

Dr. Vég Róbert* – Dr. Hegedűs Ernő**

Dízelmotorok feltöltése és hűtése, különös tekintettel a katonai felhasználásra tervezett konstrukciókra **I. rész**

Napjaink korszerű gépesített haderőiben jelentős szerepet tölt be a különféle katonai gépjárművek, illetve a harckocsik és páncélozott harcjárművek alkalmazása. Ezeket a járműtechnikai eszközöket döntő többségében turbófeltöltéses dízelmotorok hajtják. A harci túlélőképesség növelése érdekében elsősorban a dízelmotorok hűtőrendszereinek sérülésállóságát törekednek fokozni. Ennek érdekében esetenként léghűtéses motorok kerülnek alkalmazásra (pl. a Merkava harckocsi korai változatai), vagy az ún. „adiabatikus”, keramizált motorok alkalmazásával csak olajhűtésre szorítkoznak (pl.: az M 813 kísérleti katonai teherautó). A magas teljesítmény-tömeg arány és a kedvező dinamikus tulajdonságok érdekében olyan speciális feltöltési megoldásokat alkalmaznak a katonai dízelmotorokon, mint a Hyperbar eljárás (pl. a Leclerc harckocsi) vagy a kétütemű dízeleken a mechanikus és a turbófeltöltés egyidejű alkalmazása (pl. az M-109-es önjáró löveg dízel erőforrása).

1. ábra. A Merkava I. és II. harckocsikat léghűtéses dízelmotorokkal szerelték. A fényképen jól látható a hűtőlevegő elvezetésére szolgáló kopolytű



ÖSSZEFOGLALÁS: A katonai alkalmazású dízelmotorok esetében egy sor, a polgári élet követelményrendszerétől eltérő speciális alkalmazói követelmény merül fel: fokozott harci túlélőképesség, kedvező teljesítmény-tömeg arány és jó dinamikus tulajdonságok. A tanulmány ismerteti a turbófeltöltéses dízelmotorok feltöltésének különféle korlátait, illetve a katonai célra alkalmazott dízelmotorok olyan speciális feltöltési megoldásait, mint a Hyperbar eljárás, vagy a keramizált LHR (LowHeatRejection – alacsony hőkiáramlású) dízelmotorok feltöltése.

KULCSSZAVAK: katonai célú dízelmotor, turbófeltöltés, keramizálás, Hyperbar eljárás, LHR



2. ábra. A Merkava és az M-60 harckocsik 677 kW (910 LE) teljesítményű Teledyne Continental V-12 léghűtéses dízelmotorja kis tömegű, magas fokú harci túlélőképességgel rendelkező erőforrás volt

A TURBÓFELTÖLTÉSES DÍZELMOTOR FELTÖLTÉSÉNEK KORLÁTJA: A SZERKEZETI ELEMEK HŐTERHELÉSE

A feltöltéses Otto-motorok üzemi korlátait a kopogásos égés és a turbófeltöltő turbináján fellépő túlzottan magas hőmérséklet – mintegy 900-1000 °C maximális értékkel – képezik. A kopogásos égés markánsan korlátozza a benzinüzemű motoroknál alkalmazható maximális töltőnyomást. Az alacsony fordulatszámokon is kedvező turbina-illesztés érdekében, illetve a turbófeltöltő által elviselhető maximális hőmérséklet, továbbá a kopogáshoz vezető túlzott töltőnyomás megakadályozására megkerülő-szelepet (bypass) alkalmaznak, amely – lényegében a munkavégzésre képes, nagy energiatartalmú gázáram egy részének elengedése árán – megakadályozza a kedvezőtlen nyomás- és

ABSTRACT: In the case of diesel engines for military use, the following special user's requirements different from the requirement system of civil application have to be taken into account: increased combat survivability, good power-to-weight ratio and dynamic features. This study deals with several limits of charging the diesel motors with turbocharger and with such special charging solutions of diesel motors for military application as Hyperbar method or charging the ceramic coated low heat rejection (LHR) diesel engines.

KEY WORDS: diesel engine for military use, turbocharging, ceramic coating, Hyperbar method, LHR

* Nemzeti Közszolgálati Egyetem/National University of Public Service, E-mail: Vekh.Robert@uni-nke.hu, Orcid azonosító: 0000-0002-9786-6702

** Nemzeti Közszolgálati Egyetem KMDI/National University of Public Service KMDI, E-mail: hegedus.erno@hm.gov.hu, Orcid azonosító: 0000-0001-8457-5044



3. ábra. A német Leopard 2 harckocsi MTU MB 873 Ka-501 típusú, folyadék-hűtéses V-12 biturbó dízelmotorja, amely 1,103 kW (1500 LE) teljesítményt ad le 2600 1/min fordulatszámnál. A fotó alapján jól érzékelhető a hagyományos szerkezetű harckocsimotorok fő problémája: a nagy beépítési méret és a jelentős tömeg

hőmérsékletviszonyok kialakulását. Turbófeltöltéses Ottomotoroknál az 1000 °C turbina előtti hőmérséklet elviselése – az ötvenes években elterjedten alkalmazott 600 °C értékkel szemben – jelentős eredmény, amelyet főként a keramizált turbinalapátózás alkalmazásával értek el napjainkra.

