



Technika 260. VÁLLALKOZÓK 2013. TANÁCSADÓJA



Legújabb motorfejlesztési irányok 2. rész

A mezőgazdasági dízelmotorok fejlesztésében az alacsony hajtóanyag-fogyasztás biztosítása kiemelkedő jelentőségű. A környezetvédelem szigorodó hatásági előírásainak betartása mellett az erőgépek motor gyártói újszerű megoldásokat alkalmaznak. A közúti gépjárműveknél megjelenő korszerű motor megoldásokat a traktortechnika igen hamar átveszi. Ebben a 2. részben röviden az égéstér, a szelepvezérlő, a hajtóanyag-ellátó rendszerek, a forgattyús hajtóművek kialakításával és fejlesztési irányjaival foglalkozunk.

A dízelmotorban lejátszódó égésfolyamat alapvetően meghatározza a motor hajtóanyag-fogyasztásának fajlagos értékét, a motor gazdasági hatásfokát. A motor égésfolyamatát elsősorban az égéstér felépítése, a levegőellátó rendszer kialakítása, a hajtóanyag minősége és ellátása, a szelepek működtetése határozza meg. A motor által szolgáltatott teljesítmény az elfogyasztott hajtóanyag mennyiségétől, a főtengely fordulatszámától, a lökettérfogat nagyságától, a veszteségek mértékétől függ. A mai mezőgazdasági dízelmotor számos szerkezeti rész kialakításának és működésének tökéletesítésével valósul meg.

Égéstér-rendszerek

A dízelmotor jó hatásfokának elérésében fontos szerepe van a hengerfej és a dugattyú által határolt égéstérnek. Az égéstér fő feladata, hogy a keverékképzés gyorsan és szabályozottan jöjjön létre. A keverékképzést követő égésnek igen rövid időintervallumban kell lejátszódnia. Az égéstér kialakítás alapján a dízelmotorokat két csoportra lehet osztani:

- közvetlen befecskendezésű motorok, amelyek szerkezetiileg egy égéstérrel rendelkeznek és a hajtóanyag befecskendezése közvetlenül az égéstérbe történik (1. a-b ábra);
- közvetett befecskendezésű vagy osztott égésterű motorok, amelyeknél az égéstér alapvetően két részre, fő égéstérre és kamrára osztható. Ide tartoznak az előkamrás és örvénykamrás (2. c ábra) égésterek, ahol a hajtóanyagot a kamrába fecskendezik be.

A közvetlen befecskendezés jelentősége dízelmotorok fordulatszámnövelésével és a hajtóanyag-fogyasztás mérséklésére való törekvéssel egyre nagyobb jelentőséghez jut. A gázolajjal üzemelő új tervezésű

dízelmotorok esetében kizárólagosan a közvetlen befecskendezést használják.

Háttérbe szorultak az osztott égésterek a nagyobb hajtóanyag-fogyasztás miatt. A legkülönbözőbb mezőgazdasági eredetű hajtóanyagokkal működő különleges dízelmotorok esetében az örvénykamrás rendszereket – a dugattyúkamrás kivétel mellett – újra alkalmazni kezdik.

Az égésteret alulról záró dugattyúk kialakításánál a fejlesztések a két kompresszió és az egy olajlehúzó dugattyúgyűrű alkalmazását valósítják meg a súrlódási veszteségek mérséklése érdekében (2. ábra).

Szelepek, szelepvezérlés

Az égésteret felülről lezáró hengerfejben helyezkednek el a friss levegőt beengedő szívószelepek és a kipufogógázt kivevő kipufogószelepek. A korszerű traktormotoroknál általánossá vált hengerként a két szívó és a két kipufogó szelep alkalmazása abból a célból, hogy szelepnitáskor a lehetőleg legnagyobb átömleési keresztmetszet álljon rendelkezésre (2. ábra). A szelepeket oldalt vezérelt és felül szelepeltek kialakításúak. A vezérműtengelyt

a hengerfejhez közel helyezik el és hajtása rendszerint fogaskerekes.

