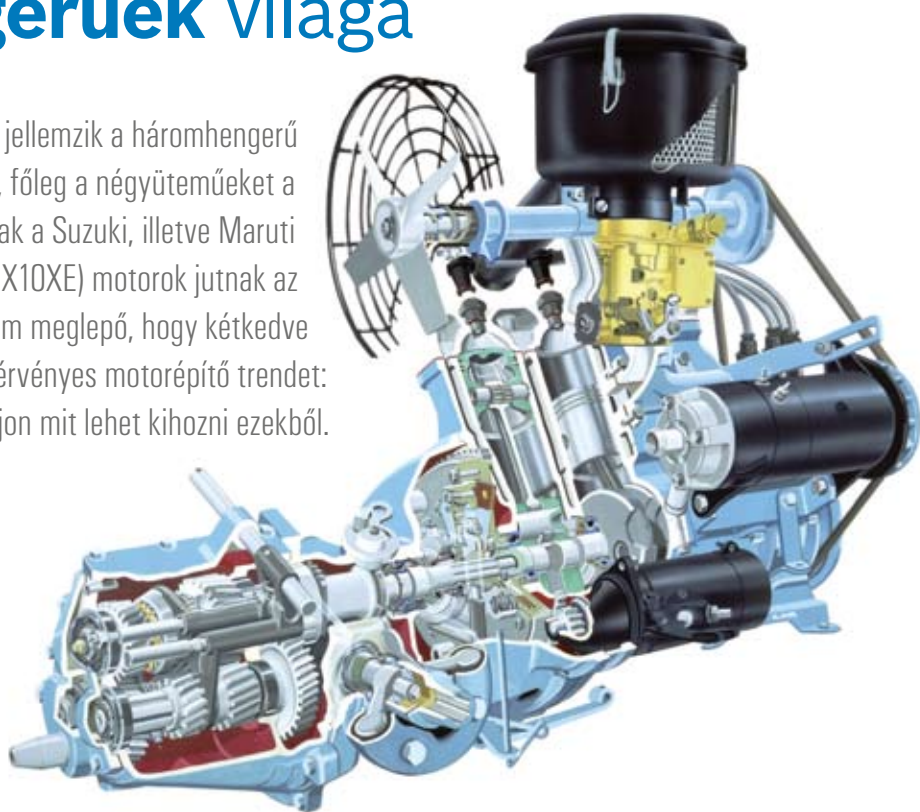


A háromhengerűek világa

Leginkább előítéletek jellemzik a háromhengerű motorok megítélését, főleg a négyüteműeket a köztudatban. Sokaknak a Suzuki, illetve Maruti vagy Opel Corsa (X10XE) motorok jutnak az eszükbe, és emiatt nem meglepő, hogy kétkedve fogadják a manapság érvényes motorépítő trendet: vajon mit lehet kihozni ezekből.



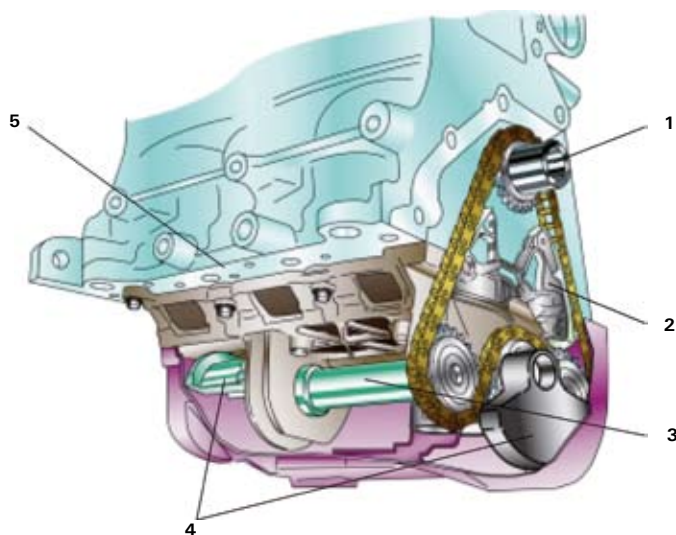
Napjainkban a háromhengerű motorokat egyre több gyártó alkalmazza, a VW benzines és dízelmotorja mellett most a Ford 1,0 liter lökettérfogatú került a rivaldafénybe, mivel megkapta az idei „Nemzetközi Év Motorja Díjat”. Erről előző számunkban részletes beszámolót közzeltünk. Megkezdte a PSA is a gyártásukat. A háromhenge-

rűek előretörése annak köszönhető, hogy hátrányai kiküszöbölhetők és közben olyan előnyöket tud felsorakoztatni a többhengerűekkel szemben, mint a kisebb tömeg- és helyigény, a kisebb súrlódási veszteség, a kisebb gyártási költségek, valamint az ezekből fakadó kedvezőbb tüzelőanyag-fogyasztás és károsanyag-kibocsátás. Ők lehetnek

a „downsizing” nyertesei. Nézzük meg fejlődéstörténetüket, amíg eljutottak a mai szintre, és mutassuk be a ma és jövőben alkalmazható technológiai sajátosságukat.

