

Megaméter: mikrofogyasztású versenyautó

A Kecskeméti Főiskola GAMF csapata 2010-ben indult először az energiatakarékos járművek nemzetközi versenyén, a Shell Eco-marathonon. Célunk olyan jármű építése volt, amelyik 1 liter benzinnel legalább 1000 km-t képes megtenni. Benzinmotoros prototípus járművünk ezért kapta a Megaméter nevet (1 Mm = 1000 km).

Az energiatakarékos járművek versenyei

Több országban szerveznek versenyt az energiatakarékos járművek részére. Ezek közül a világversenynek tekinthető Shell Eco-marathon a legnagyobb, amelyet 1985 óta minden évben megrendeznek Európában, Amerikában és Ázsiában. Az európai verseny háromévenként más országba költözik. 2012 óta Rotterdamban egy bevásárlóközpont körül kialakított városi pálya a színhely.

A járműveket középiskolások, főiskolások, egyetemisták tervezik és építetik. A csapatok 10...20 fősek. Az iskolák ösztönzik hallgatóikat, hogy induljanak ezeken a versenyeken, mert a felkészülés, a támogatók keresése, a tervezés, a járműépítés, a ver-



1 Az elfogyasztott benzin tömegét analitikai mérleggel mérik

2 A jármű méreteinek ellenőrzése a gépátvételen

seny és az egészhet átfogó szervezés valódi kihívás és megmérettetés. A csapat sikere egyúttal fényre hozza az oktatási intézmény munkáját is. A meglepő versenyeredmények felhívják a nagyközönség figyelmét az energiatakarékos szemléletre.

A 2013-as rotterdami versenyre 24 országból 224 csapat nevezett, köztük 5 magyar oktatási intézmény:

- Győri egyetem,
- Kecskeméti Főiskola,
- Kecskeméti Kandó K. Szakközépiskola,
- Óbudai egyetem,
- Pécsi egyetem.

Az egyhetes rendezvényen 2800 fiatal mérte össze tudását. A nyitott boxokat 40 ezer érdeklődő látogatta meg.

A versenyszabályok

Az Eco-marathon versenyt mindhárom földrészén azonos szabályzat szerint szervezik. A versenypályák zártak (körpályák), így a pá-

lya lejtése és a szél energiája nem járul hozzá a jármű hajtásához.

A járműveket a méretük, illetve a meghajtómotor és az energiaforrás szerint kategorizálják. A városi járművek kisméretű személygépkocsihoz hasonlítanak, a prototípusok még kisebbek, könnyebbek, felszereltségük egyszerűbb. A meghajtómotor lehet belső égésű motor (a tüzelőanyag benzin, etanol, gázolaj, biodízel), vagy villanymotor (az áramforrás akkumulátor vagy tüzelőanyag-cella hidrogénnel). A továbbiakban csak a benzin-prototípusokkal foglalkozunk.

A prototípusok 2013-as versenyszabályzata szerint:

- a nyomtáv legalább 50 cm,
- a tengelytáv legalább 100 cm,
- a járműmagasság legfeljebb a nyomtáv 1,25-szöröse,
- a járműhossz legfeljebb 350 cm,
- a fordulósugár legfeljebb 10 m.

A járművek egyszemélyesek, a pilótának legalább 50 kg-osnak kell lennie (ezért legtöbb-

ször lányok a pilóták). Bukósisak, tűzbiztos ruha, kesztyű, zárt cipő, ötpontos biztonsági öv használata kötelező. A járművet el kell látni visszapillantó tükrökkel, kétkörös fékkel, bukókerettel, dudával, tűzoltó készülékkel. A belső égésű motorral hajtott járműbe kötelező tengelykapcsolót (kuplungot) beépíteni. A tüzelőanyag-ellátó rendszert (benzintartály, injektor, átlátszó összekötőcső) úgy kell kialakítani, hogy egyszerűen és gyorsan kivethető legyen a járműből. A hajtáshoz csak a tüzelőanyag energiája használható fel (például az önindító nem hajthat rá a kerékre). A pilótafülkét egy zárt tűzfalal kell elválasztani a motortértől. Verseny közben a pilóta nem férhet hozzá a motortérhez és a tüzelőanyag-ellátó rendszerhez. A futam érvénytelen, ha a jármű megáll, és a pilóta kiszáll.