Az üzemeltetés során a gyári előírásnak megfelelő olajcserék időközzeit be kell tartani és a megfelelő minőségű motorolajat kell használni. A szelepszár és a himbakar közötti hézagot, a „szelephézagot” időközönként ellenőrizni kell és szükség esetén az előírt értékre újra be kell állítani.

A személygépkocsik Otto-motorjainál megtalálható változtatható szelepvezérlést és szívócsőhossz-változtatást a mezőgazdaságban alkalmazott dízelmotor-technika még nem alkalmazza.

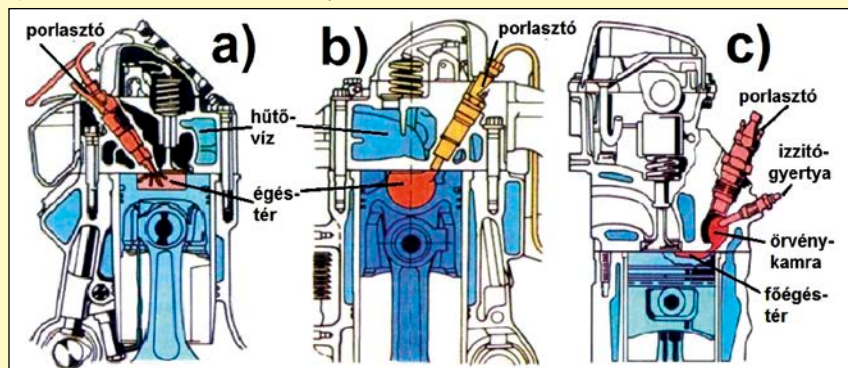
Hajtóanyagellátó rendszer

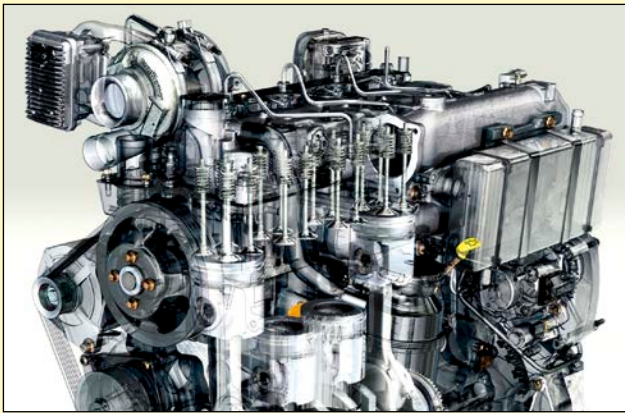
A hajtóanyagellátó rendszer biztosítja a dízelmotor működéséhez, az égési folyamathoz szükséges hajtóanyag, gázolaj mennyiségét. A dízelmotor alkalmazását ténylegesen a Robert Bosch vállalat által 1927-ben kifejlesztett soros forgódugattyús hajtóanyagadagoló berendezés tette lehetővé, ezt közel fél évszázadig változatlan formában használták.

A hajtóanyagot a dízelmotor égésterébe fűvőkán keresztül juttatják be nagy nyomással. Nagy befecskendezési nyomásra azért van szükség, hogy a befecskendezési sugár elegendően nagy sebességgel érkezzon az égéstérbe ahhoz, hogy a hajtóanyagcseppek osztódása és keveredése levegővel a rendelkezésre álló rövid idő alatt megvalósuljon.

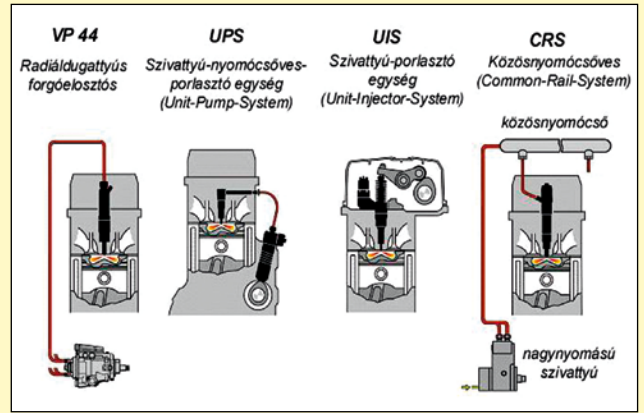
1. ábra Dízelmotor égésterének kialakítása