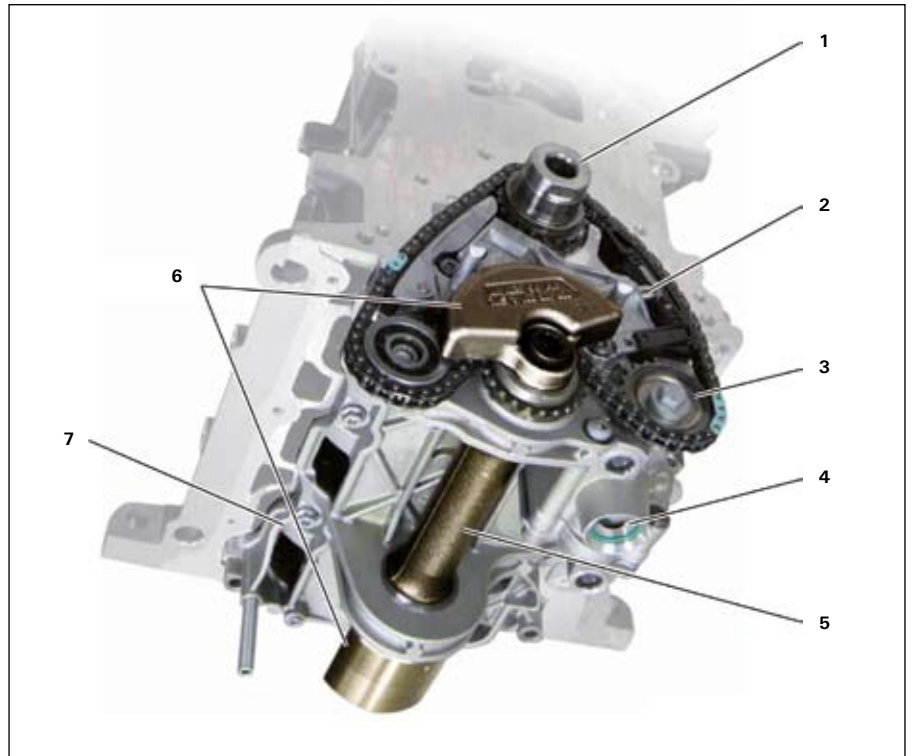
A történet egészen az 1950-es évekig nyúlik vissza

A II. világháború alatt nagy fejlődés történt a járműiparban, amit a '40-es évek végén és az '50-es években a polgári járművekben is alkalmaztak. Két irányzat indult el. Az egyik főleg az Egyesült Államokra volt jellemző, de Európában és Oroszországban is elterjedt a nagyobb tömegű autókban: a lényege az volt, hogy lehetőleg nagy motort tegyenek a járművekbe a kellő dinamika eléréséhez. A V8-asok mellett gyakoriak voltak a V12-es motorok is. A másik irányzat viszont arra irányult, hogy a kisemberek számára eladható, olcsó, könnyű felépítésű járműveket gyártsanak. A funkció volt elsődleges, nem pedig a kényelem. Ahhoz, hogy javítsák a dinamikát, átvették a motorkerékpároknál is alkalmazott kétütemű-technológiát. Így történt, hogy az '50-es években megjelenő háromhengerűek kétüteműek voltak. Ezeket a Saab 93/95/96-ban és egyes DKW modellekben alkalmazták, majd a Wartburg és az FSO Syrena is átvette a későbbiekben.



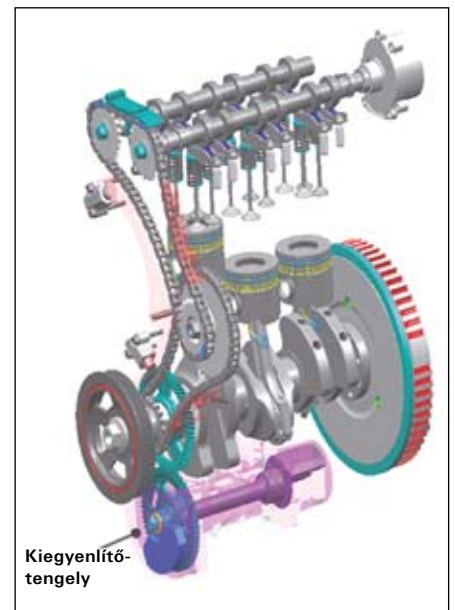
1. ábra: a VW első generációs háromhengerű dízelmotorja, az 1,4 TDI (1 – forgattyústengely, 2 – hidraulikus láncfeszítő, 3 – kiegyenlítőtengely, 4 – létraváz, 5 – ellensúlyok)

1977-ig kellett várni az első négyütemű háromhengerű motorra, ugyanis ekkor jelent meg a Daihatsu Charade a 993 cm³ lökettérfogatú CB20 jelű 37 kW teljesítményű motorral. A Daihatsu sok tekintetben úttörő volt a háromhengerű motorok terén, hiszen már az első motorjukat is ellátták kiegyenlítőtengellyel a finomabb járás érdekében. A '80-as években továbbfejlesztették ezt a motort, közben készítették egy 843 cm³-ű verziót is, amely alkalmas volt kis oktánszámú benzinnel is üzemelni, és készítették olyan verziót, ami etanolüzemű volt. A második generációs Charade-nak (G11) már kapható volt az 1,0 literű motorja: szívóbenzin, turbóbenzin, szívódízel és turbódízel változatban is kapható volt. Készült egy 926 cm³-ű turbóbenzin verzió is a DeTomaso céggel (amely híres volt középmotoros sportautóiról), ami a B-csoportos ralin indult volna az 1600 cm³ alatti kategóriában (azért kellett levinni a lökettérfogatot, hogy az 1,7-es szorzó ellenére – ami a turbóért jár – se kelljen az 1600–2000 cm³ kategóriában versenyezniük). A B-csoportos rali betiltásával az A csoportban kellett volna versenyezniük, aminek feltétele volt, hogy 5000 középmotoros Charade-ot kell gyártaniuk, ezért leállították a projektet. A 120 lóerős motornak egy visszafogottabb utóda található a következő generációs Charade-okban 101 lóerő teljesítmény-



