



Az Opel Motorsport legendái

150 *Adam*
OPEL

Opel F3 motor

2. rész

Aki azt mondja, hogy egy 1992/1993-ban történt motortuningból, ill. fejlesztésekből ma már nem lehet profitálni – mivel az egész fejlesztés túl régi –, annak felhívom a figyelmét arra az apróságra, hogy a motortuningban, ill. fejlesztésben főleg az alapokról, termodinamikáról, áramlástanról és szilárdságtanról van szó. Ezek törvényei viszont az utóbbi 20 évben nem változtak. Ami változott, a technikai szoftver fejlesztése, ill. szintje: ez sokkal jobb lett. Ha azonban valaki nincs birtokában a fenti mérnöki alaptudományoknak, akkor a legmodernebb szimulációs szoftver is csak felesleges pénzkidobás, mivel nem tudja a szimulációs szoftver eredményeit értelmezni. És éppen ez a CAE/FEM-ben is a lényeg.



A cikkünk tárgyát képező Opel F3 motor fejlesztői:

Adam Opel AG Technikai Fejlesztő Központ/Rüsselsheim, Siegfried Spiess Motorenbau GmbH/Ditzingen, TH Darmstadt (Műszaki Egyetem Darmstadt) Belső Égésű Motorok Tanszék, Batelle Institut/Frankfurt am Main.

Akkor talán „csapjunk bele” mindjárt a közepébe!

A túraautók szívómotorjai kb. 15 bar effektív középnyomás körül vannak, az F1-ben a motorok kicsivel több, mint 14 bar, itt ugyanis a teljesítmény az extrém magas fordulatszámából adódik. Az egyes motorok „használható” fordulatszám-tartománya is eltérő. Ebben a spektrumban az F3 motorok (mint fojtott szívómotorok) rendelkeznek a legkisebb „hasznos” fordulatszám-tartománnyal az effektív középnyomás viszonylatában.

Az F3 motorok fejlesztésének súlypontja nem a nagy fordulatszámok, hanem lehetőleg a nagy nyomaték, ill. az ehhez kapcsolódó nagy effektív középnyomás elérése – méghozzá közepes fordulatszám-tartományban.

Konkréten: az Opel F3 motornál 4600 min^{-1} körül van az effektív középnyomás maximuma: 16,1 bar.

A szívócső-rezonancia feltöltésével elérték az 1,06-os légfelvételi tényező értéket.

A nyomásnövekedési sebesség 3,8 bar/főtengelyfok, a szériáérték „megelégszik” a 2,7 bar/főtengelyfokértékkel.

A névleges fordulatszámon az égési csúcsnyomás közel 90 bar, ez 28%-kal nagyobb, mint a szériamotor értéke.

Az F3 motor maximális nyomatékához tartozó égési csúcsnyomás közel 100 bar, szériamotornál 70 bar. Ezek a számok tanulságos részértékei egy effektív motornak, egyúttal megvilágítják a sokak által keresett „titkot”, ami egyébként a technikában nem létezik. (Itt ugyanis mindennek megvan az oka, ami nem titok, de lehetséges, hogy nem mindenki látja a „dolgok nyitját”).

Az Opel motor volt az első 16 V, 4 hengerű, kopogásérzékelővel (Bosch) ellátott motor az F3-ban. A kopogásszenzor megakadályozza az eltérő benzinoktánszámokból eredő detonációs égés okozta motorkárosodást és kopogáshatáron tartja az előgyújtást.

