



# Határátlépés

## Vízbefecskendezés



DR. NAGYSZOKOLYAI IVÁN

A lökettérfogat csökkentése – mely ma a tüzelőanyag-fogyasztás csökkentésének egyik útja – nem járhat együtt a motormunka (forgatónyomaték) csökkenésével. Ugyanazt az autómódellet a kisebb lökettérfogatú motornak ugyanolyan menetdinamikai tulajdonságokkal kell vinnie mint a korábbi, nagyobb hengerűrtartalmú motornak. Sőt! Igény van arra, hogy egyre erősebb legyen a motor, egyre nagyobb gyorsulással vigye az autót. A motor forszírozottságát kell növelni, amely azt jelenti, hogy fajlagos jellemzőit, például effektív középnyomását kell fokozni. Növelni kell a feltöltési nyomást, az égési csúcshőnyomást, ezzel növekszik a motor mechanikai és hőterhelése, növekednek a hőmérsékletek. Elérünk egy határt, ami már drasztikus élettartam-csökkenés nélkül nem léphető át. A határátlépéshez új eszközt kell bevetni.

A BMW nagy teljesítményű Otto-motorjainak a fejlesztésében ugyanazokkal a műszaki, teljesítménynövelési problémákkal néz szembe mint bárki más, de a BMW – a vetélytársakkal való versenyben – ezzel nem békélt meg, a határátlépés útját, módját kereste, melyet a vízbefecskendezésben vélt megtalálni. Régi technikai dolog ez, mely közel egyidős a belső égésű Otto-motorral. Ez a vízbejuttatás az égési folyamatába, először a szívócsőbe és innen a hengertérbe vagy közvetlenül a hengertérbe. A több mint százéves motortörténelem alatt többször is elő-előkerült. A vízbefecskendezésű motorok, repülőgép, katonai jármű, valamint versenyautók motorjaiban éltek is egy darabig, majd a megoldás ismét a lehetőségek polcára került vissza. A hengertérbe történő pontosan kimért mennyiségű vízbejuttatás a töltet, a friss levegő és a benzin keverék hűtését eredményezi. Utoljára – legjobb tudomásunk szerint – szériabeépítésű, vízbefecskendezésű modellel 1978-ban a SAAB jelentkezett. A SAAB 99 Turbo S modellt (nagyon kevés készült belőle) gyárilag szerelték szívócső-vízbefecskendezéssel, plusz 15–20 lóerőt lehetett kihozni a motorból.

## MI HATÁROL?

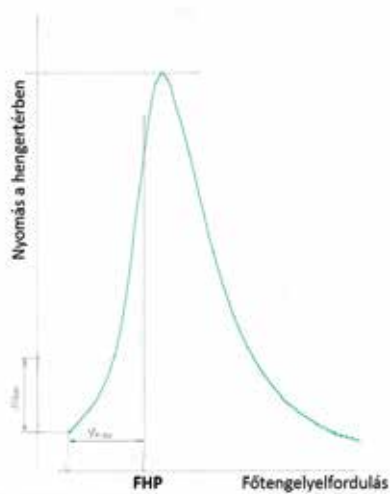
A kopogás! Majd finomítjuk a sommás állítást, de valóban a detonációs égés fellépése az alapvető ok. A benzinek hajlandósága a detonációra, ha kellően nagy a hőmérséklet és a nyomás az égésterben, anyagsajátosságuk. Több mint 100 éve küzd ezzel a motortechika, a kezdetekben a fejlesztést is meggátolta. A detonációs égés a lángfront előtti keveréktérben bekövetkező öngyulladás, melynek tűzfészkeből – egyszerre többől is – nagy sebességgel terjed az oxidációs reakció. Sebessége nagyságrenddel nagyobb mint a normál lángfronté. Lökéshullám jön létre a gázban, mely a hengertér falainak csapódik, majd onnan visszaverődik. Ez az ütközés váltja ki a jellegzetes hangot, melyet csilingelésnek, kopogásnak hallunk és nevezünk. Frekvenciája 8 kHz szoros környezetében van. A motorblokk oldalára szerelt kopogásdetektor, mely testrezgés gyorsulásadó, veszi ezt a blokkot megrázó rezgést és jelével tudatja a motorirányító egységet a rendellenes égés bekövetkezéséről.

