

A vezértengely-állítókról

A szelepnnyitás- és -zárás szöghelyzete, valamint a szeleplöket döntő befolyással bír a négyütemű motorok forgatónyomatékának, teljesítményének az alakulására és a károsanyag-kibocsátásra. Ennek érdekében fejlesztették ki a vezértengely-állítók számos változatát. A fokozatmentes vezértengely-állítók az utóbbi években nagy darabszámban épültek be a korszerű Otto-motorokba. Az állítók új generációjával, mely az irányváltó motor elvén alapul, igen gyorsan és üzembiztosan lehet nagy elfordulási szöget beállítani. Ezen állítók felépítése egyszerű, gyártási költségei kisebbek, mint az előző generációké. Az új mechatronikus rendszer működése függ a hidraulikus vezérlés és a motorelektronika együttműködésétől és összehangolásától. A nürtingeni Hydraulik Ring cég az új, fokozat nélkül működő rendszerét „VaneCAM” elnevezéssel jelöli, melyet szabadon forgólapátos, vezérlőegységgel támogatott szerkezetnek nevezhetnénk.

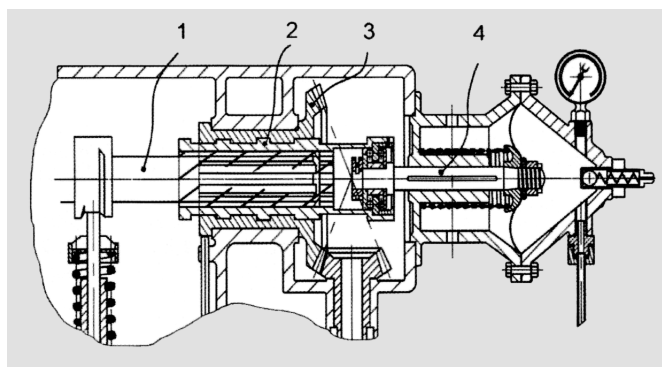
Cikkünkben nemcsak az új VaneCAM-rendszert ismertetjük, hanem történeti áttekintést adunk a vezértengely-állítók fejlődéséről.

Bevezetés és történeti áttekintés

A szelepek nyitását és zárását alapvetően a vezértengelynek/tengelyeknek a forgattyús tengelyhez viszonyított helyzete (nevezzük ezt vezérlési időnek) és a **bütyök formája** határozza meg. Állandó helyzetű („mrev”) vezérlési idővel csak kompromisszum hozható létre.

Milyen az ideális vezérlési idő?

Indításkor és üresjáratban a szívószelep „késői” és a kipufogószelep „korai” zárása az optimális megoldás.



1. ábra: vezértengely-állító szabadalom 1918-ból

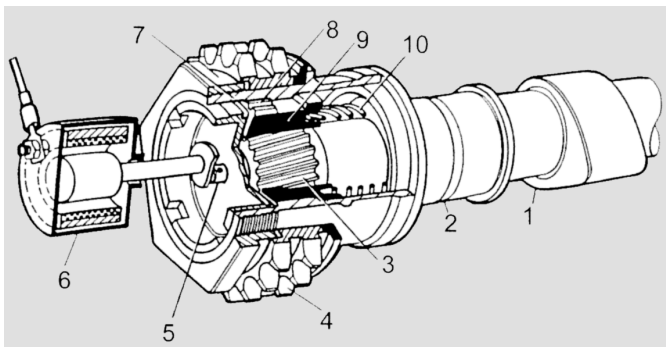
A szívó oldali vezértengelyt ezért „késői”, a kipufogó oldali vezértengelyt pedig „korai” állásba kell elforgatni.

Ha a **közepes fordulatszám-tartományban** a hajtásrendszertől nagy nyomatékot követelünk, jó hengertöltést kell biztosítani. Mivel a friss gázkeverék beáramlási sebessége ebben a helyzetben kicsi, a szívószelepet „koraira” kell állítani, azaz röviddel az alsó holtpont után zárni kell, hogy az értékes keverék ne áramolhasson visszafelé. Ez a szívó vezértengely „koraira” állításával érhető el. Ugyanez szükséges az emisszió és a fogyasztás csökkentése érdekében is. Növekszik viszont a szelepek átfedési ideje, és így növekszik a hengerben maradó gáz mennyisége. Jön a belső kipufogógáz visszavezetés. Következmény: a kisebb égési hőmérséklet és a kevesebb NO_x-kibocsátás. A kipufogó vezértengely „késői”-re állításával ez a hatás fokozható.