Egy további – akkori – jelentős technikai megoldás volt a jellegmező-vezérlé-

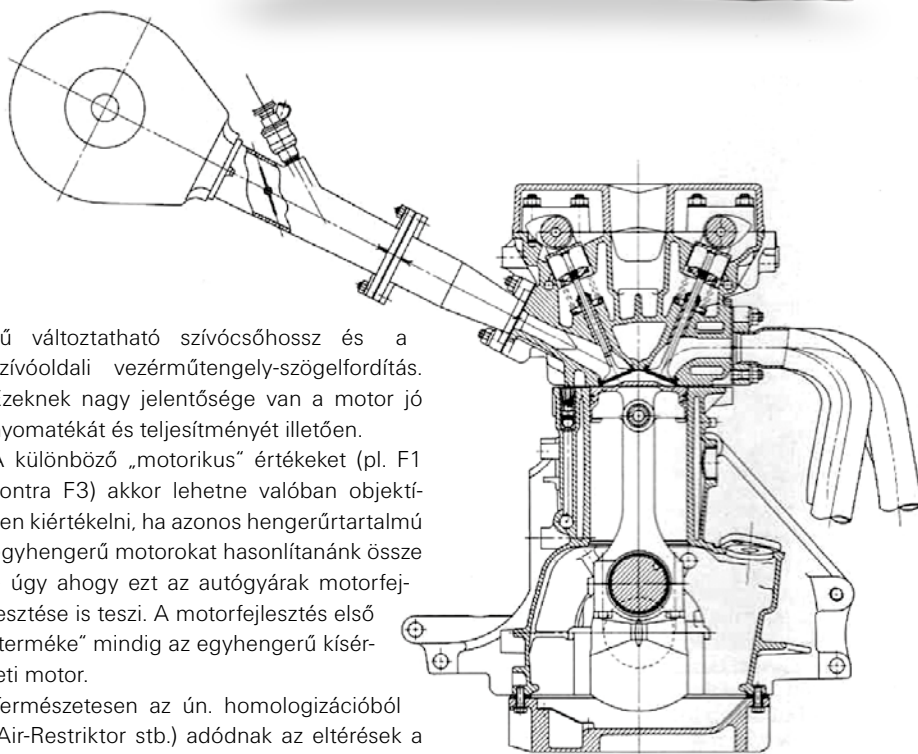
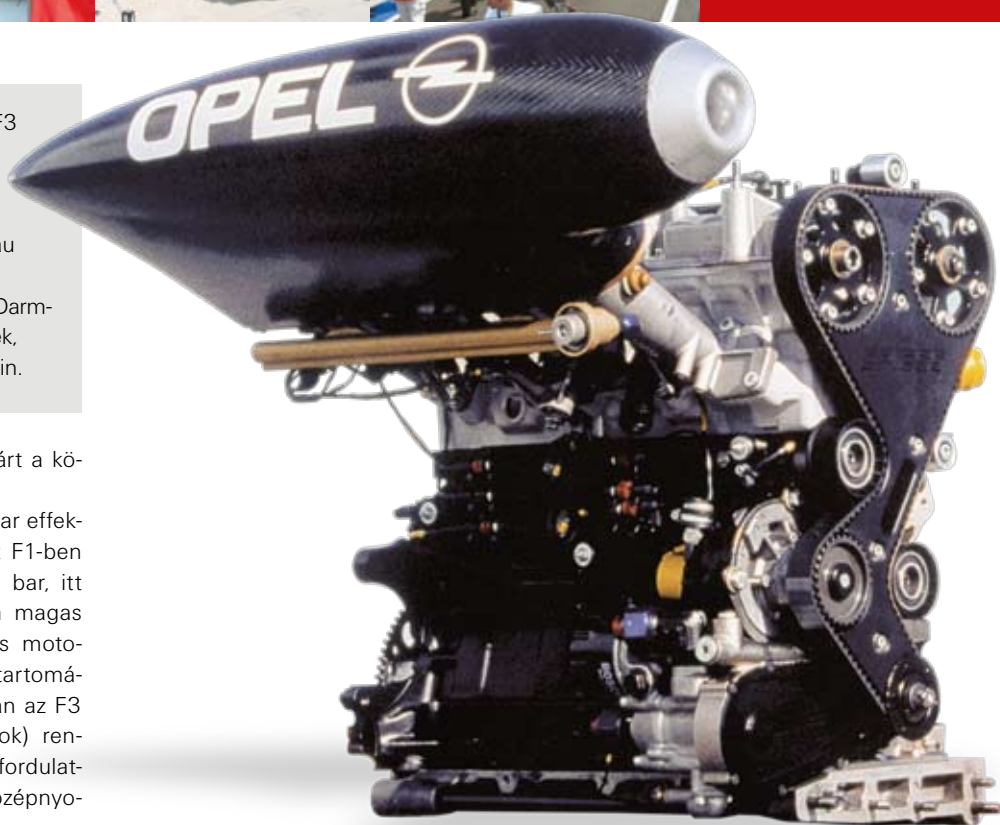
sű változtatható szívócsőhossz és a szívóoldali vezérműtengely-szögelfordítás. Ezeknek nagy jelentősége van a motor jó nyomatékát és teljesítményét illetően.