(A kopogás hangja nem a dugattyú, dugattyúcsap verődéséből ered! Autószerelőkkel beszélgetve kiderül,

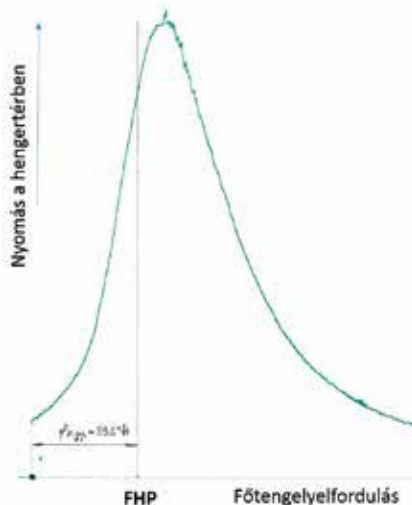
hogy többen így tudják, és dugattyút, gyűrűt, csapot szándékoznak cserélni.)

## ABNORMÁLIS NYOMÁSLEFUTÁS

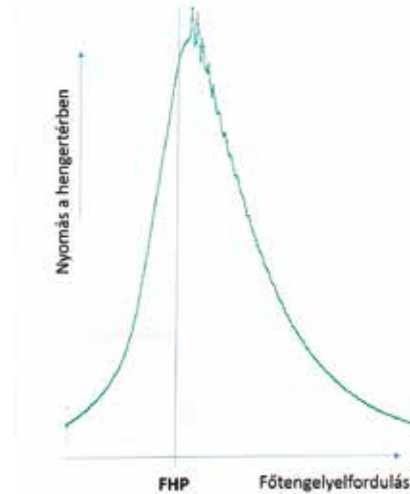
Ismeretfrissítésként idézzük fel a normál és a rendellenes (detonációs) égés indikátordiagramjait a szerző saját mérései alapján. A sűrítési ütem utolsó harmadában, a felső holtpont előtt történik a gyújtás, és azt követi az égés és a további sűrítés hatására a nyomásemelkedés, mely nagy motorterhelésen az FHP után 2–5 főtengelyfokig tart. Az ún. égési FHP utáni munkáütemben folyamatosan csökken a nyomás. Ha minden tökéletesen megy végbe, akkor az ❶ ábrán látható a nyomáslefutás. Törés-, ugrásmentes. A rendellenes égésfolyamat detonációs típusa, a kopogás, mindig az égési csúcsonyomásnál, kicsit azt követően alakul ki. A lángfront előtti gáztérfogóban öngyulladás jön létre, megrázza a hengertéri gázt. Enyhe kopogásos égést mutat a ❷ ábra indikátordiagramja. Ezt halljuk nagy gázzal történő gyorsításkor csilingelésnek. Ahogy nő a motorfordulatszám, a csilingelés megszűnik. A nyomáslevegés tovább nő (nagyobb a csúcs, tovább tart a lengés), ha nagyobb mértékűt ölt a detonáció. A ❸ ábra indikátordiagramja már igen in-