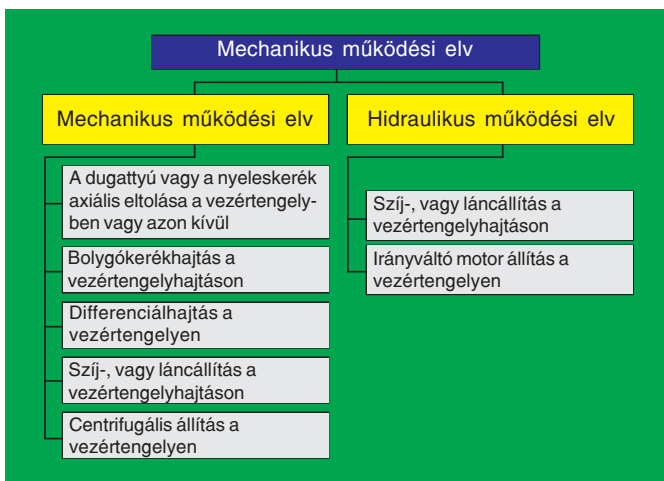
Teljes terhelésnél és nagy fordulatszám esetén ismét a kipufogószelep „késői” nyitása a kívánatos. Ezzel az expanzió hatása a dugattyún hosszabb ideig érvényesül. A szívószelep egyidejű „későire” állításánál a friss gázkeverék nagy beáramlási sebességével mintegy utántöltő hatást fejt ki, azaz jó töltés érhető el a felső fordulatszám-tartományban. A kis átfedésnél pedig kevés a visszamaradó gáz a hengerben, ez jó teljesítményt ad. Így jutunk el a szelepvezérlési idő **koraira/későire** változtatásának szükségességéhez.

A változtatható szelepvezérléssel sikerült olyan motorfejlesztési célkitűzéseket mint a fajlagos tüzelőanyag-felhasználás, a kipufogógáz-összetételi arányok, a forgatónyomaték és a maximális teljesítmény, kedvező irányban befolyásolni. Közel 20 éve keresik a motorfejlesztők a nagy motoroknál alkalmazható költségkímélő megoldási lehetőségeket.

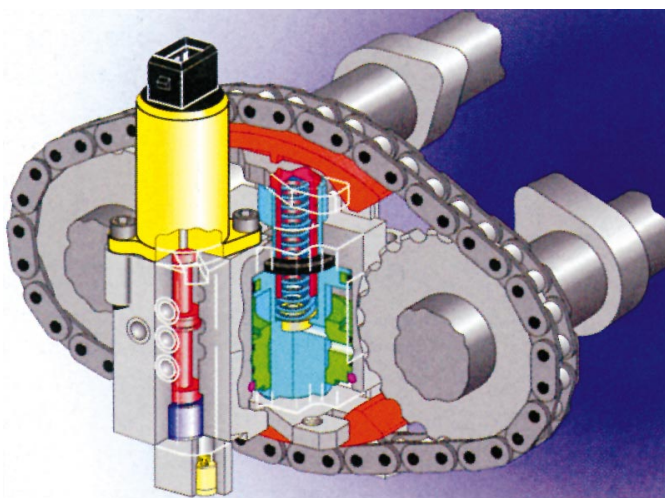
Esetünkben egy egyszerűen megvalósítható vezértengely-állító szerkezetéről van szó, melynél a vezérlési idők üzembiztosan betarthatók. A szögelfordulás folyamatos változtat-



2. ábra: az Alfa Romeo vezértengely-állítója 1983-ból
 1 – vezértengely; 2 – olajbevezető gyűrű; 3 – ferde fogazás; 4 – lánckerék; 5 – vezérlőszelep; 6 – löketmágnes; 7 – fogaskerék-
 agy; 8 – egyenes fogazás; 9 – állítódugattyú; 10 – visszaállító rugó



3. ábra: vezértengely-állítók csoportosítása



4. ábra: az AUDI V6 motor láncos vezértengely-állítója

hatósága, szemben a két végpont (fekete/fehér) beállításával, fokozottan segíti a motorikus paraméterek javítását. Napjaink szériamotorjain, az irányváltó motor elvén dolgozó fokozat nélküli vezértengely-állítókkal találkozunk. A rendszer kifejlesztése feltételezte a hidraulikus vezérlés és a korszerű motormenedzsment üzembiztos együttműködését, mely a beszállítók számára újabb piacszerzési lehetőségeket jelent.