A különböző „motorikus” értékeket (pl. F1 kontra F3) akkor lehetne valóban objektíven kiértékelni, ha azonos hengerűrtartalmú egyhengerű motorokat hasonlítanánk össze – úgy ahogy ezt az autógyárak motorfejlesztése is teszi. A motorfejlesztés első „terméke” mindig az egyhengerű kísérleti motor.

Természetesen az ún. homologizációból (Air-Restriktor stb.) adódnak az eltérések a specifikus teljesítményt és a motorkarakterisztikát illetően.

A FIA F3 motorokra vonatkozó homologizáció nem teljes felsorolása:

- max. 4 henger, 2 liter hengerűrtartalom, nem 2 ütemű, nem feltöltött, de Wankel megengedett,
- az alpmotorból gyártott mennyiség min. 2500 db/12 hónapon belül (1992-ig 5000 db),



az eredeti hengerfej és motorblokk anyagából el lehet venni – de nem lehet hozzáadni, a csapágyak eredetiek, a szívórendszer változtatható, de a szívólevegőt egy fémből készült 3 mm hosszú, 24 mm kör keresztmetszetű ún. „Air-Restriktor” fojtáson keresztül kell beszívnia, – vízbefecskendezés nem megengedett, az egészszívórendszernek egy $1000 \times 500 \times 500$ mm-es kockába kell beférnie.



A motor fő adatai

| | Formula 3 | 2.0 I 4V |
|--|------------------------|------------------------|
| Lökettérfogat | 1998 cm ³ | |
| Furat | 86 mm | |
| Löket | 86 mm | |
| Löket/furat viszony | 1,0 | |
| Hengerfurat-középtávolság | 93 mm | |
| Hengermagasság | 216 mm | |
| Hajtórúd hossz | 148 mm | 143 mm |
| Forgattyúkar/hajtórúd viszony | 0,29 | 0,3 |
| Kompresszióviszony | 12,8 | 10,5 |
| Szívó-/kipufogószelep-átmérő | 33 mm / 29 mm | |
| Szeleplöket szívó-/kipufogószelep | 11,15 mm | 9,5 mm |
| Szívószelepnívítás | 33°-kal FHP előtt | 20°-kal FHP előtt |
| Szívószelepszárás | 53°-kal AHP után | 72°-kal AHP után |
| Kipufogószelep-nyitás | 58°-kal AHP előtt | 60°-kal AHP előtt |
| Kipufogószelep-zárás | 28°-kal FHP után | 32°-kal FHP után |
| Keverékképzés | Bosch Motronic | |
| Gyújtás | MS 2.2.1. | M 2,8 |
| Tüzelőanyag ólommentes | 98 RON | 95 RON |
| Névleges teljesítmény fordulatszámánál | 129 kW (175 LE) | 110 kW (150 LE) |
| Maximális forgatónyomaték fordulatszámánál | 256 Nm | 196 Nm |
| | 4600 min ⁻¹ | 4800 min ⁻¹ |

1. táblázat

- a tüzelőanyag „szabad” kereskedelemben kapható ROZ max. 104 oktán, a német bajnokságban csak ROZ 98 oktán – amit egy előírt benzinkútnál kell tankolni, katalizátor + kipufogódob előírt.

Az alapmotor Opel 2L 16V DOHC motor és az ebből fejlesztett F3 motor főbb adatainak az összehasonlítását az **1. táblázat** mutatja. Ismert, hogy a motor teljesítménye arányos a hengerbe időegység alatt beáramló levegő és az ehhez hozzáadott tüzelőanyag mennyiségével. A fojtás (Air-Restriktor) a motorból kihozható teljesítményt ugyan csökkenti, de a motor élettartamát növeli. Ez fontos tényező, mert máskülönben túl sokba kerülne az F3 motorsport és emiatt sokan nem bírnák megfizetni.

Az Air-Restriktorhoz kapcsolódó Laval-fúvóka a motor levegőellátásának lényegi eleme, de áramlástanban „rejtelmibe” most ne men-

jünk bele, egy rendes „körüljárás” csak egy külön cikkbe férne bele.

A szívómotor – így esetünkben a fojtott F3 motor – effektív középnyomása fordulat-szám függvényében, a felső tartományban egyre csökken. Nekünk azonban most fontosabb megtudni, hogy főképpen „honnan jön” a motorteljesítmény?