A feltöltéses dízelmotorok esetében a turbófeltöltő turbínájának maximális hőterhelése rendszerint nem mérvadó, hiszen a jó hatásfokú, nagy légfeszüléssel üzemelő dízelmotorok kipufogó gázainak maximális hőmérséklete hozzávetőleg 700 °C értékű.¹ A dízelmotorokat – az égésfolyamat jellegéből fakadóan – a kopogásos égés veszélye sem fenyegeti. (A kopogásos égés az égésfolyamat (nem előkevert) jellege miatt nem fordul elő.) Ilyen értelemben a dízelmotoroknál alkalmazott töltőnyomás dinamikusan fokozható, teljesítményük – a jelenleg alkalmazott turbófeltöltők maximális töltőnyomása adta keretek között – tág határok között is jól növelhető (a jelenleg általános 2-2,2 bar töltőnyomást alapul véve). A dízelmotorok teljesítménynövelésének felső korlátját – a teljesítmény (középnomás) növekedéséből fakadó, csapágyakra, hengerfejszavarakra és hajtórúdra ható, jelenleg rendelkezésre álló eszközökkel könnyen leküzdhető mechanikai terhelés mellett – főként „a dugattyú, a dugattyúgyűrűk és a szelepek hőterhelése adja.”² A szelepek hőterhelését bevonatoló keramizálással és a 10 mm-nél nagyobb szelepszár átmérőjű szelepeknél nátriumos belső hűtéssel³, továbbá kisebb ellenállású négyselepes hengerfejek alkalmazásával hatékonyan lehet csökkenteni. Nátriumhűtés esetében „a szeleptányér hőmérséklete 80-100 °C-kal csökkenthető.”⁴ Mivel a hengerfejet terheli az égési csúcsnyomás és a kipufogógázok is erős hőigénybevételnek vetik alá, ezért intenzív módon hűteni kell. A folyadék-hűtéses hengerfejben csatornákat alakítanak ki az áramló hűtőfolyadék számára. A hengerfejek készülhetnek alumínium ötvözetből (pl.: G-AIS-10 Mg), vagy szürkeöntvényből (pl.: GG-20)⁵. A dugattyú felső felületét szintén elláthatják kerámia-bevonattal a hőterhelés csökkentése érdekében. Dugattyútetőbe öntött, illetve dugattyúkamra-falba épített alumínium-titanát és cirkon-oxid betétekkel hatékonyan csökkentették a dízelmotorok dugattyúinak hőterhelését, különös tekintettel a felső gyűrűhorony hőmérsékletére⁶. A dugattyúgyűrűk hőterhelésének csökkentését, illetve a kialakult üzemi hőmérséklet elviselésének fokozottabb képességét – egy megoldásként – a gyűrű és a hengerfal felületének keménykróm bevonatolásával növelhetik. „A krómozott gyűrűknek főként tűzgyűrűként való beépítése is gyakori, mert a felső holtpont kö-



4. ábra. Amerikai M-813 katonai tehergépkocsi

zelében a kopásveszély a közvetlen hőhatás és a kedvezőtlen kenési viszonyok miatt a legnagyobb.”⁷ Az alumínium hengertömbben acélpersely nélkül, pusztán keménykróm bevonattal, vagy nikkel-szilícium réteggel (NICASIL-bevonat) kialakított futófelületek rendkívül kedvezően hatnak a henger-dugattyú gépcsoport illesztési és súrlódási viszonyaira. Az elektrolízissel felvitt nikkelrétegben az egyenletesen elosztott és beágyazott szilíciumkarbid részecske jó kopásállóságot, a nikkelréteg pedig jó kényyszerfutási tulajdonságot eredményez. Keménykrómozás esetén szükséges a felület porózusos kialakítása, az olajtárolás érdekében.⁸ Egyes speciális dugattyú-konstrukciók (pl. Elsbett-féle ízelt dugattyú) alkalmazásával tovább javíthatók a hengerfal és a dugattyú tömítettség-siklási jellemzői. Ludwig Elsbett mérnöki irodájához köthető egy kétrészes, osztott szerkezetű, javított tömítettségű dízelmotor-dugattyú kifejlesztése, amelynél a dugattyú-korona hőtágulása megegyezik a hengertömb anyagának hőtágulásával. Az osztott dugattyú palást része veszi fel az oldalirányú erőket és egyúttal megoldja a henger belső falának hűtését a kenőolaj megfelelő szétosztásával. Az ilyen típusú dugattyú illesztési paraméterei jelentős mértékben javulnak.⁹ Nemcsak az Elsbett-iroda tervezett hővezetés és tömítettség szempontjából optimalizált osztott kivitelű dugattyúkat: „elsősorban az Egyesült Államokban gyártanak sorozatban ilyen dugattyúkat, amelyeknél a különválasztott dugattyúrészek szabadon »beállhatnak« a hengerben... A dugattyúfej (a gyűrűkkel és a csapszeggel) és a palást szétválasztása pontosabb illesztést tesz lehetővé.”¹⁰ Léteznek tehát olyan ízelt, illetve osztott dugattyú-konstrukciók, amelyek nemcsak a tömítettség javítása területén, de – ezzel összefüggésben – a hőátadás és a hűtés területén is jelentős mértékben kedvezőbb paramétereket mutatnak a hagyományos dugattyúszerkezeteknél.