Évtizedekkel ezelőtt, 1918. szeptember 29-én jelentették be Samuel Haltenberger feltaláló szabadalmát az Otto-motorok vezértengelyének állítására. Haltenberger a repülőgépmotorok vezértengelyeinek az elforgatására egy egyenes/ferde fogazású, tengelyirányban elmozgatható szerkezetet fejlesztett ki, melynek működtetését a repülési magasság függvényében a légnyomás változása adta.

Az **1. ábrán** látható az állítóberendezésnek a szabadalmi bejelentéshez csatolt metszeti képe. A kívül egyenes, belül ferde fogazású hüvelyt (2) a levegő nyomása axiális irányban, az állítórudazat (4) segítségével eltolja. Ezzel a vezértengely (1) szög helyzete a forgattyús tengellyel összekapcsolt kúpkerekhez (3) képest megváltozik. Haltenberger szabadalmi bejelentésétől a sorozatgyártásig 65 évnek kellett eltelnie.

Hasonló működési elven – azaz az egyenes/ferde fogazású hüvely eltolásával – oldották meg 1983-ban az Alfa Romeo kétszelepes motorjánál a két vezértengely állítását a **2. ábrán** látható megoldásban. Az állítót a szívószelepek vezértengelyének végére szerelték fel, mely **két (vég)állásban** teszi lehetővé a vezérlési idők állítását. Üresjáratban a „késői” vezérlési időállítást egy visszahúzó rugó (10) tartja fenn, és az olajnyomás, valamint a fordulatszám-növekedés függvényében történik meg az átállítás a „korai” vezérlési időre. Eközben a motorolaj nyomását egy, a vezérlőszelepet (5) működtető mágneses löketállítón (6) keresztül a ferde fogazású állítódugattyúra (9) vezetik. A dugattyú és a vezértengely ferdefogazású kapcsolódásán keresztül a dugattyú axiális eltolásával a vezértengely a lánchajtáshoz, és így a forgattyús tengelyhez képest elfordul. Látható, hogy a rendszer elvi működése hasonló az 1918-ban szabadalmaztatott megoldáshoz.

A vezértengely-állítók három generációja

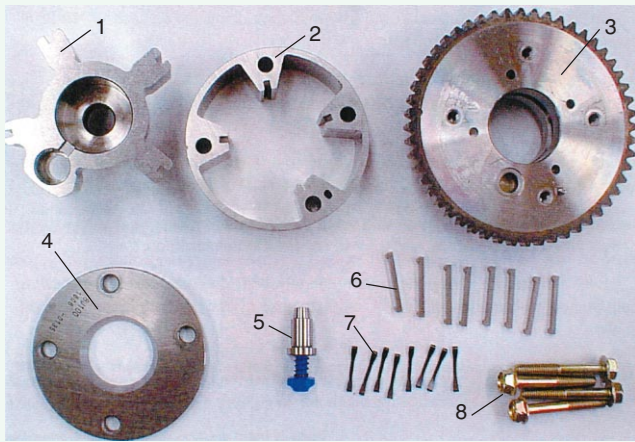
Az ismert vezértengely-állítók különböző működési és működtetési elvek szerint oszthatók fel. A szakmában mintegy 900 különböző – kizárólag a vezértengely-állítás témakörével foglalkozó – szabadalmi bejelentés ismeretes. Ezzel a fejlesztési területtel foglalkozó vállalatok világszerte így védik gondolataikat. Az Alfa Romeo vezértengely-állítójának szériaszerű bevezetését követően, az utóbbi 15 évben a bejelentések száma exponenciálisan növekedett.

A **3. ábra** a vezértengely-állítók csoportosítását mutatja be. Megkülönböztethetők mechanikus és hidraulikus működtetésűek, működési elvük pedig hasonló az Alfa Romeo állítójához, azaz egy dugattyú axiális irányú eltolása és a ferde fogazású kapcsolódással létrehozott szögelfordulással.