- a) közvetlen befecskendezésű; b) közvetlen befecskendezésű dugattyúkamrás; c) közvetett befecskendezésű örvénykamrás





2. ábra JCB DIESELMAX, 4 hengeres, 4,8 literes, 4 szelepes, turbófeltöltős, Tier 4 osztályú, 129 kW (175LE) teljesítményű dízelmotor metszeti képe (Forrás: www.jcbpowersystems.com)



3. ábra Elektronikus (EDC) dízel-befecskendező rendszerek (Forrás: Bosch)

A hajtóanyagellátó rendszer forradalmi változáson ment keresztül, az elektronikus (EDC) dízel-befecskendező rendszerek kialakulásával (3. ábra). A motor fordulatszámának emelkedése és az égési folyamatok javítása szükségszerűen magával hozta a gázolaj befecskendezési nyomásának nagymértékű növelését és a befecskendezett mennyiség, valamint annak időzítésének pontos szabályozását.

A megoldások versenyét még a traktor-technikában is a Common Rail (közös nyomócsöves) hajtóanyagellátó rendszer nyerte meg (4. ábra). A Common Rail rendszerek 1800-2400 bar nyomással juttatják be a hajtóanyagot az égéstérbe, kiemelkedő tulajdonsága, hogy a befecskendezési nyomás nem függ a motor fordulatszámától, a befecskendezett mennyiségtől. A Common Rail rendszer szívó, kisnyomású és nagynyomású körből áll. A nagynyomású szivattyú a közös nyomócsőbe (Rail-csőbe) nyomja a hajtóanyagot. Az EDC (Electronic Diesel Control) vezérlő elektronika

elektromos jelet küld a porlasztók elektromos egységéhez (elektromágnesébe), amely ennek hatására megkezdja a gázolaj befecskendezését. A befecskendezett gázolaj mennyiségét a porlasztó nyitvatartási idejével és a rendszer (Rail-cső) nyomásával szabályozza a vezérlő elektronika.

A befecskendező porlasztók vezérlésének számos megoldásából kiemelkedik az úgynevezett „piezoporlasztók” családja. A piezoporlasztóban (5. ábra) kb. 400 db vékony kerámialapka van egymásra helyezve, erre 70-80 V-os egyenáramot kapcsolnak, amelynek hatására 50-60 µm-es hosszúságnövekedés jön létre a piezo-mozgató egységben. A mozgástovábbító a létrejött kisméretű mozgással a szabályozószelepet működteti, ez hidraulikus úton nyitja a porlasztót és létrejön a közös nyomócsőben tárolt nagynyomású gázolaj égéstérbe fecskendezése.

A piezoporlasztó működése igen gyorsan követi a rákapcsolt vezérlő elektromos jel változását. A Common Rail (közös nyomócsöves) befecskendezési rendszerrel együtt a piezoporlasztóval lehetővé válik az elégetésre szánt gázolajmennyiség (dózis) több részletben való

befecskendezése (lásd az 5. ábrát!), amelyvel kedvezően befolyásolható az égés lefolyása, a motor működésének határfoka és a kipufogógáz károsanyag-összetétele is. A porlasztók cseréje csak szakműhelyben végezhető el, a porlasztókhoz a motorvezérlő elektronikát is be kell állítani.