A nagy teljesítményű motorokban, ahol a dugattyú egyidejűleg van kitéve magas hőmérsékletnek és nagy mechanikai igénybevételnek, az öntött dugattyú helyett célszerűbb sajtolat dugattyút alkalmazni. A sajtolat dugattyúban gyakorlatilag nem fordul elő repedés.¹¹

A MOTOROLAJ HŐTERHELÉSE A TURBÓFELTÖLTÖTT DÍZELMOTORBAN ÉS AZ ADIABATIKUS DÍZELMOTOROK

A dízelmotorok feltöltésének legjelentősebb, legnehezebben leküzdhető korlátja az, hogy „a dugattyú felső gyűrűhornyának hőmérséklete elérheti az olaj kokszosodási hőmérsékletét...a gyűrű megszorul, a dugattyú besülhet.”¹² Míg a hatvanas évek elején a legjobb minőségű kenőolaj kokszosodási hőmérséklete 200-250 °C körül volt, addig napjainkra ez az érték – a korszerű szintetikus olajok bevezetésének eredményeképpen – eléri 300 °C értéket.¹³ A korszerű, alacsony hamutartalmú, nagy teljesítményű (SHDP) szintetikus kenőolajok kokszosodási hőmérséklete eléri, sőt meg is haladja ezt az értéket! Jövőbemutató példaként említhetőek az „adiabatikus” folyadék-hűtés nélküli keramizált dízelek számára fejlesztett Stauffer Chemical





5. ábra. Az M-813 harcszerű körülmények között: ugyanúgy ki van téve harci sérülésnek, mint a harcjárművek, de páncélozatlan

SDL-1 vagy az US TACOM MRI-1 (polyol ester bázisú) szintetikus olajok, amelyek 310 °C értéken is stabil üzeme-lésre képesek.¹⁴

Belsőégésű motoroknál a kerámia bevonat és kerámia alkatrészek alkalmazása az alábbi előnyökkel jár: kis hővesztés (emiat kis hővesztés, így jó hatásfok), a kisebb elvont hő miatt pedig kisebb hűtési igény. A keramizált dízelmotorok bizonyos mértékű belső hűtést biztosító minimális légfesleges és frisslevegős öblítés fenntartása mellett, illetve szerkezeti terhelés szempontjából elméletileg jól viselik akár a „hűtő nélküli” üzemmódot is (természetesen úgy, hogy a töltőlevegőt és az olajat továbbra is hűtik). „A napjainkban kísérleti stádiumban lévő kerámiamotorok – amelyekben egyes alkatrészeket hőálló kerámiából készítenek vagy kerámia-bevonattal látnak el – ezeket (a motorhűtessel járó) veszteségeket csökkentik és ezáltal nagyobb jósa-gi fokot érnek el. Ha az égésteret határoló valamennyi felületet kerámiából alakítják ki, akkor a motorhűtés egyáltalán nem szükséges. Az ilyen motort adiabatikus motornak nevezik.”¹⁵

Katonai alkalmazású kísérleti dízelmotorok esetében – a harci túlélőképesség növelése érdekében – keramizált motoralkatrészek segítségével elhagyták a sérülékeny és sebezhető folyadékűtőt és kizárólag az olaj hűtésére szorít-

6. ábra. Olajsint ellenőrzése egy katonai gépjárművön harctéri körülmények között. A katonai célra fejlesztett kenőolajok hőmérséklet-állósága a jövőben új távlatokat nyit a katonai dízelmotorok előtt



7. ábra. Az amerikai haderő Cummins adiabatikus dízelmotorral felszerelt kísérleti M-813 katonai gépjárművén 310 °C hőmérséklet elviselésére alkalmas olaj próbáit hajtják végre a kilencvenes években

koztak. A U.S Army már a '80-as évek eleje óta alkalmaz kis, kísérleti szériában hűtő nélküli „adiabatikus” kísérleti dízel-motorral szerelt harcjárműveket, mivel ez igen nagy-mértékben javítja a harcjárművek harcászati paramétereit, növelve a harci túlélőképességet (hiszen a hűtőrendszer harci sérülése nem fordulhat elő).¹⁶ Egyes, katonai teherautókkal (M 813-as) végzett kísérletek biztató eredményre vezettek, mivel az itt alkalmazott 180 kW teljesítményű, soros hathengeres turbófeltöltött dízelmotor gazdaságos-ságát a „hűtő nélküli” (csak az olaj és a töltőlevegő hűtésére szorítókozó) üzemmód bevezetésével 16-37% közötti értékkel sikerült javítani.¹⁷ Ennek ellenére a kerámia szerke-zeti anyagok széles körű alkalmazásával előállított kísérleti, tisztán „kerámia dízelmotorok” rövid távon nem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket.¹⁸ Ugyanakkor a kerami-zálás fontos szerepet játszik a katonai dízelmotorok feltöl-tésének optimalizálásában, mivel hatására a hűtőrendszeren keresztül a környezetbe távozó hőmennyiség csökken, míg a kipufogógáz hőtartalma – ezáltal munkavégző ké-pessége – nő (pl: a M-109-es harcjármű keramizált dízel-motorja). Emellett a keramizált motorok fejlesztése során felhalmozott tapasztalatok és mérési eredmények hasz-nosnak bizonyultak a katonai célra tervezett, nagy terhelésű dízelmotorok kenőanyagainak fejlesztése terén is (US Army TACOM – Tank-Automotive Command tribológiai mérései és kísérletei).¹⁹

