

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).

A saját fejlesztésű négyütemű benzinmotor

A vontatási teljesítmény és a motor teljesítménye

A vontatási teljesítmény a vonóerő és az átlagsebesség szorzata:

$$P_{\text{vonó}} = F_{\text{vonó}} \cdot v_{\text{átl}} = 3,55 \times 7,5 \approx 30 \text{ W.}$$

Ez egy kerékpáros teljesítménye 10...15 km/órás pedálozáskor.

A versenyeken csak négyütemű motorral lehet indulni. Jó hatásfokú 30...40 W-os négyütemű motort nem lehet építeni, mert egy ilyen parányi motornak nagy lenne a hővesztesége és rendkívül nagy lenne a fordulatszám.

Először megvizsgáltuk a piacon kapható kerti kisgépek, robogók hajtására gyártott 25...50 cm³-es négyütemű benzinmotorokat. Ezek hatásfoka azonban 20%-nál kisebb, így átalakítás nélkül ezekkel csak 1000 km/liter körül lehet teljesíteni. Ezért úgy döntöttünk, hogy a verseny céljaira kifejlesztünk egy sokkal jobb hatásfokú olyan motort, amelyik illeszkedik a versenyszabályokhoz, a hajtáslánchoz és a jármű tömegéhez.

A következő táblázatban összehasonlítottuk az eco-marathonos versenyzők által kedvelt Honda GX25 és az általunk épített Mm-IV motor főbb adatait. (A benzinmotoros versenyjárművek 80%-ában gyári motor van.)



14 A GAMF csapat saját fejlesztésű motorjai

Az Mm-IV motor Miller-körfolyamatú, a szívóütem sűrítési aránya 14, a munkaütemé 22. (A Miller-körfolyamatú benzinmotorok hatásfoka 3...4%-kal jobb, mint a hasonló méretű Otto-körfolyamatúaké.)

A mozgó alkatrészek súrlódását a következő megoldásokkal csökkentettük:

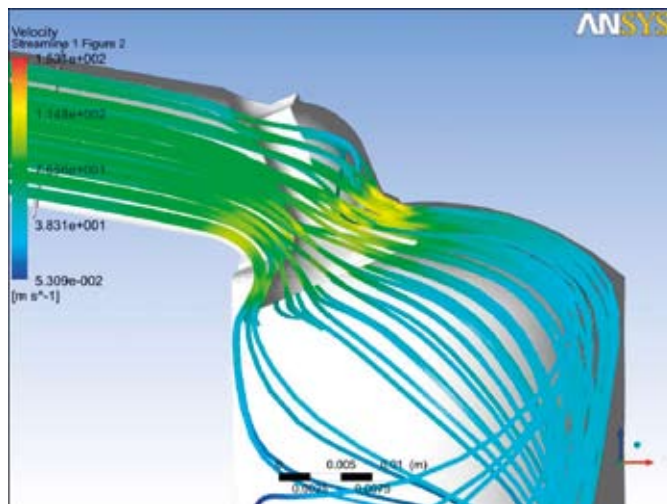
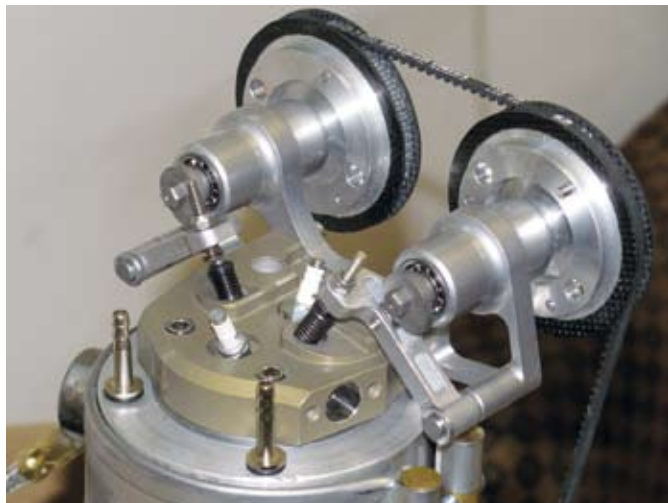
- csak egy gyűrű van a dugattyún,
- a dugattyúpálást teflonbevonatú,
- a hajtórúd a szokásosnál hosszabb,
- a szelepemelők görgős kivitelűek.