A szériamotorokon lényegében három elv alkalmazásával találkozhatunk, melyeket a **3. ábrán** szürke színnel különböztetnek meg. Az első csoportba tartoznak az Alfa Romeo-

A **Renault Vel Satis** gépkocsi motorjánál is hasonló vezérműtengely-állítási megoldással találkozunk. Az **1-es ábra** a VaneCaM típusú állító szerkezet elemeit mutatja. A motor-ECU a mágnesszelepet négyszögjellel vezérli. Az impulzus időtartamának a növelésével vagy csökkentésével lehet módosítani a szívószelepek fázisszögét. Amikor a vezérműtengely a kívánt pozícióba kerül, az ECU stabilizálja a két forgórész (hajtó, hajtott) egymáshoz viszonyított helyzetét. Ennek megfelelően számtalan közbenső beállítási helyzet létezik.

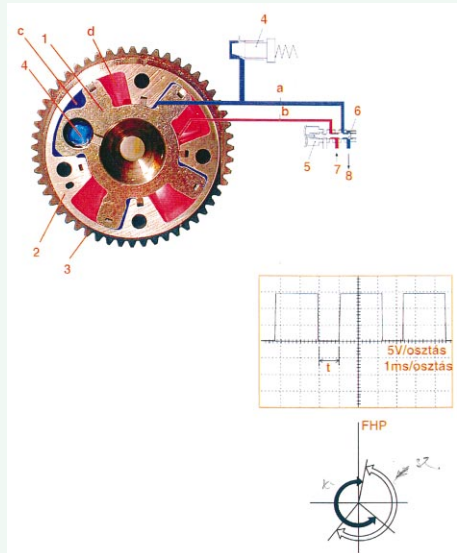
A **2. ábra** az egységet összeszerelt állapotában mutatja, az elektrohidraulikus vezérlőszelep és a reteszleő dugattyú körébe kötve.



1. ábra: a vezérműtengely-állító szerkezeti elemei: 1 – vezérműtengelyre rögzített lapátkerék, 2 – hajtó fogaskerékre rögzített gyűrű, 3 – hajtó fogaskerék, 4 – az állító szerkezet fedele, 5 – reteszleő dugattyú, 6 – a szegmensek tömítőelemei, 7 – a szegmensek rugói, 8 – rögzítőcsavarok

Zárási késedelem növelésekor, azaz késői szívószelep-zárásnál az ECU csökkenti a vezérlés időtartamát (t). Az elektrohidraulikus szelep tolattyúja balra mozdul el. Az olajnyomás bejut a (b) olajcsatornába. Az (a) olajcsatorna a visszavezető furattal kerül összeköttetésbe. A (d) kamrában a nyomás megnövekszik, a (c) kamrában pedig lecsökken. A vezérműtengely a nagyobb zárási késedelemet adó pozícióba fordul el. (Vagyis a hajtó fogaskerék forgásával ellentétes irányban.)

Ebben a helyzetben a reteszleő dugattyú (4) a hajtó fogaskeréken lévő ülésével szembekerül. A rugó ereje erőt fejt ki a reteszleő dugattyúra és ebben a helyzetben rögzíti.



2. ábra: a vezérműtengely-állító szerkezeti elemei és munkaterai: a, b – olajcsatornák, c, d – gyűrűkamra, t – vezérlési idő (testelés), 1 – vezérműtengelyre rögzített lapátkerék, 2 – hajtó fogaskerékre rögzített gyűrű, 3 – hajtó fogaskerék, 4 – reteszleő dugattyú, 5 – vezérlő elektrohidraulikus mágnesszelep, 6 – mágnesszelep szeleptülje, 7 – olajnyomás, 8 – olaj-visszavezetés

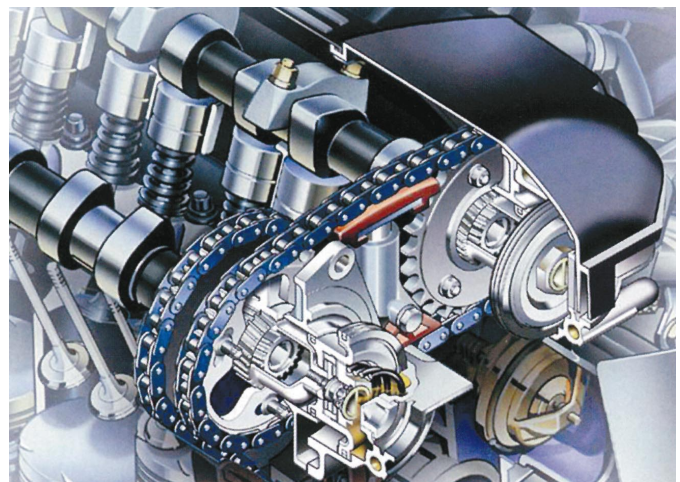
nál alkalmazott ferde fogazáshoz hasonló mechanikus erőhatású megoldások. A második és a harmadik csoportnál már hidraulikusan működtetett láncos kivitelű vezérműtengely-állításról van szó. Ennél a megoldásnál a vezérműtengely végén elhelyezett láncszem hidraulikus működtetésével történik meg a vezérműtengely állítása. A harmadik csoportba tartoznak az ugyancsak szériamotorokon használatos, az irányváltó motor elvén dolgozó hidraulikus rendszerek. A 3. ábrán bemutatott további csoportok a szériabevezetés szempontjából jelentéktelenek.