Az olajok hőterhelhetőségének értéke a tribológiai fej-lesztések eredményeképpen folyamatosan növekszik, egyes versenymotorok esetében elérheti a 350 °C értéket, jelenleg fejlesztés alatt álló olajoknál pedig a 450 °C-ot. A jelenlegi fejlesztések előrevetítik olyan új olajok közeljövőben bekövetkező piacra dobását, amelyek a 445 °C ér-téken is stabil üzemre képesek.²⁰

A feltöltött dízelmotorok dugattyúját a hőterhelés csök-kenése érdekében hűteni kell olajjal, amelyet olajszóró fúvókával valószínűleg meg. A dugattyú alternáló mozgásá-nak hatására az olaj keresztáramlik a dugattyúban kiala-kított hűtőcsatornán.²¹ Néhány konstrukciós és üzemviteli megoldás – a gyűrűhorony dugattyú felső éltől mért távol-ságának növelése, olajsugaras és olajcsatornás dugattyú-hűtés alkalmazása, gyűrűtartó betét beépítése trapéz alakú gyűrűvel, illetve hosszabb löketű, kisebb fordulatszámú (így kisebb fajlagos hőterhelésű) motorkonstrukció alkal-mazása, továbbá a keringetett olajmennyiség növelése, az olajhűtés mértékének fokozása és az olajcsere-periódusok gyakoriságának növelése – lehetővé teszi a felső gyűrűho-ronyra ható hőterhelés csökkentését.²²

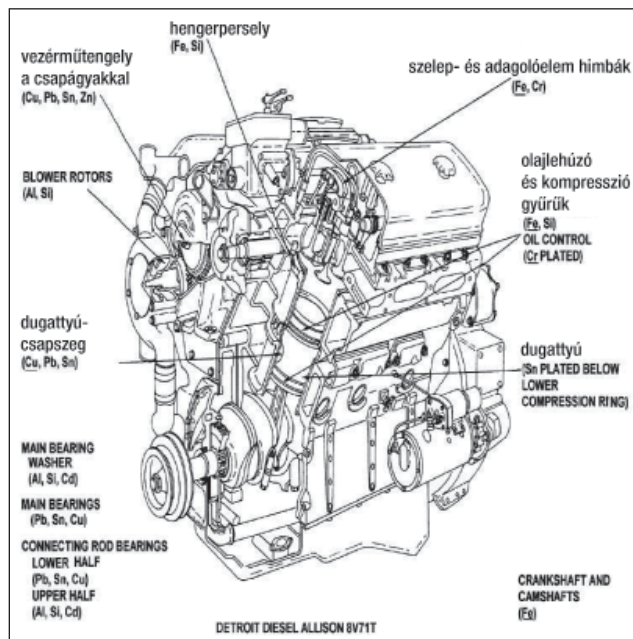


8. ábra. Szelepes kétütemű dízelmotorral szerelt M-109 önjáró löveg lövés közben

Önmagában csak „a dugattyú belső felületének olajszűrővel való hűtése a hajtórúdban kiképzett olajfuraton át... 40 °C-kal csökkeneti a dugattyútető hőmérsékletét...”, de a leghatásosabb dugattyúhűtés a dugattyúfejben kialakított gyűrű- vagy spirálüregekbe bejuttatott hűtőolajjal érhető el.”²³