Jellemző adat	Honda GX25	Mm-IV
lökettérfogat, cm ³	25	45
furat/löket, mm	35/26	31,5/58
sűrítési arány	8	14/22
fordulatszám, 1/perc	5000	3000
nyomaték, Nm	1	2,3
teljesítmény, W	525	700
fogyasztás, g/(kWh)	550	245
hatásfok, %	16	33
tüzelőanyag-ellátás	karburátor	injektor
indítás	kézi	önindító

A hengerfej

A négyütemű benzinmotorok egyik legbonyolultabban tervezhető alkatrésze a hengerfej. Körültekintően, egymáshoz illeszkedve kell megtervezni a szívó- és kipufogócsatornát, a szelepléseket, az égéstér alakját, a gyertyák és szelepek elhelyezését, miközben áramlástani, hőtani és gyárthatósági szempontokat is figyelembe kell venni. (A hengerfej forgácsolással készült.)

Az égéstér gömbsüveg alakú, felülete sima, a hőveszteséget kerámiabevonat csökkenti.



15 Az Mm-II motor kerámiabevonatú hengerfeje és vezérműve

(A dugattyútetőn is bevonat van.) Arra törekedtünk, hogy az égéstérben ne legyenek „zsebek, hideg zugok”, mert ezekben a keverék tökéletlenül ég el. Két gyújtógyertyát építettünk be, mert így:

- az indítás üzembiztosabb,
- az égési út rövidebb, ezért az égési csúcsnyomás és a határfok nagyobb.

A fejlesztés során végeelem-módszerrel vizsgáltuk az Mm-IV motor szívócsatornájának áramlástani tulajdonságait. A szívócsatornát hengerfelületek határolják. Ezek áthatásai éles sarkokat formálnak. Számítógépes elemzéssel kimutattuk, hogy a sarkok letörésével csökkenthető a motor feltöltését és a gáz keveredését gátló áramlási torlódás a szeleptányér mögött.

A start/stop üzemmód

Motorunk teljesítménye mintegy 20-szorosa a vontatásiteljesítmény-szükségletnek, ezért a

versenyen a motort a teljes futamidőnek csak kb. 5%-ában működtetjük: a motor 5...6 s alatt 18-ról 36 km/óra gyorsítja a járművet, majd leállítjuk a motort, és addig hagyjuk a járművet szabadon gurulni, amíg sebessége 18 km/óra csökken. Ekkor újraindítjuk a motort.

Önindítózáskor a benzinbefecskendezés csak akkor kezdődik, ha a motor fordulatszáma már elérte az üresjárat fordulatszámot. Ezzel kb. 1,5% benzint takarítunk meg.

A hajtáslánc és a motor fordulatszáma

A hajtásláncba beépített többfokozatú sebességváltó növelné a veszteségeket és a súlyt, ezért a főtengelyen lévő tengelykapcsoló és a meghajtott kerék között egyetlen, rögzített áttétel van. A fogaskerék-, szíj- és lánchajtás közül mi a lánchajtást választottuk, mert könnyű, egyszerűen szerelhető, és nagy módosítás mellett is jó a hatásfoka.