3. ábra: a VW mai napig használt 1,2 TDI motorja (1 – forgattyústengely, 2 – hidraulikus láncfeszítő, 3 – olajszivattyú hajtása, 4 – olajszivattyú, 5 – kiegyenlítőtengely, 6 – ellensúlyok, 7 – létraváz)

nyel. A Daihatsual majdnem egy időben kezdődött egy másik japán cég háromhengerű motorjainak gyártása. 1979-ben mutatták be Suzuki F5A jelű motorját, amelyet az Altóba és a Frontéba építettek. 543 cm³ lökettérfogatával ez a motor az eddig épített legkisebb négyütemű, háromhengerű motor. Utódja a Maruti 800-ban is megtalálható 796 cm³ lökettérfogatú motor, amelynek legendásan gyorsan elkoptak hajtórúdcsapágyai. A Daewoo Tico és Matiz is kapható volt ilyen lökettérfogatú S-TEC benzinmotorokkal. Az első generációs Suzuki Swift már 1,0 liter lökettérfogatú háromhengerű motort kapott a négyhengerűek mellé. Külön érdekességgé megjegyzendő az 1984-es Alfa Romeo 33-ba épített 1,8 literű háromhengerű turbódízel motor, ami a járművekben alkalmazott legnagyobb lökettérfogatú háromhengerű motor. Általánosságban viszont elmondható, hogy 1,2–1,4 liter lökettérfogat alatt alkalmazzák a háromhengerűeket.

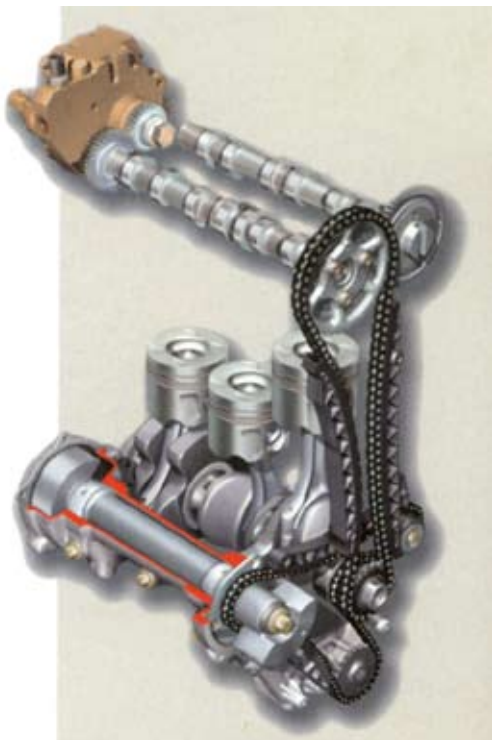


4. ábra: a Kia 1,1 CRDI motorja

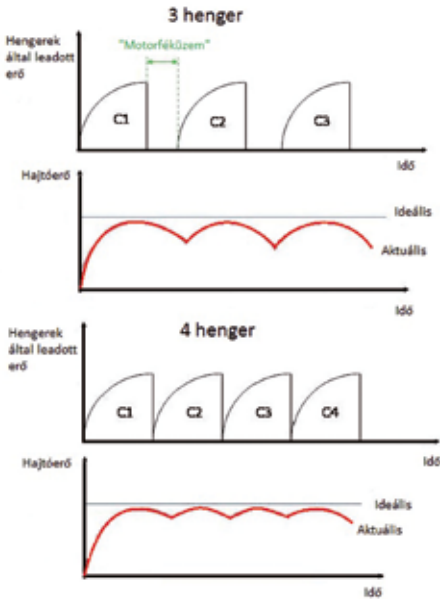
Az ezredforduló után

A 2000-es évek közepe újabb lökést adott a hanyatlóban lévő sorhármásoknak. A technológia fejlődése és a károsanyag-kibocsátási normák nagymértékű szigorítása, a „downsi-

zing” folyamata és a dráguló tüzelőanyagárak vezettek ahhoz, hogy az európai gyártók, köztük is főleg a VW, belekezdjenek a háromhengerűek fejlesztésébe. 2002-ben debütált a 1,2 liter lökettérfogatú szívómotor 6 és 12 szelepű verzióban is. Nem számított sikeres



2. ábra: a Mercedes háromhengerű, 1,5 liter lökettérfogatú dízelmotorja



5. ábra: a háromhengerűek nagyobb szögsebesség-ingadozásának oka

konstrukciónak, a következő generációs Polóba már nem is építették. Megjelent viszont az 1,4 literű TDI motor (1. ábra) a Lupóhoz, Polóhoz és A2-höz. Ennek kisebbik verziója, az 1,2 literű TDI a Lupo 3L-ben debütált és nagyon jó tüzelőanyag-fogyasztási tulajdonságokkal rendelkezett. A Mercedes is fejleszt-

tett 3 hengerű erőforrást a Smart ForTWOba (2. ábra), melyet a Mitsubishi is felhasznált a Coltban. A Honda egy 1,0 literű 3 hengerű belső égésű motort használt az első generációs Insightban egy kis teljesítményű elektromos motorral együtt. Ezek csak azok a motorok, melyeket piacra dobtak az előző évtizedben, viszont nagyon sok fejlesztés történt, melynek gyümölcse csak most érik be.