A DÍZELMOTOR TURBÓFELTÖLTÉSÉNEK EMISSZIÓS KORLATAI, ÖSSZEFÜGGÉSBEN A HŐTERHELÉSSEL

Egy másik, a dízelmotorok további feltöltését gátló ok a káros anyagok – különösen a NO_x – növekedésének mértéke a munkafolyamat maximális hőmérsékletének növekedésével párhuzamosan. A NO_x képződésre megoldást jelenthet egy csak magasabb légfeszüléssel megengedett üzemanyag szabályozási rendszer (mivel a dízelmotorok keverékképzésének gyenge pontja a túlzottan nagy mennyiségű üzemanyag adagolása). Ez a megoldás akár 30%-kal is csökkenheti az NO_x képződését.²⁴ Emellett egy maximális terhelésnél is a fenti értékre beszabályozott légfeszüléssel – a koromsugárzás csökkentésén keresztül – csökkenti a motorszerkezet hőterhelését is. A megfelelő „légfeszüléssel... a tüzelőanyagok levegővel keveredése teljesen végbemegy... tehát korom sem képződik... ekkor a láng nem világít.”²⁵ Az említett koromsugárzás a dízel égésfolyamat során fellépő koromképződéssel van összefüggésben. (Belső égésű hőerőgépek üzeménél veszteségként lép fel az a hőmennyiség, amely az égésfolyamat során a határoló falfelületek és egyéb szerkezeti elemek felé adódik át. Az égés folyamán ez a hőátadás a közeg és a falak közt túlnyomórészt konvekció, és a világító láng sugárzása következtében jön létre. Gázszugárzás útján a falnak leadott hő kicsi, ezért általában elhanyagolható. A világító láng izzó koromszemcséknek köszönhető sugárzása viszont tetemes.) Az égésfolyamat során szénrészecskék is keletkeznek, amelyek a lánghőmérsékleten izzanak, és egy széles spektrumon sugároznak. A világító láng izzó koromszemcséknek köszönhető sugárzása tetemes, elérheti az összes felvesztések 40%-át.²⁶ Ez a 0,5–2 μm-es részecskékből álló, összefüggő koromfelhő – felület jelentős sugárzásra képes, ami nemcsak a határoló falfelületeken keresztül távozó veszteség hő mértékét növeli, hanem a megvilágított határoló falfelület vagy szerkezeti elem hőterhelését is.²⁷ Ennek alapján a dízelmotornál a teljesítmény növelésének ésszerű útja nem a sztöchiometrikus üzemanyag-levegő arány megközelítése, hanem a töltőnyomás növelése a kedvező NO_x és fal-hőterhelés paramétereket garantáló nagyobb értékű légfeszüléssel-tényező mellett. Bizonyos mértékű légfeszüléssel fenntartása a hatásfokot is javítja. Ennek az az oka, hogy „Minél nagyobb a légviszony, annál jobb a hatásfok. Ezt elsősorban a fajhő (pontosabban az adiabatikus kitevő) változása okozza, továbbá... az állandó nyomáson végbemenő égés szakaszának rövidülése nagyobb légviszony esetén (kisebb tüzelőanyag-mennyiség).”²⁸



9. ábra. Az M-109 önjáró löveg kétütemű dízelmotorja

A TURBÓFELTÖLTŐK GEOMETRIAI JELLEMZŐINEK PROBLÉMÁJA

Turbófeltöltésnél a turbótöltő és a motor optimális együttműködésének feltételei csak viszonylag szűk fordulatszám-tartományban biztosíthatók. A nagy geometriai méretekkel rendelkező turbófeltöltő a motor felső fordulatszám tartományán, illetve nagy terheléseknél (nagy tömegáram) biztosít optimális üzemi feltételeket, míg kis fordulatszámokon és terheléseknél passzív marad. A kis geometriai méretekkel rendelkező turbófeltöltő a motor alsó fordulatszám tartományán, illetve részterheléseknél (kis tömegáram) biztosít optimális üzemet, nagy fordulatszámokon és terheléseknél azonban fojtásként viselkedik, ami megkerülő (by-pass) szelep alkalmazását teszi szükségessé. Az MB UNIMOG U4000 típusú terepjáró tehergépkocsinál a töltőnyomás határértékének elérésekor a megkerülő szelep kinyit és elengedi a kipufogógázok egy részét a turbina mellett a kipufogórendszerbe.²⁹ A problémát némiképp csökkenti, ám teljes mértékben nem küszöböli ki a változtatható difúzor-lapátsorral szerelt nagyméretű feltöltők alkalmazása sem. Az MB G-270 CDI terepjáró személygépkocsiban a vezetőlapátok elforgatásával szűkül a kipufogógáz átáramlási keresztmetszete és ezáltal nő a sebessége, ami alacsony fordulatszámokon a turbinakerek fordulatszámának emelkedését és a turbónyomás növekedését eredményezi.³⁰ A folyamatosan magas nyomású frisstöltet-növelését a motor nagyobb – esetleg a teljes – fordulatszám-tartományában csak a hagyományostól eltérő feltöltési eljárásokkal lehet elérni. Egy példaként: a BMW luxuskategóriájú dízel személyautóján egyszerre alkalmaz egy kis és egy nagy geometriai mérettel rendelkező feltöltőt és üzemmodonként változtatja a gázutat. Hasonló megoldásra kényszerül egyes turbófeltöltött gépjárművein a Volvo is, mivel a két töltő alkalmazásának eredményeképpen „az egyfokozatú töltőkhöz képest a töltési fok növekedése 30%-nál nagyobb lehet.”³¹ A jelentős töltésfok-növekedés jól mutatja az egyfeltöltős dízelmotorok feltöltési hatásfokának alacsony voltát. A turbófeltöltő duplikálása a feltöltés hibáinak kiküszöbölése céljából eredményes, de rendkívül költséges megoldás. A három feltöltővel kombinált működés esetén két kisméretű feltöltő a hengerson kívül található, ➔