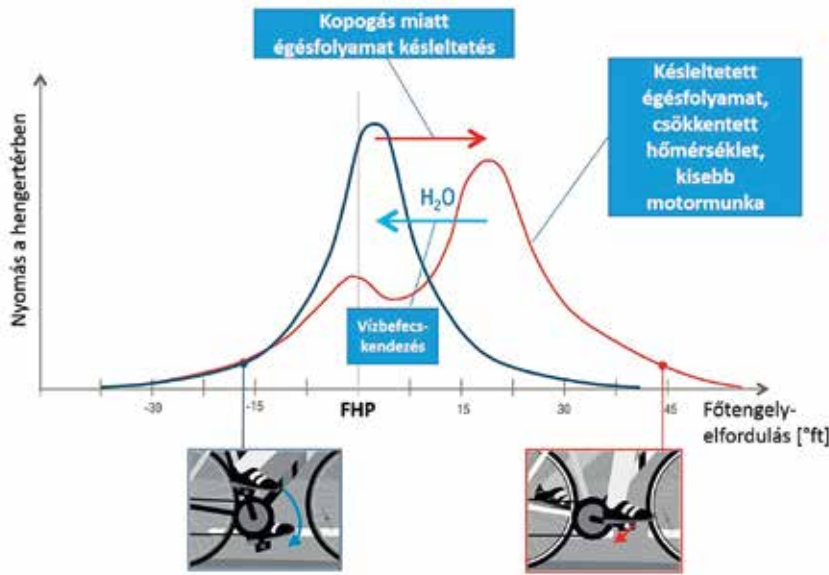
❶



❷



❸



4

tenzív kopogást mutat, kalapácsütés-szerű a hang. A hirtelen nyomásnövekedés a kompressziógyűrűre vág rá, törhet a gyűrű és a gyűrűgát egy szegmense. A dugattyú kerülete mentén, ott, ahol a kopogásos égés kezdődött, erodál az alumínium. A hengerfejtömítés-peremet is kikezdheti. Ismét egy tévhitet szeretnék eloszlatni: a kopogásos égés a hajtórúdcsapágyakat nem teszi tönkre. (Vannak másfajta rendellenes égési fajták is, ezek motorszerkezet-károsító hatásai is különbözőek!) Ha a kopogás – sok mindentől függően – nemcsak a gyorsításnál lép fel, hanem nagy motorterhelésnél, nagy fordulatszámon (4000 min<sup>-1</sup> felett) is bekövetkezik, azt már a vezető nem hallja, nem veszi esetleg vissza a gázt. Ez az ún. nagy sebességű motorkopogás, a szerkezetkárosítás biztos következménye.

**HOGYAN KERÜLHETŐ EL A KOPOGÁSOS ÉGÉS?**

A kopogást kiváltó okokat kell megszüntetni. A benzin oktánszáma mutatja a kopogástűrő képességet. A kuti benzinek jelzett oktánszáma a RON érték, ma egységesen 95. Versenyben-

zinek oktánszáma lehet ennél nagyobb is, keverőkomponensekkel akár 100 fölé is mehet. A motorkopogás szempontjából sokat számít, hogy egy adott benzinek egy szigorúbb vizsgálati eljárással mért oktánszám, az ún. motoroktánszáma (MON) mennyi. Adott RON érték mellett különböző lehet a MON.

Konstrukciós oldalról is lehet a kopogási hajlamot csökkenteni, befolyásolja az égéstér alakja, a falhűtés, a belső áramlás, a gyújtógyertyák száma, a keverék-összetétel helyi értéke. Minél nagyobb a nyomás (és a hőmérséklet) a hengertérben, annál kedve-

zőbbek a feltételek a kopogásos égés kialakulásához. Ezért problémás az Otto-motorok turbótöltése. A kompresszióviszony értékét vissza is kell ezért venni.

A kopogásos égés elkerülendő, ezért bekövetkeztét, intenzitásának egy értéket meghaladó szintjét a motorirányításnak fel kell ismerni. Ennek jeladója lehet a kopogásdetektor (alkalmazása több mint 30 éves), és lehet a gyújtógyertya ionárama. A fellépő kopogást az égésfolyamat FHP-hez vett hátrátolásával, a hengertéri csúcsnyomás csökkentésével érjük el. A BMW grafikája 4 szemléletesen mutatja, hogy a késleltetett gyújtás hátracsúztatja a nyomáslefutást, csökkenti a csúcsnyomást. A görbe alatti terület a hengermunkával arányos, tehát láthatóan ez is csökken. A kopogásos égés elkerülésére az előgyújtás-visszavétel csak mentő, átmeneti megoldás. Tudjuk ezt régen. A közelmúlt és a mai, nem túlságosan forszírozott motorjainál csak a nem túl jó benzinek használatánál, illetve nagyon kis fordulatról való teligázás gyorsításnál kellett beavatkozni (ha egyébként a motor rendben van!), így nem túl gyakran működő védelmi funkciónak tekintjük. Mára ez a technika kifinomult, csak abba a hengerbe avatkozik be, amelyikben kopogást észlelnek.



5



6

## NINCS TOVÁBB?

A motorkonstruktőrök, adott kuti benzin RON/MON használata mellett már eljutottak a határig, mindent megtettek, hogy feljebb és feljebb (egyre nagyobb terhelések felé) nyomják a kopogáshatárt. Úgy tűnik, ennek sem a csillagos ég a határa, pedig a motor még bírná, még jobban feltölthető lenne. Oktánszámnövelő, drága, környezetvédelmi szempontból is kétséges benzinadalékok szériaalkalmazásnál szóba sem jöhetnek. Az ólom, elsősorban mert katalizátorméreg, nem térhet vissza. (Ma Kínában az ólom helyett mangánt alkalmaznak oktánszámnövelő adalékként, de ez is katalizátorméreg. Fő is a fejük az autógyártóknak emiatt.)