Az első generáció: kétpontos (két véghelyzet) állítók

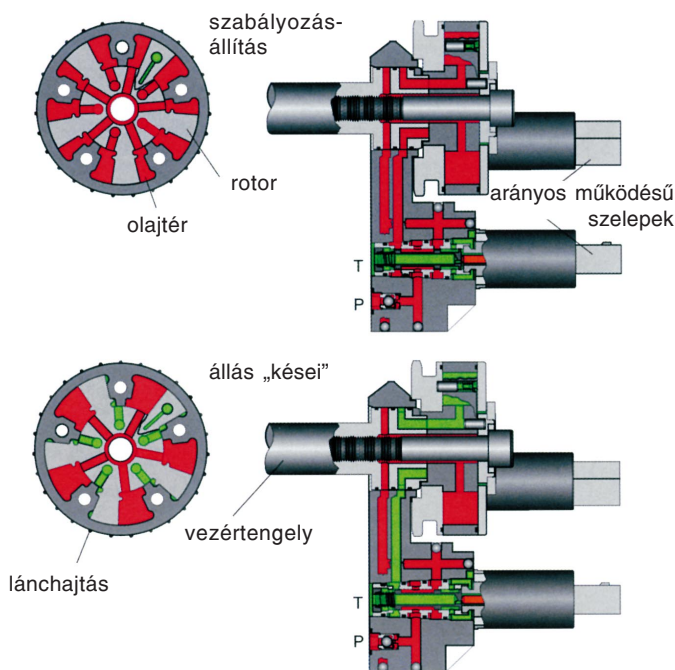
A vezérműtengely-állító első generációja a vezérműtengely elforgatását két (vég)állásra tette lehetővé. Az Alfa Romeo példáját követve több vállalat, mint a DaimlerChrysler, a Ford, a Jaguár, a Nissan, a Porsche és a Toyota hozta piacra egyenes/ferde fogazású szerkezeit a fogazott szíj-, vagy láncszemre integrálva.

A Hidraulik Ring láncos kivitelű vezérműtengely-állító fejlesztett ki a Porsche-, az Audi- és a VW-motorokhoz. Az állítókat a két vezérműtengely közé szerelték be, és a for-

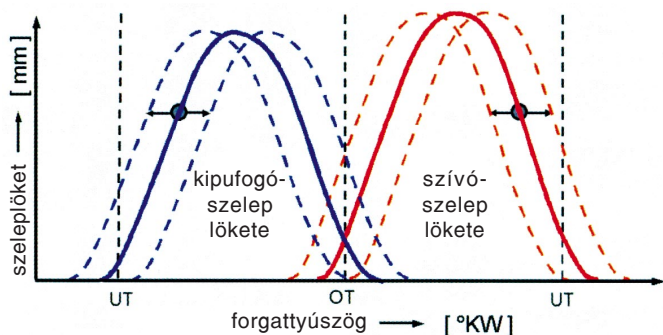
gattyús tengelyről a **meghajtást mindig a kipufogószelepek vezérműtengelye** kapja, mely egy rövid láncszemmel kapcsolódik össze a szívószelepek vezérműtengelyével. A láncszem pedig magába az állítóba építették be. A vezérműtengely végére szerelt szerkezet egészen rövid



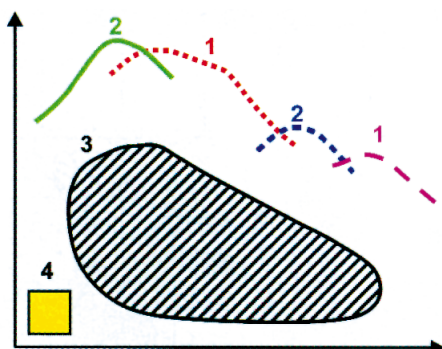
5. ábra: a BMW hathengeres motorjának kettős VANOS-rendszere