Mikor ezt a kérdést egy neves motorfejlesztő mérnöknek feltették, akkor röviden csak ezt válaszolta: „mindig a fejből”. Ezt persze mi is tudtuk. Lehet a főtenge/ blokk egy fontos alkatrész, de a lényeg elsősorban mégis a hengerfejben van: a vezérlés, csatornák, gázcsere, feltöltés, szelepek miatt.

Itt csak röviden: az „alapos”, klasszikus, korrekt tuning minden alkatrészre kiterjedt (extrém esetben korábban, még a csavarok is át vannak fúrva, ha másképp nem menne...) és kezdődik a főtenge/fekvőcsapágyak „egy tengelybe” fú-

rásával / mérésével. Ez a mai technológia idején, már csak nosztalgikus régi dologgá vált.

A dolog „hogyanját”, a főegységek változtatását nézzük meg közelebbről.

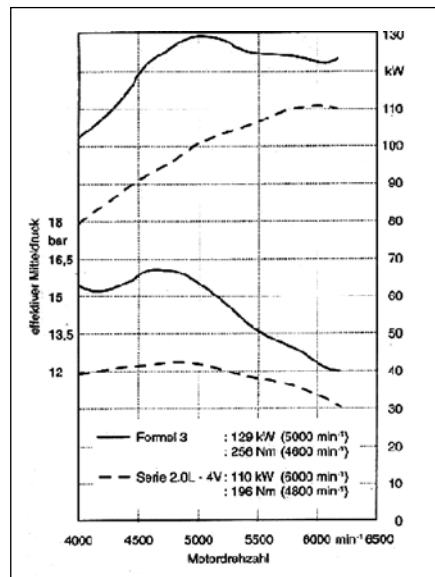
Természetesen a motor egyes alkatrészeinek a tömegét, tehetetlenségi nyomatékát, a speciális igénybevétel függvényében ahol csak lehet, csökkentették (optimalizálták). Az F3 motor össztömege 96 kg, kb. 34 kg-mal lett könnyebb, mint a szériamotor.

Az alapmotor az ismert Opel Astra GSI 16V / DOHC (ill. Calibra, Vectra – 16V) motor. Furat x löket: 86x86mm – „négyzetes” motor. A motor maximális effektív hatásfoka 37%, ez az érték akkor, 1988-ban a legjobb volt kategóriájában.

A motort természetesen állandóan továbbfejlesztették. A főbb változtatások az egyes komponensek szerint.

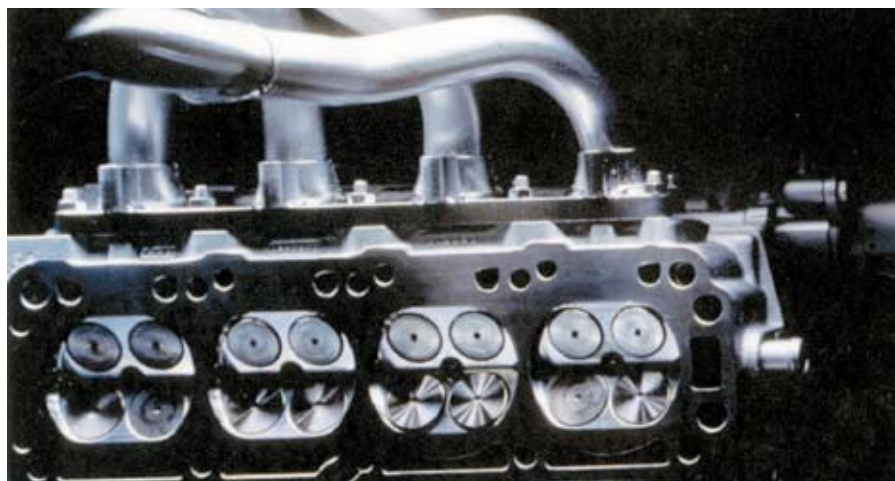
Hengerfej

A csatornák, az égéstér és a szeleplülés „Fließbank”-on, a csatorna-keresztmetszet formáját illetően optimalizált, majd polírozott, a szeleplülés réz-berillium ötvözet a jobb hőelvezetés miatt. A négy égéstér térfogata szigorúan azonos (az azonos