16 Gázáramlás a szívócsatornában és a hengerben

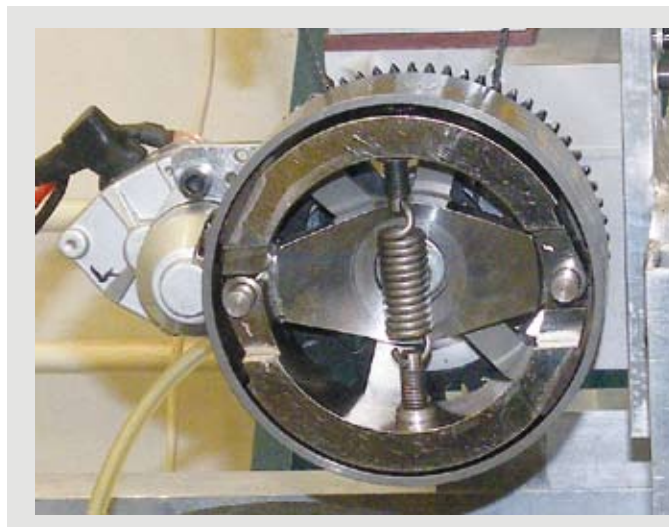
Gyorsításakor a járműsebesség 18...36 km/óra, a 48 cm átmérőjű meghajtott kerék fordulatszáma 200...400 ford./perc. A lánchajtás módosítása (egyetlen áttétellel) legfeljebb 9, ezért a motort úgy kellett megtervezni, hogy fajlagos fogyasztása az 1800...3600 ford./perc-es tartományban legyen a legkisebb. Ez hosszú löketű motorral és alkalmasan kialakított szeleplevezérléssel közelíthető. A kis fordulatszám előnye, hogy kicsi a motorteljesítmény, továbbá a szívó- és kipufogócsatornák áramlási vesztesége és a hengeröblítési veszteség kedvezőbb. A hosszú löket miatt már kis fordulatszámon is van nyomatéka a motornak, ami a rajtvonalnál segíti a csúsztatott kuplungos elindulást.

Közvetett befecskendezés

Az üzemi hőmérsékletű benzinmotorok fajlagos fogyasztása enyhén szegény keverékkel a legkisebb. A szakirodalom és saját fékpados méréseink szerint is az 1,05...1,1-es légvíz-szöny a legjobb, a levegő/benzin arány ekkor 15,4...16,2. A keverékképzés csak elektronikusan vezérelt befecskendezéssel valósítható meg pontosan. A benzint egy pillepalackban tárolt 3 bar nyomású sűrített levegő nyomja az injektorba. Nyomásszabályzó nincs, mert a palack 500 cm³-es, a versenyfutamon elfogyasztott benzin térfogata csak pár cm³, ezért a sűrített levegő nyomásesése elhanyagolható.

Nincs fojtószelep és gázpedál

Motorjaink a versenyen csak teljes terheléssel üzemelnek, ezért nincs fojtószelep és gázpedál. Ez azzal az előnnyel jár, hogy kisebb a szívócső áramlási vesztesége, és egyszerűbb a motor beállítása. Részterhelés injektálás kihagyásával valósítható meg, de erre a versenyen nincs szükség.



17 A röpsúlyos tengelykapcsoló egy feszítőrugóval



18 A kerékagy és a dobfék

A tengelykapcsoló

A motor nyomatékát egy röpsúlyos tengelykapcsoló, a lánchajtás és egy szabadonfutó viszi át a meghajtott kerékre. (A hátsó lánckerék küllői rugalmasan deformálódhatnak, így lágyabb a nyomatékátvitel.) 2010-ben és 2011-ben egy robogó tengelykapcsolóját építettük be, de azt tapasztaltuk, hogy a motorjaink fordulatszámának 1,5...2-szeresére méretezett tengelykapcsoló már akkor kezd hajtani, amikor még nem kellene, és még akkor is csúszik, amikor már nem kellene. A gyári tengelykapcsoló műszaki jellemzőit nem tudtuk kellő mértékben módosítani, ezért 2012-ben saját kuplungot terveztünk és gyártottunk. Ezt úgy méreteztük, hogy:

- nyomtérítékvitelének fordulatszám- és szöggyorsulásfüggése illeszkedjen a motor nyomtérítékgörbéjéhez, az áttételhez és a jármű tömegéhez,
- hatásfoka a lehető legjobb legyen (csak akkor csússzon, amikor szükséges),

- önindítózásakor semmiképpen ne vigyen át nyomtérítéket (ezt szigorúan ellenőrzik). Ezeket a feltételeket a kuplungharang átmérőjének, a röpsúlyok alakjának és tömegének, a kuplungrugó merevségének, a röpsúlyokat tartó vezetőcsapok helyének, valamint a súrlódóbetétek anyagának, méretének és helyének alkalmas megválasztásával tudtuk elérni. A ráfutó forgásirány ellenére kuplungunk nem hajlamos az önzáródásra, és nem túl érzékeny a súrlódóbetétek súrlódási tényezőjének változására.