6. ábra: az irányváltó motor elvén működő fokozat nélküli vezértengely-állító



7. ábra: lehetséges szeleplökétgörbék



teljes terhelés	szívócsőállás	szívó vez. teng.	kipufogó vez. teng.
2	hosszú	korai	kései
1	hosszú	kései	kései
2	rövid	korai	kései
1	rövid	kései	kései
3	részterhelés	korai	kései
4	üresjárat	kései	korai

8. ábra: VW6-os kettős vezértengely állításának szabályzási stratégiája

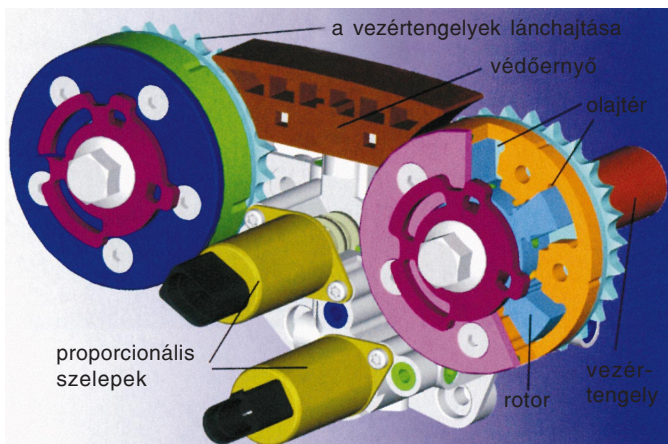
kialakítású. A 4. fotóábra az Audi V6-os, hengerenként ötszelepű motorjánál használt láncos vezértengely-állítót mutatja. A vezérléshez szükséges útszelep vízszintesen helyezkedik el. A fogaskerékes megoldásokkal szemben ez az építési mód kompaktabb és költségkímélőbb. Ezért ezt a megoldást a VAG-konzern több motorjánál jelenleg is alkalmazza. A maximális elfordulási szög a forgattyús tengelyen mérve mintegy 30–35° ft.

Az első generációs vezértengely-állítók vezérlése a legtöbb esetben egy elektromágnessel működtetett 4/2-es útszeleppel történik, ahol a 4 a csatlakozások, a 2 pedig a működtető állások számát jelenti. A kívánt vezértengelyállásnak megfelelően történik az állító egyik oldalán az olajnyomás növelése vagy csökkentése. A stabil végállás tartásához kis olajnyomás szükséges, amely meleg motornál és kis fordulatszámánál nem mindig áll rendelkezésre. Továbbá fontos az egyik végállásból a másikba történő átállás gyorsasága. A vezértengely forgásával ellentétes irányban, a „korai” állításhoz nagyobb energia szükséges, ezért több állítónál az olajnyomásos állítóhoz egy kiegészítő rugót szerelnek be. Az állítókat értelemszerűen a vezértengely hajtásának a közelében helyezték el. Itt volt legegyszerűbb a hajtás erőfolyamának a megszakítása és ez a legalkalmasabb hely a vezértengely elforgatására is.

Az első vezértengely-állító alkalmazásával a legfontosabb célkitűzés, a maximális teljesítmény növelése, a szívószelep zárásának az eltolásával sikerült. Továbbá a „késői” vezérlési idő állítással az üresjárat közeli tartományban is nyugodtabb motorjárás érhető el, nem beszélve az üresjárat fordulatszám csökkentésével mérsékelhető kipufogógáz-kibocsátásról.

A második generáció: fokozat nélküli állítók

A második generációt a vezértengelyt fokozat nélkül állító szerkezetek jelentik egyenes/ferde fogazatú működtetéssel. Ezt a rendszert a BMW vezette be a hathengerű motorjánál. A VANOS-rendszerrel a szívószelep oldalon állítják a vezértengelyt (5. ábra). Az olajnyomás előállítására nagynyomású szivattyút építettek be. Ezt a kialakítást később követte egy a kipufogószelep oldalon is (dupla VANOS), de itt a nagynyomású szivattyút már elhagyták, mivel a szükséges olajnyomást a motor