Ha nem lenne olyan meleg az égéstérben, a lángfrontra váró keverékben, türelemmel „ki tudná várni”, míg a lángfront odaér, és nem keletkezne benne öngyulladás.

## HÚTENI KELL, MÉGHOZZÁ BELSŐ HÚTÉSSEL!

Erre a legjobb módszer a vízbejuttatás. A víz gőzzé válásához hőre van szükség, melyet környezetéből, tehát a

hengertéri/égéstéri levegőből, a keverékből von el. Kísérletileg kell meghatározni, hogy mennyi víz kell a kívánt (hűtő)hatás eléréséhez, a kopogás megszüntetéséhez.

Feltalálók részéről időről időre találkozzunk olyan állításaikkal, hogy a felbomló vízmolekula milyen nagyszemű égéstökéletesítő hatással bír. Tudományos cikkek, valamint a mostani BMW-kísérletek ezt nem erősítik meg. Marad tehát a hűtő hatás!

Ennek további előnyös járulékos hatásai is vannak. A kopogásvesztély, így a hűtés szükségessége a teljes gáz karakterisztika mentén jelentkezik. Ha nem szükséges a kipufogógáz-hűtés miatt a keverékdúsítás, ha a hűtés miatt nem szükséges a közbenső levegőhűtés fokozása, az előnyt jelent.

## A KIHÍVÁS NEVE SAFETY CAR

A vízbefecskendező rendszer a BMW Group egyik legmodernebb erőforrásában, a MotoGP™ biztonsági autójaként dolgozó, módosított

BMW M4 sportmodellben (BMW M4 MotoGP Safety Car) mutatkozott be (lásd a címképet!). A BMW M GmbH tervezőmérnökei az alap BMW M3/M4 sportmodell kiemelkedően nagy fordulatszám-tartományig kalibrált, soros hathengerű M TwinPower Turbo benzinmotorjának módosított változatát építették be a biztonsági autókba, mert ez egy flotta, amely a széria BMW M3/M4 sportmodellben 317 kW / 431 lóerő maximális teljesítményre és 550 Nm nyomaték leadására képes. A vízbefecskendező rendszerrel kellett a motor teljesítményét fokozni, hogy a MotoGP™ biztonsági autójaként kellő gyorsulásra és gyorsaságra tegyen szert. A teljesítménynövelés csak vízbefecskendezéssel volt elérhető.

A BMW M4 MotoGP Safety Car vízbefecskendező rendszere egy ötliteres, csomagtérbe szerelt víztartályból nyeri a működéséhez szükséges vizet. Safety Car menetben az autó szinte végig teljes gázzal üzemel, a csomagtérbe szerelt víztartályt minden egyes tankoláskor újra feltöltik.

## A HÁROMHENGERŰ MOTOR HATÁRÁTLÉPÉSE

A 2015-ös BMW Group Innovációs Napokon első ízben mutatkozott be a vízbefecskendezési technológia BMW-modellbe épített prototípusa, a BMW Group legújabb motorcsaládjába tartozó háromhengerű, 1500 cm<sup>3</sup>-es



7

összlökettérfogatú benzinmotoron. A vízbefecskendező rendszer e változatában a vizet két módon juttatják be a motorba, legnagyobb részét közvetlenül az égésterbe fecskendezik. A prototípushoz egy ötajtós 1-es BMW adta a műszaki alapot 5.

A gyári, nagyon szűkre szabott adat és szerkezeti információk szerint a hűtő hatás 10%-kal nagyobb nyomatékot és 8%-kal kisebb benzinfogyasztást eredményez. Nagyobb sűrítési arány hozható létre a motor kopogási hajlamanak csökkentése miatt: 9,5:1 helyett 11,0:1 sűrítési arányt tesz lehetővé a prototípus háromhengerű motorjában. Ez a motor effektív hatásfokát a részterhelési tartományban (ahol nincs kopogásveszély) növelni tudja.