A futási teljesítmény meghatározása

A verseny célja minél nagyobb távolság megtétele minél kevesebb energiával, és legalább 25 km/óra (esetenként 30 km/óra) átlagsebességgel. A csúcsteljesítményű prototípusok 1 liter benzinnel 2000 km fölött futnak. Ekkora táv megtétele 3...4 napig tartana, ezért a versenyen – pályától függően – csak 15...25 km-t kell teljesíteni. A versenyfutam előtt és után lemérik a tüzelőanyag-ellátó rendszer tömegét, a benne lévő benzinnel együtt. Az elfogyasztott benzin tömege egyenlő a tömegkülönbséggel. A futamhossz ismeretében egyszerű aránypárral számítják ki a futási teljesítményt. Például a 2012-es rotterdami versenyen a Kecskeméti Főiskola Megameter-III járműve 4,46 g benzint fogyasztott 16,117 km-en. 1 liter 15 °C-os 95-ös ólommentes versenybenzin tömege 746,16 gramm, így a futási teljesítmény:

$$\frac{746,16 \text{ g/liter}}{4,46 \text{ g}} \times 16,117 \text{ km} \approx 2696 \frac{\text{km}}{\text{liter}}$$

Ez 0,0371 liter/100 km-es fogyasztásnak felel meg. A versenyszabályzat azért km/literben határozza meg az eredményt, mert ez kifejezőbb szemlélteti ezeknek a járműveknek az energiatakarékosságát.

A verseny

Az egy hétig tartó verseny a műszaki és biztonsági gépátvétellel kezdődik. Ezen szigorúan ellenőrzik, hogy a járművek megfelelnek-e a versenykiírásnak, biztonságosak-e. Az ellenőrzésen átment jármű megkapja a rajtszámát, majd a járműbe szerelnek egy jeladót (transzpondert). A csapat csak ezután kezdheti meg a tesztfutamokat, ahol a pilóta megismerkedik a pályával, a versenyzők beállítják a motort és meghatározzák a versenytaktikát (motorindítások száma és

helye, legkisebb és legnagyobb sebesség, előzési lehetőségek stb.).

A versenyfutam a fékek ellenőrzésével és a tankolással kezdődik. Ezután a pilóta beszáll a járműbe, amelyet két csapattárs a rajtnalhoz tol.

A pályán egyszerre 40...50 jármű is versenyez. A városi pályákon a kanyarok élesek, nem beláthatók, néhol az úttest elkeskenyedik, gyakori az előzés és a kisebb-nagyobb ütközés. A csapattársak rádión keresztül segítik a pilótát. Miután a jármű befutott a célba, kiszereleik a tüzelőanyag-ellátó rendszert, és meghatározzák az elfogyasztott benzin tömegét és a jármű futási teljesítményét.

A GAMF csapat eredményei

A Kecskeméti Főiskola 2009-ben alakult eco-marathonos GAMF csapatának 6–12 tagja van. A csapat minden tanévben megújul. 2009 óta 27 hallgató dolgozott a járművek fejlesztésén, utazott el a versenyekre.



4 A pályán nagy a forgalom



3 A rajt előtti pillanat



5 Az Mm-IV sikeresen átfut a célvonalon (Rotterdam, 2013)



6 A GAMF csapat eddig négy járművet épített

Munkánkat 3 oktató segíti. A prototípus benzin kategóriában indulunk. Ez a legnépszerűbb, a csapatok harmada ezt választja, itt a legnagyobb a küzdelem.

Az eredmények pályafüggők. A sok, éles kanyar növeli a gördülési ellenállást, ha nagyok a pályán a szintkülönbségek, a lejtőn leguruló jármű annyira felgyorsulhat, hogy fékezni kell. Mindezek csökkentik az 1 literrel elérhető távot.

Cartagenában, az alternatív hajtású járművek versenyén bioetanollal indultunk. Ehhez csak a motorvezérlőt állítottuk át: megnöveltük az előgyújtást és az injektálási időt.

Ezeket a sikereket nem érhattük volna el támogatóink nélkül, akik pénzzel, csapatruhával, gépmunkával, eszközökkel és az utazáshoz szükséges gépkocsi kölcsönadásával segítik a csapatot.

Hogyan lehet 2696 km-t megtenni 1 liter benzinnel?

Mivel egy korszerű személygépkocsi 15...20 km-t képes megtenni 1 liter benzinnel, így 2009-ben nekünk is hihetetlennek tűntek a 2000...3000 km/literes eco-marathonos eredmények. Ezért most a benzin fűtőértéke és a jármű menetellenállása alapján vázoljuk a futási teljesítmény fizikai hátterét.