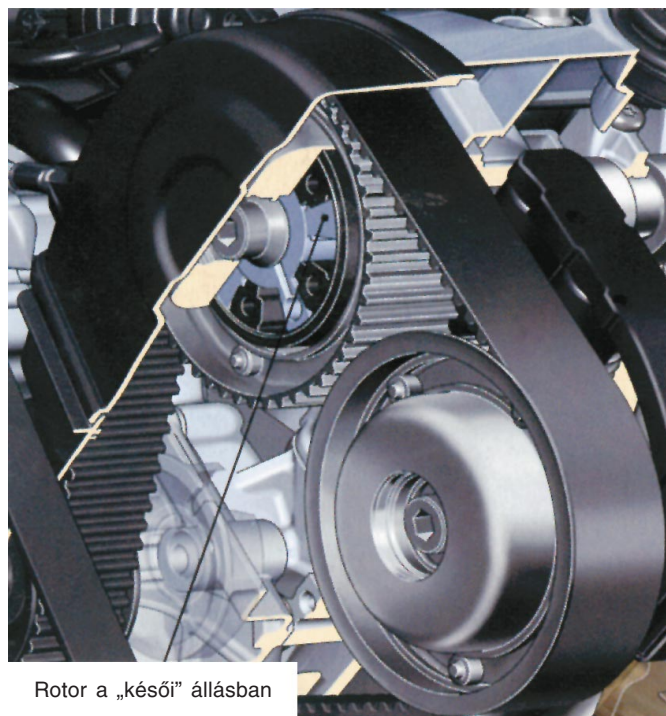
9. ábra: a VW VR6-os motor kettős vezértengely-állítója

olajnyomása biztosította. A VANOS-rendszerrel a vezértengelyt 60° -t forgattyús tengely szögig lehet elforgatni. A vezértengelyt meghajtó nyomatékmal mindkét vezértengelyt a „késői” irányba forgatták el. Mivel motorindításnál és üresjáratban lehetőleg kis szeleppátfedés szükséges, a kipufogószelep vezértengelyét a „korai” irányba kell elforgatni. Ennek segítésére a kipufogó oldalon egy nyomórugót szereltek be. A vezértengely szükséges állása a motorparaméterek, terhelés, fordulatszám- és motorhőmérséklet függvénye. A motor szeleppátfedése és maradékgáz-hányada a NO_x -emisszió csökkentéséhez illeszthető, mely gyakorlatilag egy külső kipufogógáz-visszavezetőn keresztül következik be.

A második generációval a fejlesztési célkitűzés tehát további fordulatszám-tartományokban a teljesítmény, illetve a forgatónyomaték növelése volt, és az üresjárat, valamint a kipufogógáz minőségének a javítása.

A harmadik generáció: VaneCAM

A vezértengely-állítók új generációját az irányváltó motor elvére alapozott szerkezet jelentette. A második generációhoz képest ez még kompaktabb és költségkímélőbb kialakítást jelent, elősegítve ezzel beépítését kisebb motorokba is. A szívó és kipufogó oldali vezértengelyekre illesztett állítók a meglévő hengerfejekre ráépíthetők. Az állító belsejében található a vezértengellyel összekapcsolt, elforgatható rotor (6. ábra), a külső részt pedig lánccal vagy fogazott szíjjal hajtják. A külső és a belső rész közötti kapcsolatot az olajtér jelenti, melyben a motorolaj nyomása uralkodik, és benne helyezkedik el a rotor is. A rotor lapátjainak mindkét oldalán a megfelelő olajnyomás biztosításáról egy elektronikusan vezérelt 4/3-utas proporcionális (arányos működésű) szelep gondoskodik. A rotor mindkét oldalán bekövetkező olajnyomás-változás függvényében változik a vezértengely viszonylagos szöghelyzete is. A 7. ábra mutatja be a vezértengely lehetséges szöghelyzeteit, illetve a vezérlési idő állásokat. A szaggatott vonalak a lehetséges vezérlési időhatárokat jelentik.



10. ábra: kettős vezértengely-állító az AUDI 3,0l-V6-os motorján

A vezértengely helyzetérzékelője által mért szögmértéket a motorelektronika által előzetesen megadottal (alapjel) hasonlítják össze, és a proporcionális szelepre adott vezérléssel a vezértengely kívánt állását állandóan után-szabályozzák.