Az F3 motor és a szériamotor effektív középnyomása





Fogazotszj-hajtású vezérműtengely

Összességében ez az alapos „klasszikus” hengerfejtuning. Mint ez ilyenkor szokott, itt is a részletekben van a lényeg. Például látható, hogy a vezérmű fogazott szíjjal hajtott kerekét szögben kell állítani a szelepnitász pontos mikrométerrel való beállítása miatt. Természetesen a kipufogó leömlő, illetve a szívócső „átfedések nélküli” 100%-os illesztése a hengerfejhez. De ez csak az, amit mi is láthatunk, sokkal érdekesebb lenne az eredeti és a megváltoztatott szívó- és kipufogócsatorna keresztmetszeti szelvényeinek összehasonlítása. Ilyenkor lehet látni az egyes keresztmetszetekben és az egész „csőben” a gázáramlást és a nyomásváltozást is. Ez azonban az a dolog, amiből a tuningmester „él” és ezt nem mutatja meg.



Blokk

A szériablokkot – ahol a feszültség és a szilárdság is megengedte – „lefartagták”, optimalizálták az F3 motorban (bordák, felöntések, egyenletlenségek). Ezáltal az eredeti tömeg 38,2 kg-ról 36 kg-ra csökkent. Ahol lehetett, a blokkon, a hengerfejtömítésen és a hengerfejen további vízjratokat, furatokat készítettek az időegységre eső nagyobb tömegű vízáramlás, hőcsere miatt.

A blokk hólólasa 3 mikrométer alatti.

Lendítőkerék

A széria lendítőkerék 6,96 kg-ról 2,43 kg-ra csökkent és az átmérője is ezáltal kisebb lett. Az eredeti 0,126 kgm² tömegtehetetlenség 0,012-re csökkent – ez kb. 90% körüli érték. Azt persze ilyenkor nem szabad megkérdezni, hogy van-e és mennyi az „alapjáratí” fordulatszám. A motorblokk felőli oldalán van a lendítőkeréken a forgattyús tengely szögjeladó szenzora.

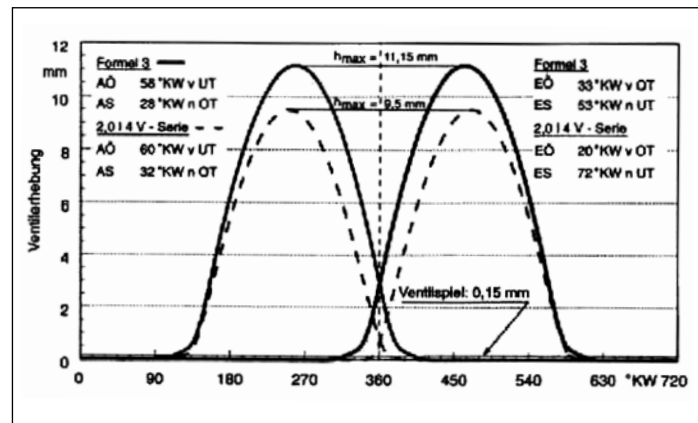
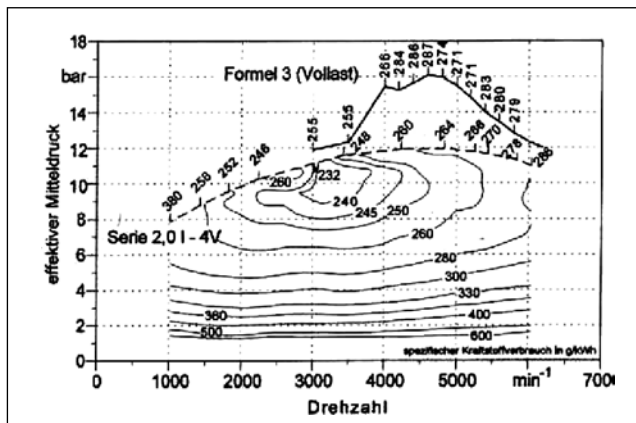
Főtengely

A főtengely tömegét tekintve a legnagyobb forgó alkatrész, extrém mértékben lekönnyí-

Az F3-nál a szeleptekli többfunkciós integrált alkatrészé változott

végnyomás elérése miatt), a szelepvezető 6 mm lett (eredetileg 7 mm volt), a mechanikus szelephézag-kiegyenlítés a hidraulikus „stöszi” helyett (súlycsökkentés), a szelepek szöge 46 fok, relatív kis keresztmetszetű szívó- és kipufogócsatornák. Ez kedvező a tuning szempontjából, mivel az előírás szerint anyagot a hengerfejből el lehet venni, de nem lehet hozzáadni.