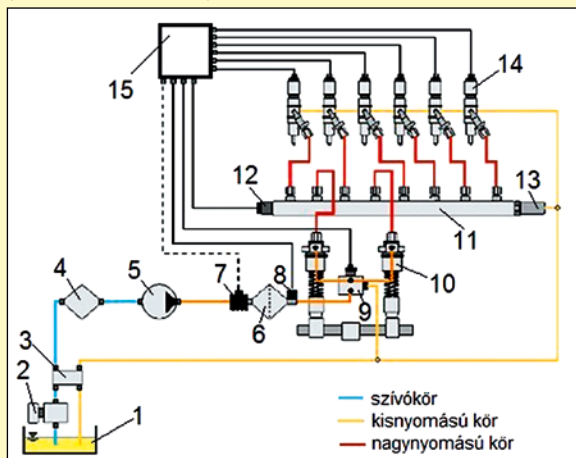
Az üzemeltetőnek arra kell ügyelnie, hogy jó minőségű gázolajat (dízelolajat) használjon és a hajtóanyagellátó rendszer szűrőit rendszeresen, az eredetivel megegyező minőségűre cserélje. A mai traktormotorokhoz általában 20 %-os biodízelgázolaj összetételű hajtóanyag is felhasználható. Egyes típusoknál a 100 %-os biodízel hajtóanyag felhasználása is megengedett.

Forgattyús hajtómű

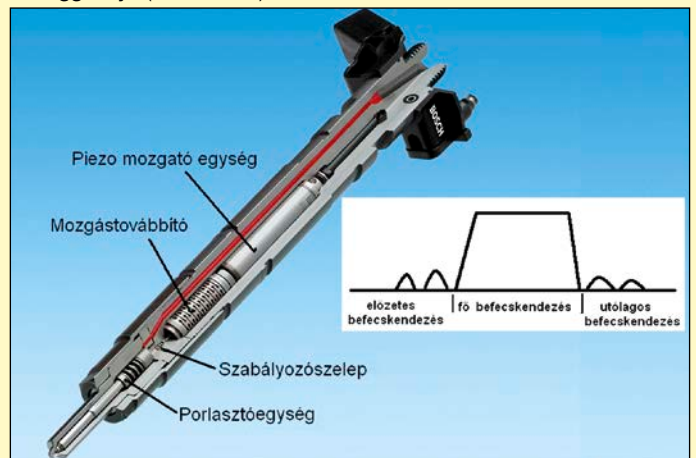
A forgattyús hajtómű feladata a motor hengerében alternáló (ide-oda) dugattyúmozgásból forgómozgás létrehozása. A forgattyús hajtómű kialakítása – a jól ismert alapelvek mellett – a henger elrendezéséhez igazodik. A mezőgazdasági négyütemű dízelmotorok általában 3, 4, 6, 7 hengeres soros és V8, V10 hengereleendezésűek. Traktorokon leggyakrabban a 4 és 6 hengeres soros hengereleendezésű, négyütemű dízelmotorokat alkalmaznak.

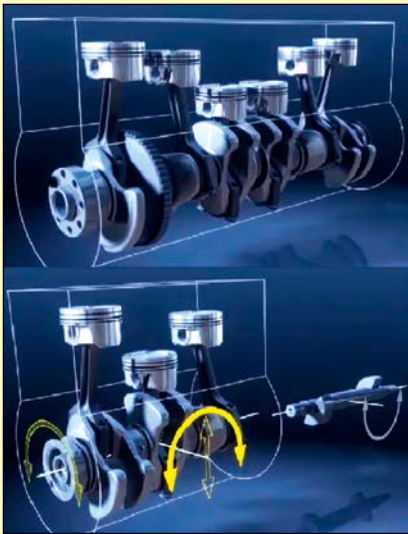
4. ábra Common Rail (közös nyomócsöves) hajtóanyagellátó rendszer

1. gázolaj-tank; 2. kézi szivattyú; 3. termostatikus szelep és hűtő; 4. előszűrő; 5. alacsony nyomású szivattyú; 6. finomszűrő; 7. fűtő; 8. nyomá szenzor; 9. FCU gázolajszabályozó; 10. nagynyomású szivattyú; 11. közös nyomócső (Rail-cső); 12. nyomá szenzor; 13. PCV nyomá szabályozó szelep; 14. porlasztó; 15. EDC motorvezérlő elektronika
- (Forrás: www.deutz.de)