A benzin fűtőértéke 32 MJ/liter. Motorunk fékpadon mért átlagos hatásfoka 33%, a hajtásláncé 90%. Így 1 liter benzin felhasználásával kapott hasznos munka (ez tartja mozgásban a járművet):

$$W_{hasznos} = 0,33 \times 0,9 \times 32 \approx 9,5 MJ.$$

A versenyen használt R16-os radiál gumik átlagos gördülési ellenállási együtthatója (a kanyarokat is figyelembe véve) 0,0026; a jármű össztömege pilótával 78 kg, a gumik gördülési ellenállása:

$$F_{görd} \approx 0,0026 \times 78 \times 10 \approx 2,03 N.$$

A jármű homlokkeresztmetszete 0,36 m², átlagos légellenállási tényezője 0,12 (lásd

később). A légellenállási erő az 1,25 kg/m³ sűrűségű levegőben 27 km/óránál (7,5 m/s):

$$F_{lég} = 0,12 \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 7,5^2 \times 0,36 \approx 1,52 N.$$

A járműre ható teljes ellenállási erő (vízszintes pályán, állandó sebességnél ez egyenlő a vonóerővel):

$$F_{vonó} = 2,03 N + 1,52 N = 3,55 N.$$

Az 1 liter benzinnel megtehető távolság a hasznos munka és a vonóerő hányadosa:

$$s = \frac{W_{hasznos}}{F_{vonó}} = \frac{9,5 MJ}{3,55 N} \approx 2676 km.$$

Összefoglalva: a motor és a hajtás eredő hatásfokának 30% fölött, a jármű teljes menetellenállásának 3,6 N alatt kell lennie, ha 1 liter benzinnel meg akarjuk tenni például a Budapest-Róma utat oda-vissza.

A karosszéria alakja

A pilótafülke, a motor, a hajtás és a futómű elrendezését és a karosszéria alakját a minél kisebb légellenállás elérése határozza meg. Természetesen figyelembe kell venni a versenyszabályokat és a pilóta méreteit is. Versenyeredményeink részben a rendkívül

Verseny	Eredmény, helyezés, tüzelőanyag
2011, Németország, Lausitz: 26. Shell Eco-marathon Europe	1588 km/liter, 8. hely, benzin
2010, Finnország, Nokia: 35. Písaralla Písimmälle Marathon	1941 km/liter, 3. hely, benzin, A leginnovatívabb csapat különdíja
2011, Németország, Lausitz: 27. Shell Eco-marathon Europe	2277 km/liter, 4. hely, benzin, SKF különdíj
2011, Finnország, Nokia: 36. Písaralla Písimmälle Marathon	2661 km/liter, 1. hely, benzin
2011, Spanyolország, Cartagena: 2. Solar Race	1335 km/liter, 1. hely, bioetanol
2012, Hollandia, Rotterdam: 28. Shell Eco-marathon Europe	2696 km/liter, 2. hely, benzin
2012, Finnország, Nokia: 37. Písaralla Písimmälle Marathon	2668 km/liter, 3. hely, benzin
2012, Spanyolország, Cartagena: 3. Solar Race	1646 km/liter, 1. hely, bioetanol
2013, Franciaország, Toulouse: 5. EducEco	A legjobb tervezés és kivitelezés díja
2013, Hollandia, Rotterdam: 29. Shell Eco-marathon Europe	2367 km/liter, 2. hely, benzin
2013, Spanyolország, Valencia: 1. EcRace	1729,8 km/liter, 1. hely, benzin



7 Rotterdam, 2013: az ezüstérmes kecskeméti csapat

könnyű, merev, kis légellenállású karosszériának köszönhető.

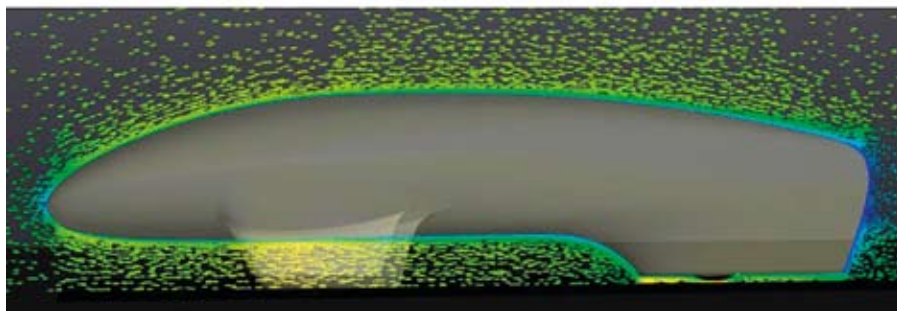
A légellenállási erő (Reyleigh-összefüggés):

$$F_{\text{lég}} = c_e \frac{1}{2} \rho v^2 A_{hk}$$

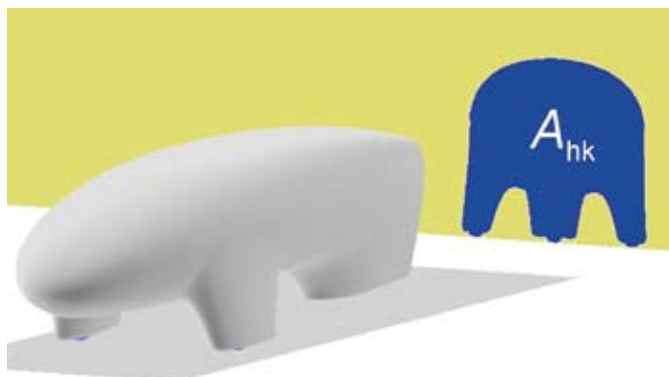
Az ebben a kifejezésben szereplő négy mennyiség közül csak az A_{hk} homlokkeresztmetszetet és a c_e légellenállási tényezőt tudjuk változtatni, mert a levegő ρ sűrűsége adott, és a v járműsebességet a versenyszabályzat előírja.