10. ábra. Az M-109 önjáró löveg kétütemű dízelmotorjának mechanikus Roots-kompresszora, amelyet az újabb modelleken turbófeltöltővel is kiegészítenek

egy nagyobb méretű pedig a hengersorok között. Kis motorterhelésnél mindhárom működik, de a feltöltés nagy részét a kisméretű nagynyomású feltöltők biztosítják. Nagy fordulatszámon egyre nagyobb feladata lesz a közepen elhelyezett kisméretű feltöltőknek, amíg végül a kisméretű feltöltők már nem is működnek.³²

KERAMIZÁLT, ALACSONY HŐKIÁRAMLÁSÚ, NÖVELT FELTÖLTŐNYOMÁSÚ LHR KATONAI DÍZELMOTOR-KONSTRUKCIÓ

Az amerikai M109 önjáró löveg nagyfokú mozgékonyágát egy speciális szelepes kétütemű, kompresszorral és turbófeltöltővel egyaránt feltöltött keramizált LHR (LowHeat-Rejection – alacsony hőkiáramlású) dízelmotor úgy biztosítja, hogy az erőforrás tömege és térfogata jóval kisebb az azonos teljesítményű négyütemű turbófeltöltésű dízelmotorokénál. Ennél a motornál elsősorban egy speciális megoldással, a kétütemű feltöltésű rendszerrel értek el magas fajlagos teljesítményt. „A kétütemű rendszert a négyüteművel szemben a teljesítménynövelés eszközének tekintjük, mivel a motorok literteljesítményét az ütemszám és a közéynyomás határozza meg. A kétütemű dízelmotorok literteljesítménye 50-60%-kal nagyobb, mint a négyütemű dízelmotoroké. E teljesítmény-nyereség eléréséhez azonban számos nehézséget kell leküzdeni. A kétütemű ciklus munkafolyamatának magas az átlagos hőmérséklete. Emiatt tehát különleges megoldásokra van szükség, szükség a dugattyú olajhűtése. A gázerők állandóan egy irányban hatnak a dugattyú oldalára, ami elősegíti a dugattyúgyűrűk hornyában a kokszerakódást, amitől a gyűrűk beragadhatnak. A hajtórúd-csapágyak átlagos terhelése nagyobb, mint a négyütemű rendszerénél és az állandóan egyirányú terhelés miatt a csapágyfelületek közötti szivattyúhatás elmarad. A tüzelőanyag-adagoló szivattyú bütykös tengelye kétszer forog gyorsabban. Általában speciális befecskendező szivattyúkat követelnek. Mindig szükségük van töltőlevegő kompresszorra.”³³ (A kétütemű szeleplelt dízelek működéséhez feltétlenül szükség van a főtengelyről hajtott feltöltőre.) A konstrukció teljesítménye szempontjából kulcsfontosságú kompresszor – igen magas megmunkálási színvonalat igényel. „A levegőt a Roots-kompresszor szállítja a hengertestből kialakított resziverbe, (levegő-gyűjtőtérbe) ahonnan a hengerpersely alsó furatain keresztül a munkahengerekbe áramlik. Az égéstermékek és az öblítő levegő pedig a hengerfej függőszelepein keresztül távozik.”³⁴ A megmunkálási minősége, a tűrések pontossága és a magas felületi minőség alapjaiban határozzák meg a nagy teljesítményfelvételű feltöltő hatásfokát és ezáltal a szállított töltőlevegő mennyiségét. „A Roots-fűvők hatásfoka... 80% körüli. Jellemzőjük a nagy kerületi sebesség, de



11. ábra. Az M-109 önjáró löveg osztrák haderő által rendszeresített G változata

ehhez magas zajszint is párosul. A résvesztések miatt pontos gyártást, szigorúbb tűrések alkalmazását igényli.”³⁵ A magas megmunkálási igényű Roots-kompresszor napjainkban is a költséges feltöltési rendszer kategóriába sorolható.

Az M-109-esbe épített kétütemű dízelmotor egyes változataira egy turbófeltöltőt is felszereltek a Roots-kompresszor mellett, így igen jó eredményeket értek el, jelentősen meghaladva a csak kompresszorral felszerelt erőforrások teljesítmény-, nyomaték- és gazdaságosság-paramétereit. A turbófeltöltéssel megoldható a kipufogógázzal távozó veszteség hőenergiatartalmának visszanyerése, végső soron a nagyobb teljesítmény elérése. (Ugyanakkor önmagában a turbófeltöltő nem lenne képes biztosítani a motor működését, mivel a kétütemű dízel indítása nem lehetséges a levegőszállítást indítási fordulatszámon biztosító mechanikus feltöltő nélkül.) A bonyolult motorkonstrukció, az általa támasztott komplex gyártástechnológiai követelmények, a két feltöltő által felmerülő magas költségek felvállalását egyaránt a kis méretre és szerkezeti tömegre való törekvés tette indokolttá. Az eredetileg alkalmazott 298 kW (405 LE) teljesítményű Detroit Diesel 8V-71T Modell 7083-7396 jelzésű erőforrást a nyolcvanas évek közepén, az M-109 A5 variánsnál cserélték le a 324 kW (440 LE) teljesítményű Detroit Diesel 8V-71T Modell 7083-7391 jelzésű LHR (LowHeatRejection – alacsony hőkiáramlású) erőforrásra. Az alacsony hőkiáramlású dízelmotorok hűtőfolyadék és kenőolaj felé áramló veszteség hőit a dugattyútető, a szelep, a hengerfej és a kipufogócsonk kerámia bevonatával csökkentik. Az ilyen dízelmotornál módosul a hőmérség. A nagy terhelésnél a hűtőfolyadéknak átadott hőmennyiség 27%-ról 23%-ra, az olajnak átadott hőmennyiség 7%-ról 2%-ra csökken.³⁶ A 9%-kal kevesebb kiáramló hőmennyiség (vesztés) egyfelől a hasznos teljesítmény 1%-os növekedését eredményezi, másfelől 8%-kal növeli a kipufogógázban megjelenő hőmennyiséget, javítva a turbófeltöltő üzemének energetikai körülményeit. Az M-109-es dízel erőforrásán elvégzett korszerűsítés – a motoralkatrészek rezgéses keramizálása – nemcsak a teljesítményt növelte meg 35 LE-vel, de a gazdaságosságot is fokozta, miközben megoldást jelentett a kétütemű dízelmotornál korábban jelentkező olaj- és hűtőfolyadék hőmérséklet problémákra is.