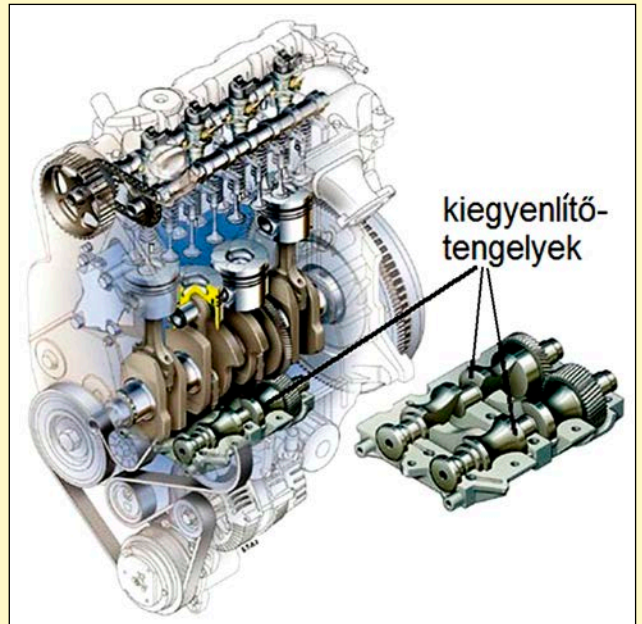


5. ábra Piezoporlasztó felépítése és a gázolajbefecskendezés időfüggvénye (Fotó: Bosch)





6. ábra
A hathengeres és alul a háromhengeres motor forgattyús tengélyek fotója (Fotó: BMW)



7. ábra
Renault 2.2 HDI, 4 hengeres, 4 ütemű személygépkocsi dízelmotor 1. rendű tömegeri billentő nyomatékának kiegyenlítése (Forrás: www.renault.com)

A 6 hengeres, 4 ütemű soros hengerele rendezésű motornál a forgattyús tengely (főtengely) 1. és 2. rendben is ki van egyenlítve, szabad tömegerek nem keletkeznek és ugyanez állapítható meg az ide-oda mozgó (dugattyús és részben hajtókar) tömegekből származó 1. és 2. rendű erőkre is. (Az erők és nyomatékok sorszám rendje a forgattyús mechanizmus matematikai modelljének leírására szolgáló sorba fejtés sorszáma.) A motor járása ezért nyugodt, nem rázza a traktor felépítményét. A főtengelynél alkalmazott ellensúlyok (sonkák) kizárólag a forgó tömegektől származó belső nyomatékok legyőzésére szolgálnak (6. ábra felső része).

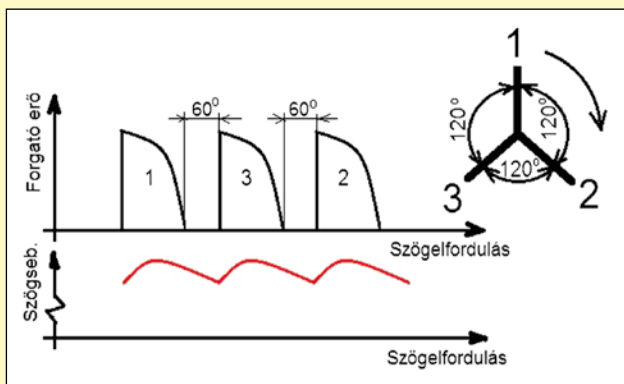
A 4 hengeres, 4 ütemű soros hengerele rendezésű motor esetében a forgattyús hajtóműnél a forgó tömegektől szabad erők nem keletkeznek. A négyhengeres motornál nem keletkeznek az ide-oda mozgó tömegek által 2. rendű tömegerektől billentő nyomatékok (3 hengeresnél igen!). De az 1. rendű tömegerek billentő nyomatékot hoznak létre, amely kis mértékben rázza a motor felfogásán keresztül a jármű felépítményét. A személygépkocsi motorok esetében egyre gyakrabban kiegyenlítik az 1. rendű tömegerek billentő nyomatékát. Ezt úgy érik el, hogy a főtengely azonos szögsebességgel két szimmetrikusan elhelyezett segédtengelyt (kiegyenlítő-tengelyt) hajt, amelyek egymással ellentétesen forognak, és ezek mindkét végén

ellensúlyok vannak (7. ábra). A traktor-technika nem alkalmazza még ezt a megoldást. A négyhengeres motornál is az egyes forgattyúkarok meghosszabbításán alkalmazott ellensúlyok (sonkák) csak a forgó tömegek keltette belső nyomatékok kiegyenlítésére szolgálnak.