A futómű és a fékek

Járműveink háromkerékűek. Az első két kerék rögzített, a hátsó a hajtott és kormányzott. A rugózatlan kerékfelfüggesztés és a nagy guminyomás miatt a jármű kényelmetlen, az úthibák miatt rázkódik. Mégis vállaltuk ezt a kényelmetlenséget, ugyanis a lengéscsillapító rugózott kerékfelfüggesztés elnyelné a jármű mozgási energiájának esetünkben nem elhanyagolható részét, ezzel csökken-

tené az 1 literrel megtehető távot. A guminyomás 5...6 bar, mert az R16-os versenygumik gördülési ellenállása ennél nagyobb nyomásnál már nem csökken jelentősen. Először kerékpártárcsafékeket építettünk be. De az automata hézagállítás miatt a fékbetétek néha hozzáérttek a tárcsához, súrlódásuk veszteséget okozott. Ezért ma már mindhárom kerékagyban saját tervezésű, kézi állítású, lefutó irányú duplex dobfékek vannak. Ezek fékhatása elegendő, és úgy állíthatók be, hogy alaphelyzetben ne súrlódjanak.

A kormányzás

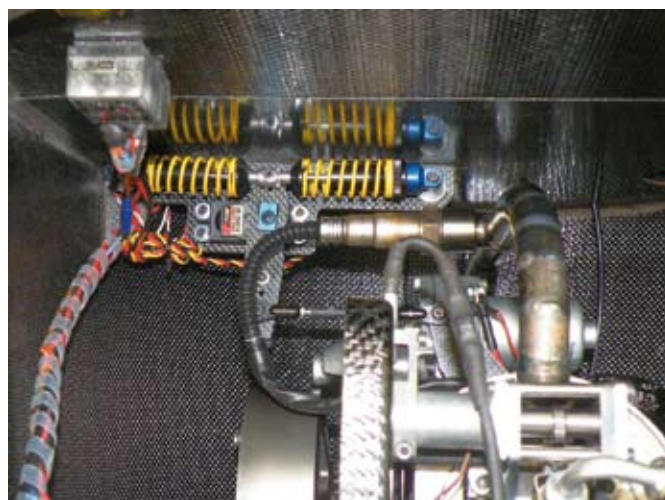
2011 óta a versenyszabályok megengedik az elektronikus vezérlésű szervokormányzást. Éltünk ezzel a lehetőséggel. A kormányzott hátsó kerék tengelye és a motor egy negyedbe vágott dobhoz hasonlító héjszerkezetű villához van rögzítve. Ez a villa egy függőcsap körül forog, amelynek végei az önhordó karosszéria megerősített pontjaiban vannak csapágyazva. A villát a motorral és a kerékkel együtt egy nagynyomatékú elektromos kormánysservo fordítja el a függőcsap körül. Nagyobb sebességnél a kormányzott kerék hajlamos a belengésre. Ezt két lengéscsillapító akadályozza meg. Egy figyelőáramkör ellenőrzi a kormánymű áramellátását, és szükség esetén a tartalék akkumulátorra kapcsol.

A motorvezérlőtől a járművezérlőig

A benzinmotorok egyszerű motorvezérlője (ECU) egy ipari számítógép, amely a hozzákapcsolt érzékelőkön keresztül méri a főtengely szöghelyzetét, a fordulatszámot, a motor hőmérsékletét, a beszívott levegő hőmérsékletét és nyomását a szívócsőben,