(Folytatjuk)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Balogh Lászlóné: Az égési sugárzási folyamat vizsgálata alternatív égők lángjainál In: Energiagazdálkodás XXIV. évf. 11. szám;
- Bohner – Gscheidle – Leyer – Pichler – Saier – Schmidt – Siegmayer – Zwickel: Gépjárműszerkezetek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1994.;
- Czeslaw Kordzinski: Kis űrtartalmú belsőégésű motorok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
- Dezsényi Gy. – Emőd I. – Finichiu L.: Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999.;
- Dr. Kalmár – Dr. Kovács – Dr. Stukovszky: Turbómotorok és más feltöltő rendszerek. K&Z motor bt., Budapest, 1994.;

- Dr. Kováts Miklós: Turbófeltöltés alkalmazása járműmotoroknál. Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft., Budapest, 2006.;
- Dr. Lakatos István: Gépjárműmotorok szelepezérlése. AJAKSZ Szakkönyvtár, Budapest, 1994.;
- Fülöp Zoltán: Belsőégésű motorok. Tankönyvkiadó, Budapest, 1990.;
- G270 CDI training. Oktatási füzet a Magyar Honvédség gépjárművezetői és -szerelő állománya részére MB-AUTO Magyarország Kft. Oktatóközpont kiadványa, 2003/11.;
- Imdat Taymaz: An experimental study of energy balance in low heat rejection diesel engine. University of Sakarya, Turkey. <http://www.obitet.gazi.edu.tr/makale/makale/internalcombustionengines/040.pdf>;
- Jurek Aurél: Belsőégésű motorok. Tankönyvkiadó, Budapest, 1961.;
- Kalmár István – Stukovszky Zsolt: Belsőégésű motorok folyamatai. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1998.;
- Koltai Gyula: Közúti járműmotorok könnyűfém dugattyúi. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.;
- Lukács Pál: Új anyagok és technológiák az autógyártásban I. Maróti-Godai Könyvkiadó Kft., Budapest, 1998.;
- Maurice E. Le Pera: The Army's Impact on the Fuel and Lubricant Industry. Army Logisticon, 2009. évi (41. évf.) március-áprilisi (2.) szám Army Logistician (The Army's Impact on the Fuel and Lubricant Industry).html;
- Melchior, J. – Andre-Thalmon, T.: Hyperbar System of High Supercharging. SAE Technical Papers Nr. 740723, Hyperbar Diesel Co. 1974. Februar.;
- Roy Kamo – Walter Bryzik: High-temperature tribology of future diesel engines. Adiabatics Inc. Columbus, Indiana, U. S. U. S. Army TRADEC, Warren, Michigan, US. <http://www3.interscience.wiley.com/journal> (2010. 03.21.);
- Ternai Zoltán: Korszerű gépkocsiszerkezetek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.;
- UNIMOG U4000 bevezető tanfolyam. Oktatási segédlet a Magyar Honvédség kijelölt gépjárművezető és -szerelő állománya részére. MB-AUTO Magyarország Kft. Oktatóközpont kiadványa, 2003/12.;
- Vass Attila: Belsőégésű motorok az autó és traktortechnikában. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1997.;
- Wilfried Staudt: Gépjárműtechnika. „OMÁR” Könyvkiadó, Székesfehérvár, 1988.