A jelen és a közeljövő

Mára már alig akad olyan autógyártó, aki nem mutatta be háromhengerűjét vagy nem harangoztatta be annak piacra dobását.

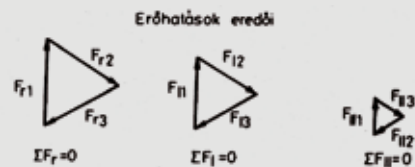
A Volkswagen nemrég mutatta be az 1,0 literű szívócső-befecskendezéses benzinmotorjait és CNG üzemű motorját, melyet az Up-ba szerelnek. A benzinmotorok 44 és 55 kW teljesítményű verziókban érhetőek el, a CNG üzemű motor pedig 50 kW leadására képes. A legújabb háromhengerű konstrukciókhoz hasonlóan nincs kiegyenlítőtengelye, és gondosan ügyeltek a kompaktságra és egyszerűsége. Ez abban jelentkezik, hogy csak a szívószelep-vezérműtengely állítható, integrált a leömlő, nem alkalmaznak feltöltést, a könnyűépítés miatt pedig az egész motor alumíniumból készül.

A Ford 1,0 EcoBoost motorját már nem kell bemutatni olvasóinknak, hiszen az előző számban minden részletét elemeztük. Nagyon hasonlít a Ford konstrukciójához a Renault TCE 90 jelzésű motorja, amely 900 cm³ lökettér-



6. ábra: tömeg-aszimmetrikus lendkerék alkalmazása az alternáló erők vízszintesebbé fordításához

A motorban található alkatrészek mozgását két részre bonthatjuk fel mozgásuk szerint. Vannak forgó mozgást végző részek: a hajtórúd egy része, forgattyúcsap, forgattyúkar, ellensúly. Alternáló mozgást végző részek: dugattyú, dugattyúgyűrűk, dugattyúcsapszeg, a hajtórúd egy része. Mivel a hajtórúd összetett mozgást (egyben lengőmozgást) végez, ezért tömegszétbontásra van szükség a számítások elvégzéséhez. A forgó tömegelő: $F_r = m_b \cdot a_r = m_b \cdot r \cdot \omega^2$, alternáló tömegelő: $F_a = m_A \cdot a = m_A \cdot r \cdot \omega^2 \cdot (\cos\varphi + \lambda \cos 2\varphi - \dots)$. A tömegelő több rendre felbontható: $F_a = F_I + F_{II} + F_{IV} + F_{VI} + \dots$. 1. rendű erő: $F_I = m_A \cdot r \cdot \omega^2 \cos\varphi = F_I \cdot \cos(\omega t)$, 2. rendű erő: $F_{II} = m_A \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \lambda \cos 2\varphi = F_2 \cdot \cos(2\omega t)$, 4. rendű erő: $F_{IV} = -\frac{1}{4} m_A \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \lambda^3 \cos 4\varphi = F_4 \cdot \cos(4\omega t)$, 6. rendű erő: Ezek az erők úgy tekinthetők, mint az alábbi amplitúdókkal, különböző frekvenciákkal forgó erővektorok: $F_I = m_A \cdot r \cdot \omega^2$, $F_2 = \lambda \cdot F_I$, $F_4 = -\frac{1}{4} \lambda^3 \cdot F_I$, $F_6 = \frac{1}{14} \lambda^5 \cdot F_I$. A rendszám a har-

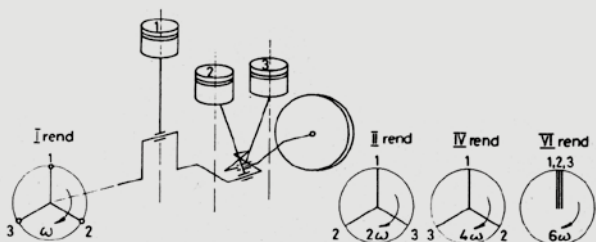


2. ábra: az erővektorok

monikus vetítő szögsebesség és a motor szögsebességének hányadosa. A tömegelőt vele ellentétes irányban ható erővel, vagyis forgó ellensúllyal lehet hatástalanítani. Mivel ezek a tömegek a motor fordulatszámával forognak, ezért az elsőrendű tömegelőkre vannak hatással. Ahhoz, hogy másodrendben is lehessen kiegyenlíteni, kétszeres fordulattal egymással szembe forgó tengelyeken elhelyezett ellensúlyok szükségesek. Ezt hívják Lanchester-módszernek.

Egy motort akkor tekintünk kiegyensúlyozottnak, ha a forgó, az első- és másodrendű alternáló erők és azok nyomatókainak eredője zérus értékűek. Azokat a nyomatókat, amelyek nem egyenlítődnek ki, szabad nyomatóknak nevezzük. Ezek között megkülönböztetünk:

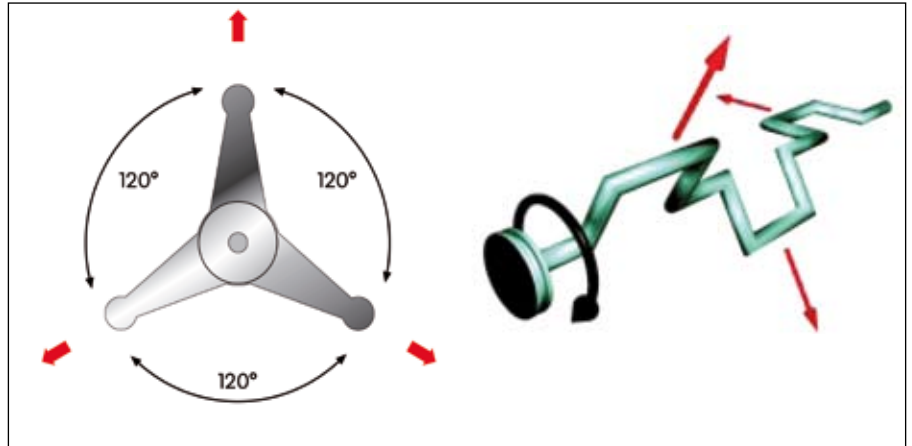
- hosszirányú nyomatókat a keresztirányú erőből (forgó tömegelő),
- elsőrendű billenőnyomatókat (forgó és elsőrendű alternáló tömegelőkből),
- hossz-billenőnyomatókat a forgó tömegelő nyomatókából,
- másodrendű billenőnyomatókat a másodrendű alternáló tömegelőkből.



1. ábra: a 120°-os főtengely-elékelésű háromhengerű motorok forgattyúcsillagai hatodrendig

fogatú, 66 kW teljesítményű, 135 Nm leadására képes és 25%-os fogyasztáscsökkenést várnak tőle az előző modellhez képest. Legfontosabb tulajdonságai: nagy tumble áramlás a jó keveredés érdekében, szabályozható olajszivattyú (a Fordhoz hasonló rendszer), a középsíkból eltolt főtengely, fékezési energia visszanyerés, stop-start rendszer, 2 körös hűtőfolyadék-rendszer, változtatható szívószelep-vezérlés és fogaslánchajtású vezérlés. A motor az új Clióhoz rendelhető.

A másik nagy francia gyártó, a PSA 1,0 és 1,2 VTi benzinmotorjai először a 208-ban érhetők el 50, illetve 60 kW teljesítményű változatban. Nem közvetlen befecskendezést használnak, viszont a többi tekintetben a motor beleillik az előbb említett turbósok csoportjába. A Mahle cég leginkább mint gyári beszállító él a köztudatban, pedig nem elhanyagolható motorfejlesztő tevékenységet folytatnak és 2011-ben bemutattak egy 1,2 literű háromhengerű benzinmotort, ami 108 kW és 240 Nm leadására képes. 2013-tól lesz elérhető a BMW új hibrid sportkocsija, az i8, amelynek hátsó kerekeit egy 1,5 literű háromhengerű 164 kW-os TwinPower Turbo benzinmotor hajtja, elől pedig 2 elektromos motor található. A BMW-nél arra a következtetésre jutottak, hogy kb. 500 cm³ lökettérfogatú hengerekkel lehet optimális



7. ábra: 120°-os forgattyústengely-elékelés

égésteret kialakítani, ezért lesz a sorhármakus 1,5 literű, a négyhengeres motorjaik 2,0 literű, a hathengeresek pedig 3,0 literűek. Az új háromhengerűt a későbbiekben lehet, hogy felhasználják más modellekben is. Azonban nem csak benzinmotorokat fejlesztenek három hengerrel. A VW folytatta az 1,2 TDI (3. ábra) fejlesztését és még mindig rendelhető vele a Polo. A Kia az 1,1 literű CRDI motorral (4. ábra) lépett be a háromhengerűek piacára, és a Mazda is egy hasonló lökettérfogatú háromhengerű dízellel állt elő. Összességében elmondható, hogy

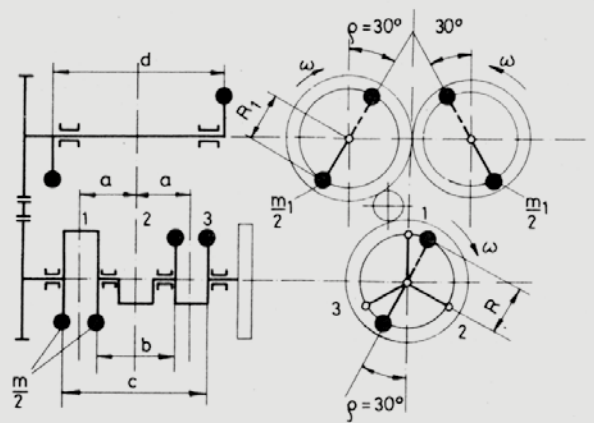
a benzinmotorok körében elterjedtebb, de a későbbiekben valószínűleg a dízelek körében is teret nyernek a sorhármakusok. Mivel nagyon sok tévhit kering a háromhengerűekkel kapcsolatban, ezért igyekeztünk összegyűjteni minden információt arról, hogy miért terjedtek el, és milyen negatív tulajdonságaik vannak.

Fogyasztás és kibocsátás

Napjainkban az elsődleges cél a CO₂-kibocsátás csökkentése, melynek eléréséhez a

Vannak olyan megállapítások, melyek általános érvényűek: hossz-szimmetrikus forgattyústengelyek minden rendben nyomtékmentesek. Nem hossz-szimmetrikus tengelyeknél (4 ütem mellett páratlan hengorszám esetén) elsőrendű tömegerekből nyomtékrok lépnek fel, melyek ellensúlyokkal csak részben egyensúlyozhatók ki, ezért kiegyenlítőtengely szükséges. Centrálisan szimmetrikus elsőrendű forgattyúcsillagú tengelyeknél forgattyúeltolásból nem származik első rendben sem szabad erő, sem szabad nyomték. Centrálisan szimmetrikus, 180°-os elékelésű tengely első rendben erő- és nyomtékmentes.