19 A kormánykerék a pilótafülke oldalán van, nem zavarja a kilátást

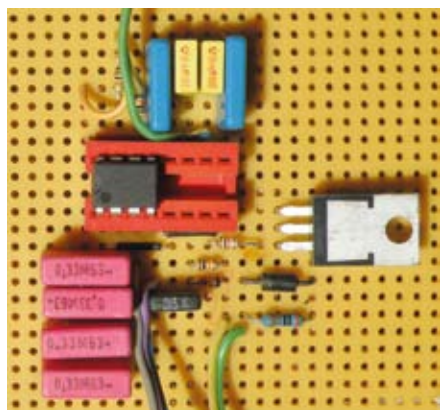


20 A kormánysservo és a kormánylengés-csillapítók

a fojtószelep állását, a tüzelőanyag nyomását, az akkumulátorfeszültséget és a kipufogógáz oxigéntartalmát, és ezek függvényében állítja be az előgyújtási szöveget és az injektor nyitvatartási idejét (azaz a befecskendezett benzinadagot). A függvénykapcsolatokat táblázatokban kell megadni. Ezeket fékpadon végzett mérésorozat alapján kell kitölteni.

A 2010-es németországi versenyre a motorvezérlő elektronikát pár óra alatt raktuk össze analóg áramkörti elemekből. Az előgyújtási szög állandó volt, és a pilóta a motor hangja és húzása alapján kézzel szabályozta az injektálási időt. Ezzel a vezérlővel 1588 km/litert teljesítettünk.

A következő versenyekre kaptunk egy korszerű VEMS motorvezérlőt a szükséges



21 Ilyen egyszerű volt az első motorvezérlőnk

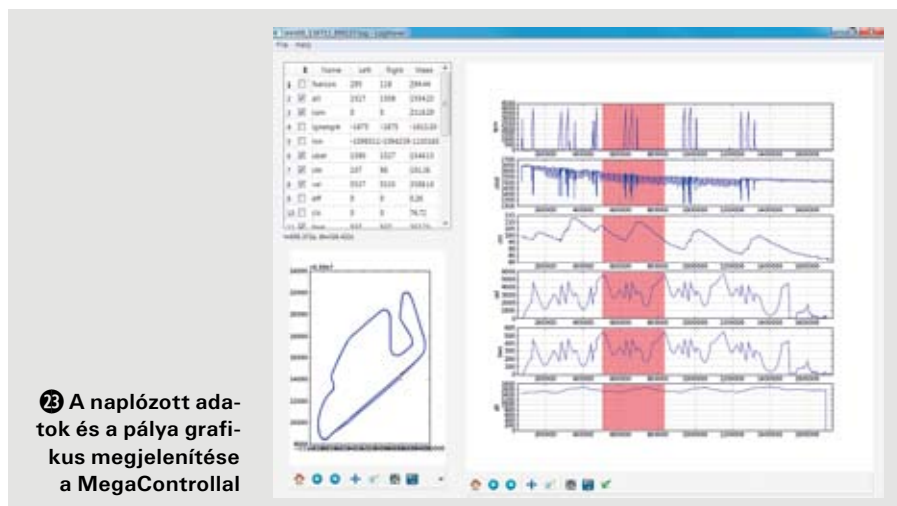
érzékelőkkel. Ez a motor vezérlésén kívül naplózta a motor és a jármű legfontosabb pillanatnyi jellemzőit, és alkalmas volt a fékpados mérések gyors kiértékelésére is.

MegaControl: saját fejlesztésű járművezérlő

2012 tavaszán egy olyan mikroprocesszoros vezérlőegység fejlesztésébe kezdtünk, amelyik a motor vezérlésén kívül segíti a pilótát a jármű vezetésében.

Az első lépés a motorvezérlés megoldása volt. 2013 januárjára elkészült egy kezdetleges verzió. Ez csak a fordulatszámot és a főtengely szöghelyzetét érzékelt, és ez alapján szabályozta a gyújtást és az injektálást. Később további érzékelők jelét is feldolgozta (üzemanyagnyomás, hengerfej-hőmérséklet, légviszony stb.). Mostanra a MegaControl a motorvezérlésen túl a következőkkel segíti a pilótát:

- A pilótafülkében elhelyezett kijelzőn megjeleníti a motor hőmérsékletét, a jár-



23 A naplózott adatok és a pálya grafikus megjelenítése a MegaControlal

mű pillanatnyi sebességét, az indulástól számított átlagsebességét és a hátralévő futamidőt.