A homlokkeresztmetszetet (és egyúttal magát a járművet is) minél kisebbre célszerű tervezni. Ezért a nyomtávot a megengedett legkisebb értékre, 50 cm-re választottuk. A jármű legnagyobb szélessége a nyomtávnál kissé nagyobb, 60 cm. A járműmagasság legföljebb a nyomtáv 1,25-szöröse lehet. A kerékburkolatokat is figyelembe véve, járművünk homlokkeresztmetszete $0,36 \text{ m}^2$.

A c_e légellenállási tényező függ a jármű alakjától és főbb méreteinek arányától.



9 A 3D-s modell számítógépes áramlástan vizsgálat



8 A homlokkeresztmetszet szemből nézve a kontúrvonal által körbezárt terület

A cseppalaké akkor a legkisebb, ha hossza legnagyobb szélességének 5...6-szorosa. Ebből $5 \times 60 \text{ cm} = 300 \text{ cm}$ körüli hosszt kapunk. Ez az áramlástan magyarázata a $295 \times 60 \times 60 \text{ cm}$ -es járműméretnek.

Miután kialakult az alapkoncepció és a főbb méretek, előzetes formai és mechanikai terveket készítettünk, és megbecsültük a karosszériaelemek várható kritikus igénybevételét. A kis súly és méret miatt önhordó karosszériát készítettünk (a járműveinknek nincs alváza).

A karosszériát a pilóta, futómű, motor, hajtáslánc köré kell tervezni, ezért először elkészítettük ezek virtuális modelljét. A tervezés ezek elhelyezésével indult. Ezt követte a karosszéria 3D-s modelljének számítógépes megalkotása. A felületmodell 3D-s rajzi alapja olyan vezérgörbék sokasága, melyek a modellezés és a későbbi optimalizálás során módosíthatók. A felületmodellező szoftver a vezérgörbék érintésével képez felületet. A tervezésnek ebben a szakaszában a

fődarabok csak vázlat formájában illeszkednek a felületmodellhez. A karosszéria alakját a NACA-0018-as szárnyprofilból kiindulva terveztük meg.

Ma már a számítógépes áramlástan vizsgálatok kellően pontosak, továbbá egyszerűbbek és gyorsabbak, mint a szélcsatornások. Mi is számítógéppel optimalizáltuk a karosszéria alakját. A 3D-s modell vizsgálata alapján 0,11-es légellenállási tényezőt kaptunk. A szabadon guruló jármű lassulása alapján mért érték 0,12.



10 A mag gittelés előtt



13 A pehelykönnyű karosszéria



11 A kész szerszám

ből vákuumozással alakítottuk ki. A karosszéria alsó, teknő alakú teherviselő része három darabból áll. Ezeket szerkezeti ragasztóval és szénzálból készült, előre laminált szalagokkal erősítettük egymáshoz. Az emblémák, feliratok, díszítések felvitele után a külső felületre egy vékony lakkréteget szórtunk fel.

Az így kialakított karosszéria kellően merev, biztosítja a pontos futómű-geometriát, áramvonalas, védi a pilótát, és mindössze 4,5 kg. A szélvédőt és az oldalablakokat vékony polikarbonátból vákuumformázással gyártottuk pozitív formára.

(Folytatjuk)

GAMF CSAPAT, 2013

Az önhordó karosszéria gyártása

Az eddig csak számítógépen megálmodott karosszéria megvalósítása három lépésben történt.

1. A magkészítés

A mag (ősminta) a karosszériával pontosan megegyező formájú közbülső darab. Ezt összeragasztott XPS- (polisztirol) lapokból martuk ki faipari CNC-marógéppel, majd giteltük és fényeztük.

2. A szerszámkészítés

Az üreges, több darabból álló szerszám a karosszéria negatív formája. A mag segítségével kézi laminálással készítettük, több réteg üvegszövetből epoxi-szerszámgél és epoxigyanta hozzáadásával.

3. A héjszerkezetű karosszéria elkészítése

A karosszéria egy szendvicsszerkezetű munkadarab: méhsejtréteg két oldalán szénzövet-



12 A szendvicsszerkezet előkészítése a szerszámban