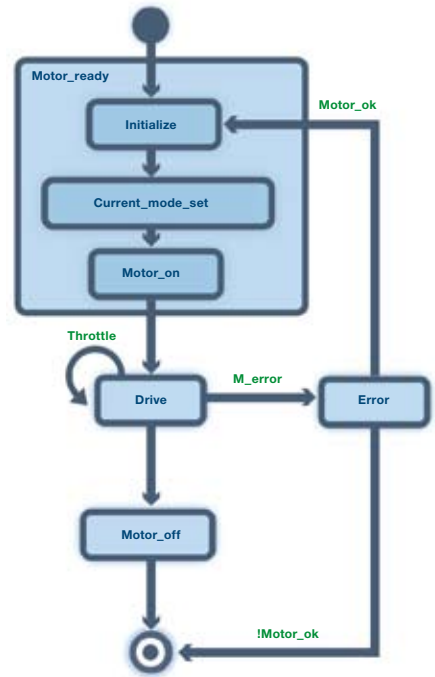
A versenyen tapasztaltak, a telemetria-rendszer adatai, illetve a konkurens csapatok

megoldásai alapján megtaláltuk a járművünkben a hibákat és fejlesztési lehetőségeket. Ezek a problémák elektronikai és gépészeti oldalon is jelen vannak.

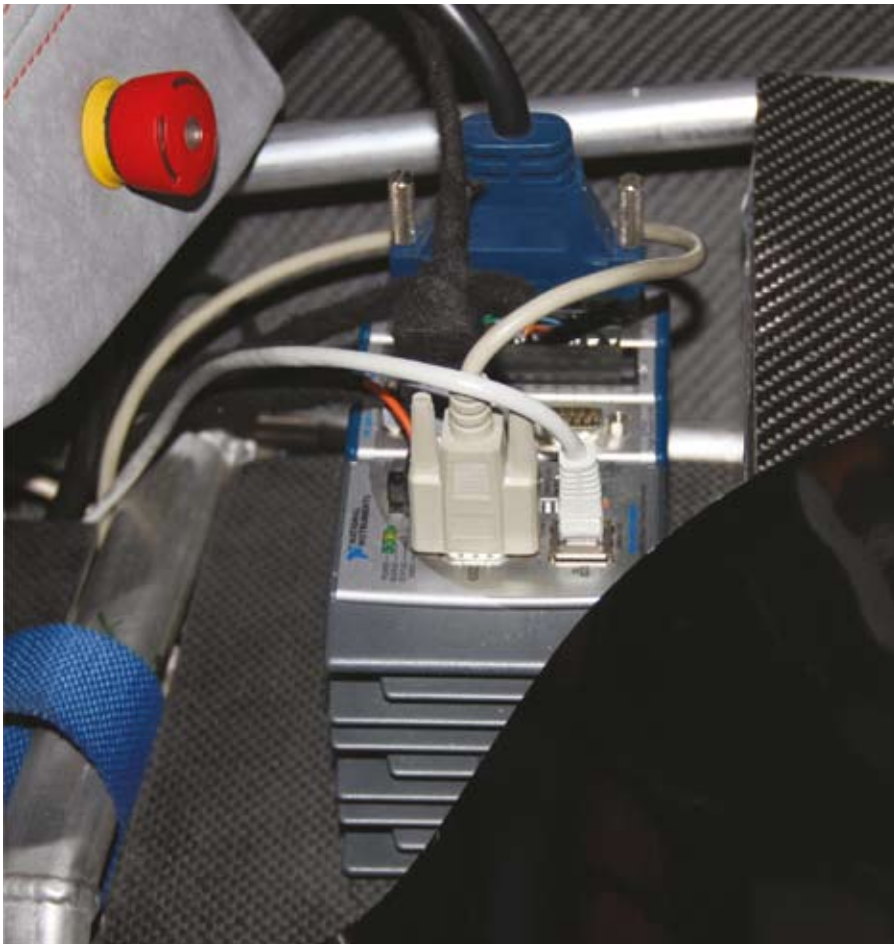
A jármű formájának kialakítása során természetesen foglalkoztunk áramlástechnikával, de egy félreértelmezhető szabály miatt a finisben kellett olyan módosításokat végezni a karosszérián, amelyek az áramlástechnikára gyakorolt hatását nem tudtuk megfelelően kielemezni. Sajnos ez sokat rontott az értékünkön. Emellett a karosszériaelemek torzulása és a nem teljesen tökéletes illesztések is létrehoztak olyan pontokat, amelyek káros turbulens áramlatokat hoztak létre a jármű közvetlen környezetében.

A következő években pontosítani kell a gyártástechnológiánkat, minimalizálni a kézzel végzett munkákat, a pontosság, a pontos illesztések érdekében, illetve a formán is kisebb módosításokat kell eszközölnünk.

Az alkalmazott hajtásrendszer alapvetően jól vizsgázott, talán a legjobb hatásfokú volt a mezőnyben, azonban jóval nehe-



16 A motorvezérlő állapot átmeneti diagramja



15 A járműbe épített compactrio rendszer

zebb, mint a konkurens megoldások. Megfontolandó még a motor két kerék közti elhelyezése, esetleg 2 motor vagy többfokozatú hajtómű alkalmazása. Ennek megállapításához további vizsgálatok szükségesek. Eleinte úgy gondoltuk, hogy nincs szükségünk a motornál szabadon futó alkalmazásra, mert elektromos úton is meg tudjuk oldani a kerék akadásmentes forgását. Sikerült is, de ez is fogyasztástöbblet-hoz vezetett.

A járművünk 96 kg-mal mérlegelt (205 kg a felső határ a kategóriában). Ezzel az elsők közt voltunk a mezőnyben. További tömegcsökkentéssel rengeteg energiát lehet még spórolni. Úgy látjuk, hogy tudatosabb tervezéssel, gépészeti és elektronikai téren tudjuk még grammokkal csökkenteni. Elgondolkodtató a rugózott futómű alkalmazása is, hiszen minden a rugós tagok által elnyelt energia a motorunk fogyasztását növeli.

Összességében elmondható, hogy bár jó eredményt ért el a SZElectricity a kategóriájában, de bőven található még rajta fejlesztési lehetőség. Remélhetőleg a közeljövőben minél több versenyen tudunk elindulni, hogy tovább fejleszthessük a versenyautót, és a fejlesztéseket más, a hétköznapi életben is használható járművek építésénél is tudjuk kamatoztatni.

CZEGLEDI DÁVID