A 3 hengeres, 4 ütemű soros hengerele rendezésű dízelmotorok a könnyű és középnehéz univerzális traktorokban egyre gyakrabban megtalálhatók lesznek. A háromhengeres motorok forgattyús hajtóművének szerkesztése és kivitelezése az utóbbi évtizedben jelentős változásokat mutat.

Ezeknél a motoroknál hátrányként jelentkezik, hogy munkaiütemek sorozata miatt, a 3 hengeres, négyütemű motor forgattyús tengelyének (főtengely) szögsebesség-változása nagyobb, mint a 4 vagy a 6 hengeres motoré. A szimmetrikus működés érdekében a munkaiütem sorrendjének megfelelően a forgócsapok egymáshoz képest 240° -ra vannak elhelyezve. A munkaiütem vége és a következő henger munkakezdete között a ház 60° -os főtengely szögelfordulás (8. ábra).

A szögsebesség-ingadozást nagyobb méretű lendkerék alkalmazásával mérséklük.



8. ábra
A forgató erő és a főtengely szögsebességének időbeni változása, 3 hengeres, 4 ütemű motor (1; 3; 2; működési sorrend) esetén

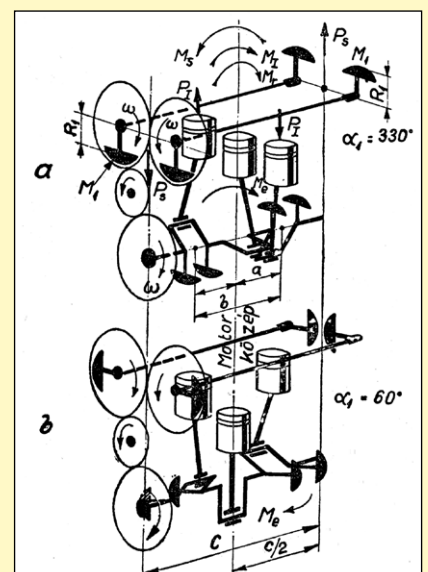
A háromhengeres dízelmotor hangja is más, kissé mély és morgós.

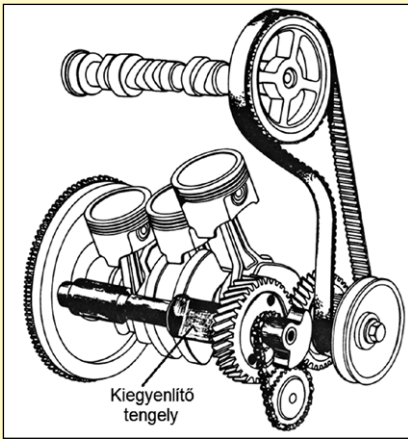
A 3 hengeres, 4 ütemű soros hengerele rendezésű motorok további hátránya a forgattyús hajtóműnél jelentkezik. A háromhengeres motorok forgattyús hajtóművében nem keletkeznek szabad erők sem a forgó, sem pedig az ide-oda mozgó tömegekből. De a forgó és az ide-oda mozgó tömegektől billenő nyomatékok lépnek fel 1. és 2. rendben is, amelyek a motorfelfogáson keresztül rázzák a járművet.

A forgó tömegek billentő nyomatékának kiegyenlítése – a klasszikus mechanikai felfogás szerint – a 9. ábrán látható megoldással oldható meg. A forgattyús tengely két szélső forgattyúkarján (b távolságra) egymással szemben elhelyezett 2×2 kiegyenlítő tömeg (sonka) alkalmazásával.

Az ide-oda mozgó tömegek 1. rendű erőitől származó billentő nyomatékok kiegyenlítése a főtengellyel azonos szögsebességgel, egymással ellentétesen forgó, két szimmetrikusan elhelyezett segéden-

9. ábra
Háromhengeres motor forgó és az ide-oda mozgó tömegekből keletkező billentő nyomatékának kiegyenlítése (Forrás: Jurek A.: Belső égésű motorok. Tankönyvkiadó, Budapest, 1956.)