- A pilóta által előre beállított gyorsítási végsebességnél leállítja a motort.
- GPS-koordináták segítségével a naplózott adatokat hozzárendeli a jármű pályán elfoglalt pillanatnyi helyéhez. A csapat ez alapján módosíthatja a motor beállítását a következő futamokra.

Járművezérlőnk hamarosan képes lesz a szerzőkormány érzékenységének kiterés- és sebességfüggő vezérlésére. Tervezünk egy olyan fékpadvezérlést, amelyik egy adott járműdinamika (járműtömeg, áttétel, motornyomaték) esetén önállóan beállítja a motort úgy, hogy a fajlagos fogyasztása a legkisebb legyen. Meg akarunk valósítani egy GSM-alapú összeköttetést a jármű és a boxban lévő számítógép között azzal a céllal, hogy a járműről valós időben kapott adatok alapján menet közben változtathassunk a motor beállításán.

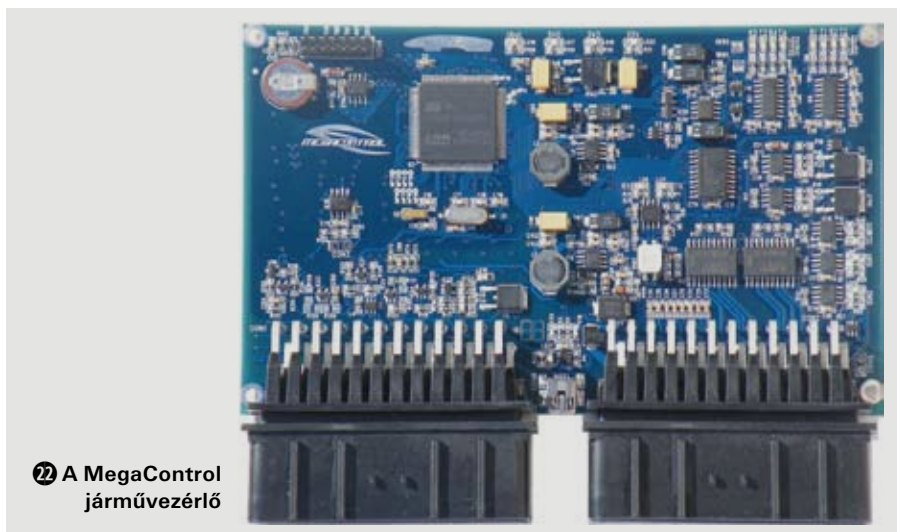
A fékpad

A versenykörülményekhez legjobban igazodó motorbeállításhoz építettünk egy görgős fékpadot, amelyben a motor áttételeken keresztül egy lendkereket hajt. Ennek tehetlenségi nyomatéka egyenértékű a jármű tehetlenségével (figyelembe véve az áttételeket), azaz a lendkerék a motort úgy terheli, mintha az a 78 kg-os össztömegű járművet gyorsítaná a pályán.

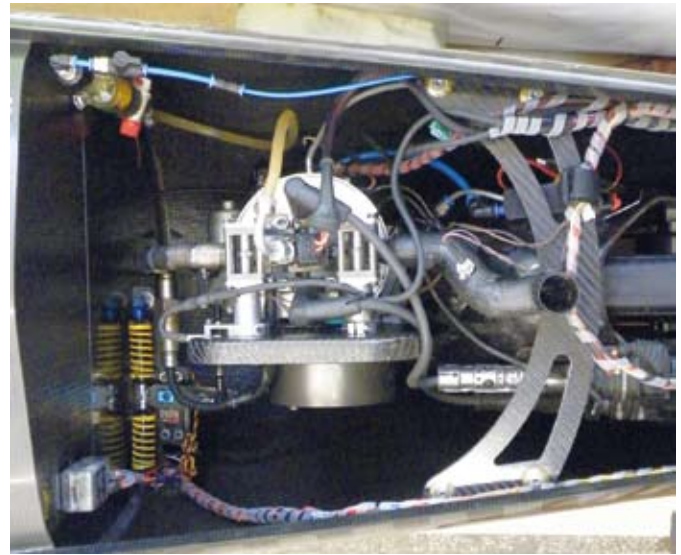
A motort egy személygépkocsi generátorával is tudjuk fékezni. A generátor árama egy ellenálláshuzalon hővé alakul. A generátor meghajtó tengelyébe beépített nyomaték-távadóval mérjük a terhelőnyomatékot.