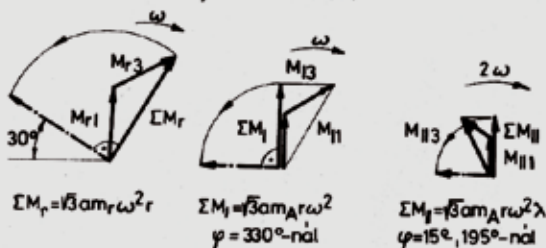
Most nézzük meg kifejezetten a sorhármakus tömegkiegyenlítését. Az első teendő a forgattyúcsillag felrajzolása 6. rendig (1. ábra). A forgattyúcsillag alapján lehet felrajzolni az erőhatások vektorábráit (2. ábra). Jól látható, hogy szabad tömegereők csak hatodrendben ébrednek. A nyomtékrok viszont már első rendben sem



4. ábra: az elsőrendű nyomtékrok eltüntetésének leghatásosabb módszere, egymással szemben forgó segédtengelypár

egyenlítődnek ki. Ezek a billentőnyomtékrok forgó és alternáló tömegerekből keletkeznek (3. ábra). A forgó tömegereők billentőnyomtékai a forgattyústengelyen elhelyezett ellensúlyokkal kiegyensúlyozhatók. Az ellensúlytömegek felékelése 30°. Az alternáló elsőrendű tömegereők billentőnyomtékát – mivel nagysága az aktuális főtengelyhelyzet függvényében változik – tökéletesen csak segédtengelypárral lehet kiegyenlíteni (4. ábra). A segédtengelypáron az ellensúlyok felékelése szintén 30°.

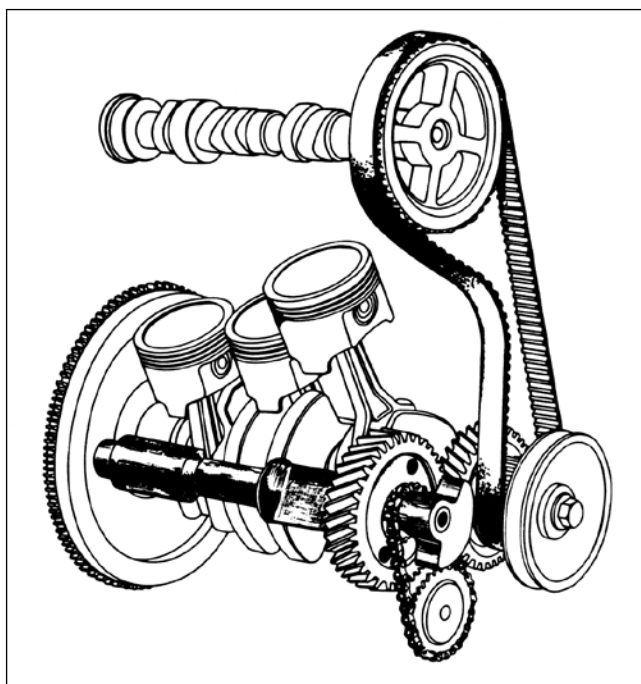
Nyomtékrok eredői



3. ábra: a nyomtékvektorok

fejlesztőknek a motor hatásfokát kell növelniük. A hatásfoknövelés lehetőségét elsősorban a motor mechanikai (súrlódási) veszteségeinek csökkentése adja. Ha növelni lehet a fajlagos teljesítményt, egyre kisebb lökettérfogatú motorok is elegendőek. A csökkenő lökettérfogat magával hozza a hengerszám csökkenését. A kutatók úgy találták, és ezt már régen tudjuk, hogy a legjobb hatásfokú energiaátalakítás kb. 300 cm³ lökettérfogatú hengerben megy végbe.

Most nézzük meg, hogy a hengerek számának csökkentése milyen hatással van a belső veszteségekre. Erre példaként elvégeztünk egy egyszerű számítást, amelyben egy ugyanolyan lökettérfogatú és löketű 3 és 4 hengerű motor dugattyúgyűrűjének kerületét hasonlítottuk össze. A számítás eredményeként azt kapjuk, hogy 16%-kal nagyobb felületen érintkeznek egy négyhengerű motor dugattyúgyűrűi egy háromhengerűhöz képest. Ehhez még hozzáadódik a kevesebb csapágyból adódó súrlódáscsökkenés. Ezt alátámasztják azok a mérési eredmények, melyek szerint 20%-os súrlódáscsökkenést jelent, ha 3 hengert alkalmaznak 4 helyett. Mivel a motor belső súrlódásából származó veszteségek nagyban befolyásolják a tüzelőanyag-fogyasztást, ezért ez fontos előny. Emellett az előállítás költsége is csökkenthető, mivel kevesebb alkatrészből áll, hiszen kevesebb dugattyú, szelep, befecskendező, csapágy stb. kell az összeszereléshez. A méretéből adódó előnyök sem elhanyagolhatók,