A vezérműtengely-alapkör átmérője 34 mm-ről 30 mm-re redukált, nagyobb szelepegybenítések, dupla szeleprugók, a szelepvezérlés alkatrészei felületi nyomásra optimalizáltak, a vezérlés „időkeresztmetszete” alában jó volt, ezért nem változtatták, ugyanezen okok miatt a szeleptányér-átmérő is maradt az eredeti méreten.





A mai F3-ról

FIA F3 versenyszéria (világ) és F3 Euroserie, valamint vannak nemzeti versenysorozatok, ide tartozik a német ATS F3 Cup, az angol, ausztrál, olasz, japán stb. F3 is. Az Opel mind-évideig folyamatosan jelen van az F3-ban.

Felsorolunk néhány Opel F3 sikert az elmúlt évekből:

| | |
|-------------|--|
| 2003 | Brazília, João Paulo de Oliveira Dallara F302 Opel-Spiess JB Motorsport, |
| 2004 | Németország, Bastian Kolmsee Dallara F302 Opel-Spiess HS Technik Motorsport, |
| 2005 | Németország, Peter Elkmann Dallara F304 Opel-Spiess Jo Zeller Racing, |
| 2006 | Kína Ho-Pin Tung Lola B06/30 Opel JB Motorsport |

Az ATS Formula 3 Kupa versenysorozatba épített Opel-Familie I Opel F3 Spiess motor adatai:

| | |
|------------------------------|---|
| Motorgyártó: | Opel |
| Tuningműhely: | Siegfried Spiess Motorenbau GmbH, Dieselstraße 11, D-71254 Ditzingen |
| Motor: | soros, 4 hengerű, keresztáramú hengerfejű, 16 szelep, két felülfekvő vezértengely |
| Furat: | 83 mm |
| Löket: | 92,3 mm |
| Hengerűrtartalom: | 1997 cm ³ |
| Sűrítési viszony: | 12,8:1 |
| Teljesítmény: | kb. 154 kW/210 PS 6000 min ⁻¹ |
| Max. nyomaték: | kb. 270 Nm / 5200 min ⁻¹ |
| Motormenedzsment: | Bosch befecskendezés (MS 3.1) |
| Szívófojtás: | Ø26 mm (1992/1993: 24 mm kör keresztmetszetű, ún. „Air-Restriktor”) |
| Kipufogó: | háromutas katalizátor |
| Kenés: | szárazteknős |
| Gyújtás: | Bosch |
| Adatfeldolgozás: | Bosch DARAB |
| A motor tüzelőanyaga: | 98 RON „D”-ben, ill. 104 RON Aviation Gasoline (100LL, MON 100) international. |

tették. Az eredeti 15,03 kg-ról 10,8 kg-ra. Ezt a jelentős tömegcsökkentést főleg a 4 ellensúly redukálásával érték el. Az eredeti 0,027 kgm² tömegtehetetlenség 0,011-re csökkent – ez kb. 60% körüli érték.

A fekvőcsapágy maradt az 58 mm értéken, a hajtórúdcsapágy 49 mm-en. A főtengely az Opel-Motorenwerk Kaiserslauternben készült. Ezt és a fenti tömegtehetetlenségi/tömeg értékeket látva már megérthető, hogy egy ilyen motor a gázadáskor „rögtön ott van”.

Hajtórúd

A széria öntött hajtórudakat 0,623 kg/143 mm (hossz) az F3 motorban helyettesíti a nagyszilárdságú acélból kovácsolt 0,482 kg, 148 mm hosszú tuningalkatrész. A hajtórúdcsapágy 49 mm maradt, de a dugattyúcsap-átmérő az eredeti 21 mm-ről 18 mm-re csökkent. Itt tehát a 18 mm-es elbírja a kiszámított feszültséget, de a kisebb csap-átmérővel az oszcilláló tömegek csökkentek. A csap súrlódása is csökkent a kisebb átmé-

rő/palástfelület miatt. A tuning hajtórudat a Pankl Präzisionstechnik GmbH, Ausztria készítette.

Dugattyú

A széria 3 gyűrűs dugattyút (0,327 kg) egy 2 gyűrűs 0,255 kg tuningalkatrész helyettesíti az F3 motorban. A tuning dugattyúcsap 0,056 kg. A dugattyú magasabb lett a 12,8-as geometriai kompresszióviszony eléréséhez.