Példaként egy VW-motor kettős vezértengely-állító stratégiáját követhetjük végig a 8. ábrán. Egy kapcsolható szívócsővel, valamint a szívó és kipufogó vezértengely-állítóval felszerelt szívómotor esetében mutat be négy elvi állást a megfelelő rövid és hosszú szívócső állás esetén. Ezzel az ábrázolással jól érzékeltethető a különböző szívócsőhosszak befolyása, kombinálva a vezértengely-állítókkal a szívó- és kipufogószelep-állásokra. Ilyen szabadságfok mellett kidolgozható és véglegesíthető az értelmes állítási stratégia. A motor kialakítása függvényében ez a stratégia különböző lehet. Például nagy forgatónyomaték elérése érdekében, közepes fordulatszám esetén hosszú szívócsőcsatorna szükséges. Erre az esetre a szívószelep vezérlése a növekvő fordulatszám függvényében a „korai” állásról a „késői”-re kapcsol. Nagyobb fordulatszámnál egy rövidebb szívócsőhossz kapcsolódik be, és a szívás vezértengely-állítása a maximális teljesítmény elérése érdekében a „késői” irányba történik.

A mellékelt táblázatban példaként egy 6 hengerű motor szívócső- és az egyes vezértengelyek szelepemelő görbéinek a vezérlési idejét adták meg 1 mm-es szeleplököt esetén. A szívó oldali vezértengely-állítást a forgatónyomaték növeléséhez speciálisan az alsó fordulatszám-tartományban, és a belső kipufogógáz-visszavezetésnél használják, ahol a „szívó nyit” teljesítményállásból a „korai” irányba, maximálisan 52° -t szögmértékkel állítják el. A kipufo-

gó vezértengelyének elállítása történhet egyrészt az optimális üresjárat érdekében „kipufogó zárva” teljesítmény-állásból a „korai” irányba, vagy a maximális kipufogógáz-visszavezetési hányad érdekében a „késői” irányba, ahol a mindenkor szög tartomány maximálisan 22° elfordulási szögig terjedhet. Összehasonlítva egy hagyományos, kétszelepes motort vezértengely-állítás nélkül, egy négyselepes vezértengely-állító motorral, üresjáratban a megtakarítás körülbelül 15,5%-ot, részterhelés esetén 2000 min^{-1} fordulatszámnál és 2 bar középnyomásnál kb. 5,5%-ot érhet el. Azaz szívó- és kipufogószelep oldali állítással kb. 10%-os megtakarítás érhető el.

Összehasonlítva a fogazott, fokozat nélküli vezértengely-állítókkal, a VaneCAM-rendszer jelentős költségcsökkentő és súrlódásszegény megoldást jelent. Az alkatrészeket színterezik és az olajtér tömítése is egyszerű konstrukciós megoldású. A rotor a hengerfejből kikerülő esetleges forgácsot kicsapatja, a forgácsszűrő pedig összegyűjti és védi a szelepet. A rendszer már 0,5 bar nyomásnál biztos működésű.

A motor biztonságos indításához a kipufogószelep-állítónál a nagy elállítási szöggel párosulva egy mechanikus reteszelt szereltek be a vezértengelyre szerelt rotor és a vezértengely meghajtása közé, mely a legkisebb állítási nyomás túllépésekor kireteszel. A motor leállításakor a reteszeléssel az állító szerkezet automatikusan beállítja a

motor indításához szükséges „korai” kipufogó vezértengely helyzetét. A **9. ábrán** a VW VR6-os kettős vezértengely-állítója, míg a **10. ábrán** az Audi 3,0l-V6-os motorjának kettős vezértengely-állítója látható. Utóbbinál a kipufogószelepek oldalán egy kétpontállítót, a szívószelepek oldalán pedig fokozat nélkül működő állítót építettek be.

Összefoglalás

Az elkövetkezendő években az összes korszerű Otto-motor vezértengely-állítása az irányváltó motor elvén épül fel. A rendszer kompaktabb és az alumínium alkalmazásával könnyebb lett. A gyártási költségek csökkenése elsősorban a darabszám növekedésétől várható. Nagy előrelépést jelenthet a komplett egység egyetlen beszállító kezébe adásától.

Várhatóan a két vezértengelyes motorok esetén szétválasztják a két tengely működtetését. Különösen a belső kipufogógáz-visszavezetés szabályozása fokozat nélkül ható rendszerrel gyakorolhat kedvező hatást a kipufogógáz-kibocsátásra.

Dr. Pordán Mihály

*Felhasznált irodalom: MTZ 2002/4.,
Hydraulik Ring GmbH prospektusok*