8. ábra: Daihatsu háromhengerű benzinmotor



Felső holtpont jelölése

9. ábra: fontos, hogy a kiegyenlítő tengelyt pozicionálva szereljük vissza

mivel egyre több segédberendezés és kipufogógáz-utókezelő található a motor körül. A motortér kialakításakor a nagyobb tervezői szabadság előnyösebb konstrukciót eredményezhet, ebbe beletartozik a szerelhetőség is, ráadásul a tömegcsökkenés is jelentős. A PSA 1,2 VTi esetében például 21 kg csökkenést értek el az előző 4 hengerű motorhoz képest. Nagyon jól illeszthető az új technológiákhoz a közvetlen befecskendezés, a turbófeltöltés, a kompakt építés, hiszen az előbb kiszámolt nagyobb dugattyúátmérő miatt a befecskendező, a gyújtógyertya és a szelepek elhelyezése egyszerűbb, a 3 henger együttműködése során pedig nem zavarják egymást a hengerek (240 főtengely°-onként van gyújtás), így a kipufogócsanak olyan rövid lehet, hogy beépíthető a hengerfejbe, ezáltal a turbófeltöltő hőterhelése csökken, a motor gyorsabban melegszik fel. A felsorolt előnyöknek köszönhető, hogy sok esetben 15–20% tüzelőanyagfogyasztás-csökkenést értek el az új európai tesztciklusban.

Zaj, vibráció, egyenetlen járás

A legtöbb negatív kritikát a háromhengerűek természetéből adódó egyenetlen járás és vibráció miatt kapta a konstrukció, főleg elméleti síkon, hiszen ha valaki kipróbálja valamely

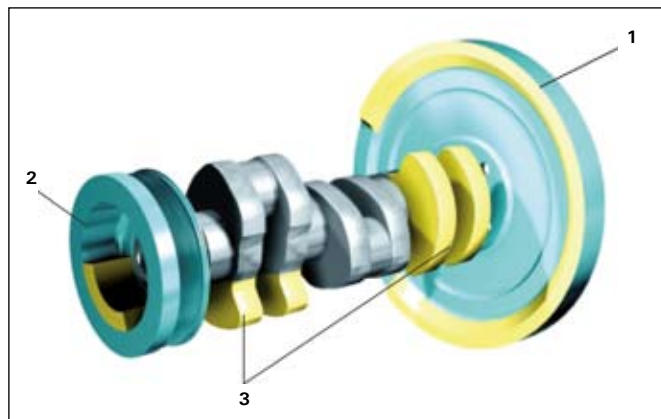
új konstrukciót, tapasztalhatja, hogy e téren is sokat fejlődtek a sorhármások. A háromhengerű négyütemű motorok szerkezeti és működési adottságaiból kiindulva két fő ok van, ami miatt a négyhengerűekhez képest több figyelmet igényel: a tömegkiegyensúlyozás és az egyenetlen, csendes járás biztosítása. A fejlesztés jelszavai: a forgattyús mechanizmus elemeinek tömegcsökkentése, a kiegyensúlyozás, kéttömegű lendkerék és ékszíjtárcsába épített lengéscsillapító. Az első és könnyebben magyarázható indok az, hogy a 2 főtengelyfordulat alatt 3 munkáütem zajlik le, ami azt jelenti, hogy 720 főtengely°-ból 3x180=540 főtengely°-ban ad le a motor nyomatékot főtengely-geometriától függetlenül, vagyis a működése negyedében „motorfékben” üzemel. Az 5. ábrán látható a probléma elemzése egy 240 főtengely°-os gyújtásközű háromhengerű motor példáján, alatta pedig összehasonlításképp egy négyhengerű nyomatékleadásának egyenetlenségét ábrázoló diagram található. Az egyenetlen nyomatékleadás kiküszöbölésére nagyobb lendkereket alkalmaznak, amely tárolja a munkáütemben felvett energiát és motorféküzemben „hajtja” a motort, hogy minél kisebb legyen a szögsebesség-ingadozás, amely kb. 1/300-1/100-ad része lehet a közepes szögsebességnek egy gépjárműmotor esetén. A másik, nehezebben kezelhető probléma az, hogy a négyhengerűekkel ellentétben a háromhengerűek főtengelye túlnyomó többségben térgeometriájú, 120°-ban helyezkednek el egymáshoz képest a hajtórúdcsapágyak (7. ábra). Ez az elrendezés szabad nyomatékokat eredményez a motorban. Cikkünkben szeretnénk egy részletesebb leírást adni a tömegkiegyenlítésről azoknak, akik mélyebben is szeretnék elmerülni a témakörben, külön részletezve a 120°-os

elélésű forgattyústengellyel rendelkező háromhengerűek esetét, mivel ebben a témakörben találtuk a legtöbb félreértést és hiányosságot a motorleírások körében.

A „tudományos” leírás lényege az, hogy a sorhármások egyenletes járásához az ideális forgattyústengely-elélés 120°. Ezzel viszont térbeli lesz a tengely, ráadásul nem szimmetrikus. A forgó és alternáló tömegrőkből és a gázerőből származó erők a forgattyústengelyt terhelik. Ha a motoron belül ezek az erők kiegyenlítődnek, akkor a motor finoman jár, nem rángatja a motorbakokon keresztül a karoszériát. A háromhengerű motorok esetében a forgó tömegrők és a forgó tömegrőkből származó nyomatékok kiegyenlíthetők a szokásos módszerrel, vagyis a forgattyústengelyen elhelyezett „sonkákkal”. Ezen ellensúlyok elélése 30°. A térforgattyús főtengely miatt viszont billentőnyomaték ébred a motorban. Ez úgynevezett szabad nyomaték, aminek sajátossága, hogy nem a motort csavarja, hanem a motorfüggesztő bakokra adódik át. Az alternáló erők többrendű erőkre bonthatók fel, és ez alapján többrendbeli nyomatékok lépnek fel. A rendszám növelésével csökken az erő hatása, ezért az első- és másodrendű erők és nyomatékok kiegyenlítése az elsődleges cél. Mivel a háromhengerűek esetén elsőrendű nyomatékok is maradnak, ezért ezek kiegyenlítése a legfontosabb. Ez tökéletesen 2 egymással szemben, a motoréval megegyező fordulatszámmal forgó kiegyenlítőteneggellyel lehetséges.