JEGYZETEK

- 1 Kalmár István – Stukovszky Zsolt: Belsőégésű motorok folyamatai. Műegyetemi Kiadó, Budapest. 1998. 361. o.
- 2 Uo. 341. o.
- 3 Dr. Lakatos István: Gépjárműmotorok szelepezérlése. AJAKSZ Szakkönyvtár, Budapest, 1994. 25. o.
- 4 Dezsényi Gy. – Emőd I. – Finichiu L.: Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999. 683. o.
- 5 Lukács Pál: Új anyagok és technológiák az autógyártásban I. Maróti-Godai Könyvkiadó Kft., Budapest, 1998. 86. o.
- 6 Dezsényi Gy. – Emőd I. – Finichiu L.: Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999. 353–354. o.
- 7 Dezsényi Gy. – Emőd I. – Finichiu L.: Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999. 362. o.
- 8 Wilfried Staudt: Gépjárműtechnika. „OMÁR” Könyvkiadó, Székesfehérvár, 1988. 18. o.
- 9 Czeslaw Kordzinski: Kis úrtartalmú belsőégésű motorok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980. 246. o.
- 10 Dezsényi Gy. – Emőd I. – Finichiu L.: Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999. 353. o.
- 11 Koltai Gyula: Közúti járműmotorok könnyűfém dugattyúi. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980. 72. o.
- 12 Kalmár István – Stukovszky Zsolt: Belsőégésű motorok folyamatai. Műegyetemi Kiadó, Budapest. 1998. 342. o.
- 13 Uo. 42–43. o.
- 14 Maurice E. Le Pera: The Army's Impact on the Fuel and Lubricant Industry. Army Logisticon, 2009. évi (41. évf.) március-áprilisi (2.) szám Army Logistician (The Army's Impact on the Fuel and Lubricant Industry).html
- 15 Dezsényi Gy. – Emőd I. – Finichiu L.: Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999. 716. o.
- 16 Volkmar, D. S. – Carutte, B.: Total – Bertin emulgáló berendezés. Transportation Systems Center konferencia. Cambridge, 1977 április.
- 17 Bruns, Loren – Bryzik, Walter – Kamo, Roy: Performance Assessment of U. S. Army Truck With Adiabatic Diesel Engine. Adiabatics Inc. 1989. 02. Doc. Nr.: 890142
- 18 Fülöp Zoltán: Belsőégésű motorok Tankönyvkiadó, Budapest 1990. 262. o.
- 19 Maurice E. Le Pera: The Army's Impact on the Fuel and Lubricant Industry. Army Logisticon, 2009. évi (41. évf.) március-áprilisi (2.) szám Army Logistician (The Army's Impact on the Fuel and Lubricant Industry).html
- 20 Roy Kamo – Walter Bryzik: High-temperature tribology of future diesel engines. Adiabatics Inc. Columbus, Indiana, U. S. U. S. Army TRADEC, Warren, Michigan, US. <http://www3.interscience.wiley.com/journal> (2010. 03.21.)
- 21 Bohner – Gscheidle – Leyer – Pichler – Saier – Schmidt – Siegmayer – Zwickel: Gépjárműszerkezetek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1994. 27. o.
- 22 Fülöp Zoltán: Belsőégésű motorok Tankönyvkiadó, Budapest 1990. 315–316. o. továbbá Kalmár István – Stukovszky Zsolt: Belsőégésű motorok folyamatai. Műegyetemi Kiadó, Budapest. 1998. 43. o.
- 23 Dezsényi Gy. – Emőd I. – Finichiu L.: Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999. 355. o.
- 24 Vass Attila: Belsőégésű motorok az autó és traktortechnikában. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1997. 333. o.
- 25 Fülöp Zoltán: Belsőégésű motorok. Tankönyvkiadó, Budapest, 1990. 241. o.
- 26 Balogh Lászlóné: Az égési sugárzási folyamat vizsgálata alternatív égők lángjainál In: Energiagazdálkodás XXIV. évf. 11. Szám 480. o. továbbá Kalmár István – Stukovszky Zsolt: Belsőégésű motorok folyamatai Műegyetemi Kiadó, Budapest. 1998. 460. o.
- 27 Fülöp Zoltán: Belsőégésű motorok. Tankönyvkiadó, Budapest, 1990. 124. o.
- 28 Dezsényi Gy. – Emőd I. – Finichiu L.: Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999. 41. és 43–44. o.
- 29 UNIMOG U4000 bevezető tanfolyam. Oktatási segédlet a Magyar Honvédség kijelölt gépjárművezető és -szerelő állománya részére. MB-AUTO Magyarország Kft. Oktatóközpont kiadványa, 2003/12. 72. o.
- 30 G270 CDI training. Oktatási füzet a Magyar Honvédség gépjárművezetői és -szerelő állománya részére MB-AUTO Magyarország Kft. Oktatóközpont kiadványa, 2003/11. 33. o.
- 31 Fülöp Zoltán: Belsőégésű motorok. Tankönyvkiadó, Budapest, 1990. 365. o.
- 32 Dr. Kováts Miklós: Turbófeltöltés alkalmazása járműmotoroknál. Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft., Budapest, 2006. 186. o.
- 33 Jurek Aurél: Belsőégésű motorok. Tankönyvkiadó, Budapest, 1961. 655–656. o.
- 34 Jurek Aurél: Belsőégésű motorok. Tankönyvkiadó, Budapest, 1961. 678. o.
- 35 Kalmár – Kováts – Stukovszky: Turbómotorok és más feltöltő rendszerek. K&Z Motor Bt., Budapest, 1994. 104. o.
- 36 Imdat Taymaz: An experimental study of energy balance in low heat rejection diesel engine. University of Sakarya, Turkey. <http://www.obitet.gazi.edu.tr/makale/makale/internalcombustionengines/040.pdf>