A motor előgyújtása is – üzemi pontról pontra – a motormunkát maximalizáló értékre állítható, ez egyben – pontonként – a hatásfok legnagyobb értékét is adja. Ezért is javul a fogyasztás. A szakújságírók utazhattak az „Innovációs Napokon” ezzel az autóval. A mindenkori vízfelhasználás, klímarendszeri víz-visszatáplálás, hatásfok-növekedés, tüzelőanyag-fogyasztás csökkenés adatait tableten tették láthatóvá 6. Mivel nem írták le a mérési körülményeket, nem adtak részletes adatértelmezést, egyelőre a kép most csak illusztráció.



8

## A VÍZBEJUTTATÁS

Sajnos csak „móricika” vázlatokat tett eddig közzé a gyár. Az indirekt befecskendezés a turbótöltő utáni csőszakaszba, az intercooler után, több fűvókán át juttatja be a vizet 7. Ami az igazán komoly innováció, az a víz közvetlen befecskendezése. A hengerfejben, az égésterhez csatlakozó zónában nincs már hely a gyertya és a befecskendező porlasztó mellett még egy porlasztónak 8. Egy megol-

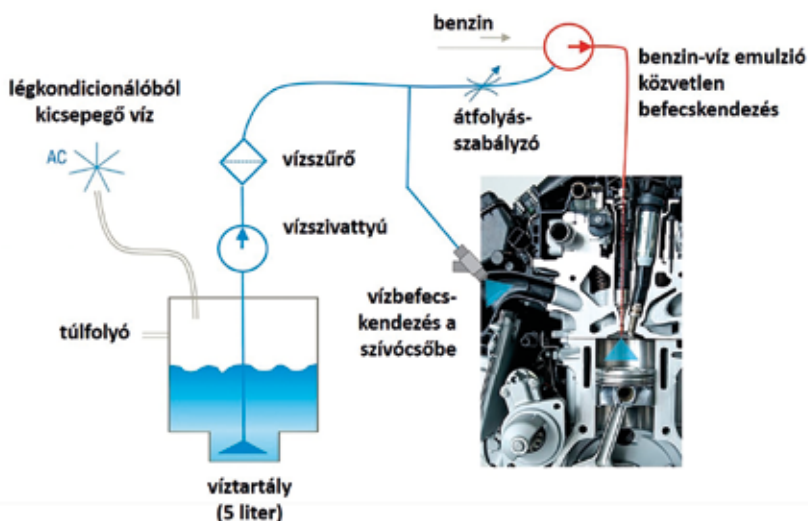
dás marad csak: a vizet a benzinhez a befecskendező injektor előtt kell hozzákeverni 9. Mértéke akár a dózis (tüzelőanyag-adag) 30%-a is lehet. (Nem egyszerű műszaki feladat, várjuk, hogy megnézhesük a műszaki megoldást, hiszen a HPI befecskendezés rail-jében, amikor a vízigény van, a nyomás eléri a 200 bart.) A megoldás több szempontból is tabudöntөгő, hiszen a víz jelenlététől e tájon eddig „irtóztunk”.

## VÍZFORRÁS

A vízbefecskendezésű motorokkal szerelt, tervezetten sorozatban gyártott autók esetében a víz utánpótlása az üzemeltető hétköznapi problémája. Talán az sem mindegy, hogy milyen „szennyezésű” a víz, milyen például a keménysége.

Egy nagyszerű ötlettel a BMW ezt a gordiuszi csomót átvágta. A légkondicionáló kondenzvizét, mely eddig az utcára csepegett, használják fel. Ennek nevet is adtak, a keresztségben a „fedélzeti vízhasznosító rendszer” nevet kapta. Ha csak a jármű nem kivételesen szélsőséges éghajlati körülmények között üzemel, a vízbefecskendező rendszer a kondenzvíz felhasználásával teljes mértékben gondoskodik a működéséhez szükséges vízmennyiségről. Hidegebb időjárásnál, nem mindig padlógázás üzemben, ritkán kerül sor vízbefecskendezésre. A gyáriak szerint az 5 literes víztartály, klíma kondenzvíz rátöltéssel, akár csak évenkénti utántöltést igényel. A motor leállításakor a rendszer az összes vizet a víztartályba folyatja vissza, át, ezzel 0 °C alatt megóvja az egyes alkatrészek eljégesedését és megelőzi a motor korrodálását. A víztartály ugyancsak fagymentes területen kapott helyet a járműben.

Forrás: BMW Group Sajtóinformáció 2015. július 16.



9