Nagyon ritkán alkalmazzák ezt a megoldást a bonyolultsága és költségessége miatt. A gépjárművekbe épített négyütemű sorhármások nagy fejlesztője, a Daihatsu már 1977-ben, az első ilyen motorjában alkalmazott kiegyenlítőteneggelyt, de csak egyet (8. ábra). A mai modellek esetében is használatos módszer az egy kiegyenlítőteneggely alkalmazása, csak a tengely elhelyezése és hajtása különbözik

típusonként. A 3. ábrán például a VW 1,2 TDI megoldása látható. Ezek a kiegyenlítőteneggelyek a motoréval azonos fordulatszámon forognak, vagyis csak az elsőrendű szabad nyomatékokat egyenlítik ki. Már régebben is úgy gondolták, hogy a kiegyenlítőteneggely alkalmazása többletköltséget és bonyolultságot eredményez – szereléskor (akárcsak a vezérlést) jelre kell visszaállítani! (9. ábra) – ezért igyekeztek elhagyni. Az viszont nem megengedett, hogy a motor zajos, nyugtalan járású legyen, ezért a forgattyústengelyen elhelyezett további ellensúlyokkal az alternáló tömegrők bizonyos hányadát a vízszintes síkba fordítják át. Ilyen megoldást alkalmaznak például a mai piacon etalonnak számító Ford háromhengerűjében (6. ábra) vagy a VW UP-ban alkalmazott motorban. A forgattyúház befoglalómérete adta lehetőségek azonban korlátozottak, ezért egyre jobban elterjednek a kiegyensúlyozatlan ékszíjtárcsák és lendkerekek (6. és 10. ábra). A VW például azért alkalmazta ezt a technikát a háromhengerű dízelmotorban a kiegyenlítőteneggely mellett, hogy a forgattyúház méretét csökkenteni tudják. Szereléskor ügyelni kell arra, hogy ezek az alkatrészek megfelelően pozícionálva kerüljenek felszerelésre, ugyanis ha nem így történik, akkor nemhogy nem csökkenti a rázást, még növelni is fogja azt. A kéttömegű lendkerék mellett gyakran alkalmaznak lengéscsillapítóval egybeépített ékszíjtárcsákat, ezzel is csökkentve a motorból kijövő torziós lengéseket, viszont



10. ábra: a VW kiegyensúlyozatlan lendkerék- és ékszíjtárcsa-megoldása (1 – lendkerék, 2 – lengéscsillapító, 3 – ellensúlyok)

elasztikus anyag található benne, ezért az átvizsgálások során fel kell mérni a tárcsa állapotát is. Annak függvényében, hogy mennyire sikerült kiegyenlíteni a szabad nyomatékokat, a motorbakok elhelyezése és ágyazása más és más lehet. A billentőnyomaték miatt nagy igénybevétel éri ezeket az alkatrészeket. A Ford például ezért olyan ágyazást használ, ami függőleges irányban nagy csillapítóerőt fejt ki és kis mozgást enged, vízszintes síkban viszont puhább. A különböző háromhengerűek adatlapjait lapozgatva feltűnt, hogy nem egységesek a gyújtássorrendjükben sem, ezért készítettünk egy összefoglaló táblázatot (1. táblázat). A technológiák tehát adottak ahhoz, hogy a sorhármások fizikájából adódó negatív hatásokat lehetőleg kis költség mellett erőteljesen mérsékelni tudják. Ha ehhez még hozzávesszük azokat a már említett előnyöket, amik rávetették a mérnököket arra, hogy foglalkozzanak a háromhengerűekkel, akkor reálisnak tűnik, hogy 1,5 liter hengerűrtartalom alatt fokozatosan leváltják négyhengerű társaikat. A fogyasztók pedig megtapasztalják majd, hogy egy henger elvesztésén kívül nem kell másról lemondaniuk a négyhengerűekhez képest.

ÓRI PÉTER

Forrás: dr. Dezsényi György: Gépjárművek tervezése és vizsgálata VII., Tankönyvkiadó, Budapest, 1983

dr. Dezsényi György, dr. Emőd István, dr. Finichiu Liviu: Belső égésű motorok tervezése és vizsgálata, Tankönyvkiadó, Budapest, 1990

MTZ 2005/1. 9. oldal

MTZ 2003/5 386–397. oldal

MTZ 2010/3 147. oldal

VW SSP 223, 260, 465, 508

Daihatsu CB20 Workshop Manual

Gyártó	Lökettérfogat (l)	Tüzelőanyag	Gyújtássorrend
Daihatsu	1,0	benzin/dízel	1-2-3
Suzuki	1,0	benzin	1-3-2
Suzuki	0,8	benzin	1-3-2
Ford	1,0	benzin	1-2-3
VW	1,4	dízel	1-2-3
VW	1,2	benzin/dízel	1-2-3
VW	1,0	benzin/CNG	1-2-3
Mahle	1,2	benzin	1-3-2
Opel	1,0	benzin	1-2-3
Kia	1,1	dízel	1-2-3

1. táblázat