Hatásfokmérés fékpadon

Egy energiatakarékos benzinmotornál a hatásfok a legfontosabb, ezért vázoljuk fel ennek mérését.



22 A MegaControl járművezérlő



24 Görgős fékpadon az Mm-III versenyjármű

Az n motorfordulatszám és az M nyomaték ismeretében a motor tengelyén leadott hasznos teljesítmény:

$$P = 2 \times \pi \times n \times M.$$

A benzin H fűtőértékéből, az injektor q benzinszállításából, a t_{inj} injektálási időből és az n fordulatszámából az időegység alatt felhasznált energia (egyhengeres négyütemű motor esetén):

$$Q_{bc} = \frac{1}{2} \times H \times q \times t_{inj} \times n.$$

A hatásfok a teljesítmény és az időegység alatt felhasznált energia hányadosa:

$$\eta = \frac{P}{Q_{bc}} = \frac{4 \times \pi}{H \times q} \times \frac{M}{t_{inj}}.$$

Azt kaptuk, hogy a hatásfok egyenesen arányos a főtengelyen mért forgatónyomatékkal, és fordítottan arányos az injektor nyitvatartá-

si idejével. A fenti számítást a motorvezérlő végzi. A motorbeállítást ehhez hasonló számítások alapján határozzuk meg.

A motortér

A motortér a pilótafülke mögött van, a fülkétől tűzfal választja el, amely egyúttal bukókeretként is szolgál.

A motortér zsúfolt. Itt van a benzintartály, a két gyújtótrafó, a motor, a kuplung, a lánc-hajtás, a kormánymű, a kerékfelfüggesztés és a kormányzott hátsó kerék. A motortér hátsó részében helyeztük el a motorvezérlő elektronikát, az önindító reléjét, a vészleállító elektronikát, az akkumulátort és a benzinnyomást biztosító palackot.

A pilótafülke

A zárt és szűk pilótafülkét párnázás és egy ventilátor teszi kényelmesebbé. A pilóta a

25 A motortér felülről

két burkolt első kerék között háton fekvé, lábbal előre helyezkedik el benne.

A fülke felszereltsége egyszerű. Bal kéz felől van a motorindító és leállító gomb, a gyorsítási végsebességet beállító gomb, a ventilátor szabályzó gombja és a kürtgomb, középen lent a fékpedálok, a túzóltó készülék és a friss levegő befúvónyílása, fent egy kis érintőképernyős monitor, jobbra a kormánykerék és a belső vészleállító gomb.

Médiaszereplések

2010 óta a nyomtatott sajtóban, rádióban, tv-ben és a világhálón több ezer beszámoló, interjú jelent meg a Megaméterekről. Ezek közül a Tisztelt Olvasók figyelmébe ajánlunk néhányat.

shell.com/home/content/ecomarathon/results/

fmmc.kapsi.fi/archive_e.html

murciasolarrace.com/en/content/results-srrm2012

educeco.net/spip.php?article1006

youtube.com/watch?v=ti9zxMsUUxg

youtube.com/watch?v=J1uNUv-BIDQ

greatenergychallengeblog.com/2012/05/08/hungarys-megameter-their-knowledge-is-the-fuel-of-the-future/

greatenergychallengeblog.com/2013/05/08/making-a-more-sophisticated-gasoline-engine/

greatenergychallengeblog.com/2013/05/19/hungarys-kecskemet-college-boosting-power-but-keeping-light/

hu.wikipedia.org/wiki/Megam%C3%A9ter

eco-marathon.eu/

26 A pilótafülke



GAMF CSAPAT, 2013