A kompressziógyűrű 1,5 mm, az olajlehzúzó gyűrű 3,0 mm magas.

Kipufogórendszer

A széria erősen ötvöztött acél csőkonstrukciót („4 a 2-be és ezek után 2 az 1-be”) az F3 motornál a „4 az 1-be” helyettesíti. A leömlő végén van a lambda-szonda és egy hőmérsékletmérő szenzor.

A kipufogódob eléri az ONS által megkövetelt 106 dB(A) 4000-es fordulaton. A rendszer rendelkezik még egy fém versenykatalizátorral. A kipufogórendszer is optimalizált a definiált gázlengésekre és a minimális kipufogógáz-ellennyomásra.

Végezetül, hogy érzékeljük mit jelent az Opel F3 motor nagyon korrekt nyomatéka, egy rövid történet a magas specifikus teljesítményről alacsony nyomatékkal párosítva. A Suzuki RP 68-as 50ccm-es versenymotorról van szó. Ez egy 3 hengerű, kétütemű, szívó, versenymotor, 395 LE/Liter, (!) 19 000 1/min-en specifikus teljesítménnyel. (ebből: P=19,75 LE) Ez a világon 2008-ig egyedülálló teljesítmény. Furat x löket: 28 x 26,5 mm (ebből: 1 henger űrtartalma:16,30 ccm), 14 fokozatú (!) váltóval. Hans-Georg Anscheidt, a tapasztalt Suzuki gyári versenyző az első tesztek után csak ennyit mondott:” 14 fokozat túl kevés, min. 18, de inkább 19 kéne!” (Quelle: W.Gruber, Oldtimer Markt 2008/1)

PONYICZKY LÁSZLÓ

Internet források:

- <http://data.motor-talk.de/data/galleries/0/74/6710/41276871/f3-rennmotor-3421611607126138050.jpg>
- http://www.formel3.de/symbolfotos/Technik/Opel_Spiess_Motor.jpg?PHPSESSID=b9d555ca
- <http://www.formel3.de/orga-symbolfotos.php?dir=Technik&dn=Technik&PHPSESSID=b9d555ca>
- <http://www.hobbies-motorsport.de>
- http://de.wikipedia.org/wiki/Formel_3
- <http://www.formel3.de/technik-motor-opel1.php?PHPSESSID=ea5218c1df5d3d460928d45f883ccc8c>
- http://www.spiess-motorenbau.de/projekt_f3_opel.php
- http://de.wikipedia.org/wiki/Deutscher_Formel-3-Cup

Ajánlott források:

- [1] Hack, G.; F. Indra: Mehrventilmotoren, Motorbuch-Verlag Stuttgart
- [2] Indra, F.; M. Thon: Der 3,0-l-Opel- Rennmotor für die internationale Deutsche Tourenwagenmeisterschaft. MTZ 1991/9
- [3] Hack, G. und F. Indra: Formel-I-Motoren. Motorbuch-Verlag Stuttgart, 2. Auflage
- [4] Indra, F.; I. Janthur: Der Opel Calibra Turbo. ATZ 1991/9
- [5] FIA Handbuch 1992. Edition V.M. 25. Auflage
- [6] Schwärzei, W., O. Willenbockel; E. Zickwolff: Der neue Zweiliter-Vierventilmotor von Opel. MTZ 1988/4
- [7] Hohenberg, G.; Ch. Schmidt: Auslegung und instationäre Motorabstimmung eines Formel-3-Rennmotors auf dem Prüfstand. 11. Wiener Motorensymposium 1990, VDI-Verlag Düsseldorf
- [8] Handbuch der ONS (Oberste Nationale Sportkommission 1993), Reglement der deutschen Formel-3-Meisterschaft 1993, Art. 275 des Anhang J zum Internationalen Automobil-Sportgesetz (IASG) der FIA
- [9] Prof. Dr. techn. F. Indra; Dipl.-Ing U. Grebe: Der Opel Formel 3 Rennmotor – Entwicklung zu höchsten Mitteldrücken, 4. Aachener Kolloquium Fahrzeug und Motorentechnik 1993.
- [10] Lengert, Muche, Königshausen, Weber: Opel Motorsport mit Tradition, Heel Verlag GmbH, 2002.