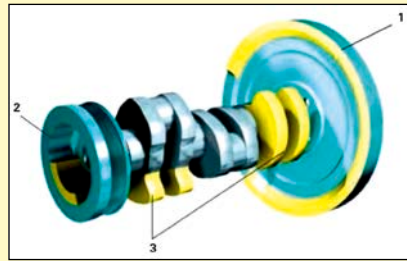
10. ábra Daihatsu cég 1977-ben gyártott Charade személygépkocsi 3 hengeres, 4 ütemű, 998 cm³-s Otto-motortja

gely (kiegyenlítő-tengely) alkalmazásával biztosítható. A kiegyenlítő-tengelyek mindkét végén ellensúlyok vannak. A legnagyobb billentő nyomaték $\alpha = 330$ foknál keletkezik (9.a ábra). Az $\alpha = 60$ foknál viszont billentő nyomaték nem keletkezik (9. b ábra).

A két megoldás együttes alkalmazásával elérhető, hogy a négyütemű, 3 hengeres motor a 6 hengeressel megegyezően nem rázza a járművet. A háromhengeres motor forgattyús mechanizmusának kialakítása tehát nem egyszerűen a hathengeres motor félbe vágásával alakítható ki, hanem a billentő nyomatékok kiegyenlítését is meg kell oldani (lásd a 6. ábrát).

Az ide-oda mozgó tömegek billentő nyomatékának kiegyenlítése két segédteneggel bonyolult, drága megoldás és a súrlódási veszteséget is növeli. A személygépkocsi technika is kompromisszumként egy kiegyenlítő tengelyt alkalmazott általában (10. ábra).

A háromhengeres dízelmotor forgattyús hajtóművét ma lengéstani alapon tervezik. A lengéstani számításoknál a forgattyús mechanizmus összes elemét figyelembe veszik és ezek kialakítását annak érdekében végzik el, hogy a motor járása kiegyenlített, nyugodt legyen. Lengéstaniilag optimalizálják például a szerkezeti elemek tömegét, a főtengelyen elhelyezett



11. ábra VW megoldása a 3 hengeres motornál, forgó és az ide-oda mozgó tömegekből keletkező billentő nyomatékok kiegyenlítésére
1. aszimmetrikus lendkerék;
2. lengéscsillapító; 3. kiegyenlítő tömegek
(Forrás: Autótechnika 2012. 7.sz. 29.p.)

kiegyenlítő tömegek nagyságát, a csapágyak szélességét, az aszimmetrikus tömegű lendkereket és a főtengely szabad végén elhelyezett torziós lengéscsillapítót (11. ábra). Arra az estre, ha a forgattyús házon belül vagy kívül nem lenne hely ilyen torziós lengéscsillapító beszerelésére, fejlesztette ki a LUK az „ICD belső forgattyús-tengely-csillapítót”. Az ICD probléma nélkül integrálható a forgattyús csapba, az acélrugókon és a speciális csillapító(súrlódó)elemeken keresztül fejt ki a csillapító hatását (12. ábra). A motor felfogásának újszerű kialakításával (más a függőleges és a vízszintes csillapítás) további eredmény érhető el annak érdekében, hogy a 3 hengeres motor ne rázza a járműtetet.

A korszerű traktormotorok kialakításánál ezeket az újszerű megoldásokat nemcsak a háromhengeres, hanem a négyhengeres motornál is figyelembe veszik.

„Downsizing” a traktortechnikában

A „downsizing” angol szó magyar jelentése: csökkenteni, elbocsátani, leépíteni, kicsinyíteni. Ezt az angol szót marketing-fogásként több területen, így a belsőégésű motortechnikában is használják.

Első értelmezésben a motortechnika is a „downsizing” kifejezést a leépítésre, kicsinyítésre alkalmazta; 6 hengeres motor helyett 4 hengerest, 4-ből 3 hengerest, 3 hengeresből 2 hengerest építeni.

Ma a belső égésű motortechnikában a „downsizing” technika alkalmazása alatt fogalmilag azt értik, hogy a nagyobb motorhoz képest kisebb (lökettérfogatú, hen-



12. ábra LUK gyártmányú ICD belső forgattyús-tengely-csillapító
(Forrás: www.schaeffler.hu)

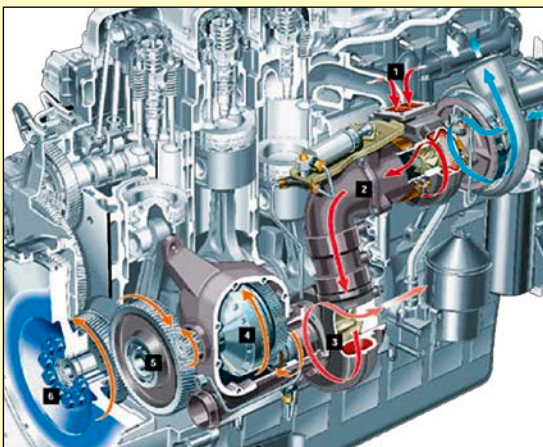
gerszámú) motorral – az effektív középnyomás emelésével, a motor feltöltésével – jobb teljesítmény- és nyomaték-karakterisztikát, valamint kisebb fajlagos hajtóanyag-fogyasztást érnek el. A traktortechnika is átveszi ezt a törekvést az új motorfejlesztések során. Példa erre a Massey Ferguson 5600 traktorszéria új 33 AWI típusjelű dízelmotorja, amely 3 hengeres, 4 ütemű, 3,3 literes, 4 szelepes, turbófeltöltős, Stage 3B (Tier 4 Interim) osztályú, 78 kW(108 LE) teljesítményű. Ez a motor többek között Common Rail hajtóanyag-ellátó rendszerrel, turbófeltöltővel, „Was-tegate” turbóvezérlő szeleppel, hűtött kipufogógáz-visszavezetéssel, fejlett motorvezérlő elektronikával rendelkezik. Ennek a motornak előnyei a több hengeres motorokhoz képest: kevesebb alkatrészből áll, kisebb a gyártási költsége, kisebb a súrlódási vesztesége, kisebb a hajtóanyag-fogyasztása, kisebb a karbantartási költsége, kisebb a környezetszennyező hatása.

Turbocompound rendszer a dízelmotor turbófeltöltőből távozó kipufogógáz maradék energiáját hasznosítja, újszerű hajtóműkialakítással (13. ábra). A rendszer bonyolult és nehézséget jelent a hajtóturbina kb. 50 000 1/min igen magas fordulatszámának redukálása, a főtengely fordulatszámának értékére. A turbocompound rendszer alkalmazásával épített motorok gazdasági (össz) hatásfoka 45 %-nál jobb, ez azt jelenti, hogy a mai korszerű dízelmotor hajtóanyag-fogyasztása ezzel a megoldással 10-15%-kal csökkenthető. A folyamatosan nehéz munkát végző, nagy teljesítményű dízelmotorral rendelkező traktoroknál felvetődik turbocompound rendszer alkalmazásának jövőbeni lehetősége.

Dr. Varga Vilmos
SZIE Gépészmérnöki Kar
Járműtechnika Tanszék, Gödöllő

Ajánlott irodalom

- [1] Kocsis I. - Mezei T. - Varga V.: Mezőgazdasági erőgépek I. (Szakképzési tankönyv G-386/I). VM Vidékfejlesztési, Képzési és szaktanácsadási Intézet, Budapest, 2011. 560 p.
[2] Óri Péter: A háromhengerűek világa. In: Autótechnika 2012. 7.sz. p.24-29.



13. ábra Scania gyártmányú 6 hengeres, 12 literes, 324 kW teljesítményű turbocompound dízelmotor metszeti képe
1. kipufogógáz a motorból;
2. turbótöltő utáni kipufogógáz;
3. hajtóturbina;
4. fordulatszámcsökkentő;
5. fogaskerék kapcsolat;
6. főtengely
(Forrás: www.scania.com)