

# Piezo befecskendezőszelepek

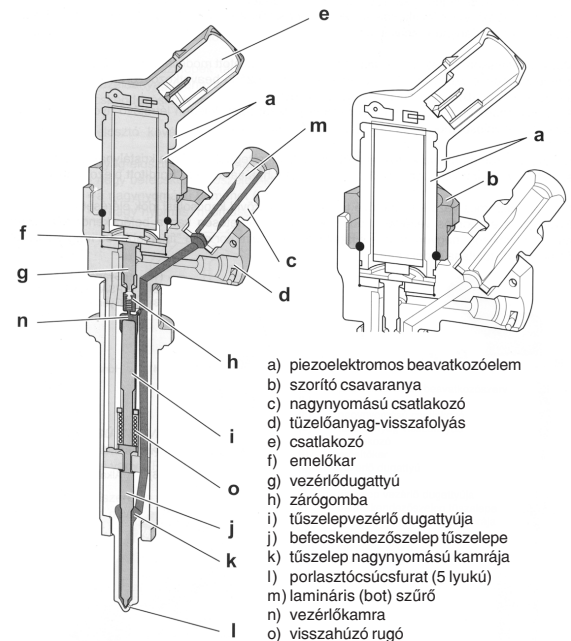
Az utóbbi időben gyakran joggal beszélünk a dízeltechnika hihetetlen gyors fejlődéséről, arról, hogy a befecskendezőrendszerek egyre tökéletesebben működnek, a befecskendezési folyamat egyre pontosabban vezérelhető és ennek következtében a dízelmotorok zaj- és károsanyag-kibocsátása korábban elképzelhetetlen mértékben javult. A fejlődés azonban még nem ért véget, erre többek között bizonyíték a közös nyomásterű (CR) befecskendezőrendszerek hallatlanul gyors fejlődése, ezen belül a piezovezérlésű befecskendezőszelepek szériagyártásban való megjelenése.

A közös nyomásterű befecskendezőrendszerek előnyös tulajdonságai közzismertek:

- a befecskendezési nyomás ugyan korlátok között, de szabadon megválasztható, mivel a nyomás előállítása független a motor fordulatszámától,
- a befecskendezéskezdet értéke széles tartományban változtatható,
- a befecskendezés időbeni lefolyása, ezen belül az adagmegosztás (előadagok, több főadag és az utóadagok, mert az Alfa Romeo 147 JTD 16V motorjának Multijet-rendszere (Bosch) már tudja ezt szériában) a motor optimális működéséhez szükséges módon alakítható. A piezovezérlésű befecskendezőszelepek éppen ebből a szempontból bírnak különös jelentőséggel, ami az ilyen szelepek különösen gyors működésének köszönhető.

A közös nyomásterű befecskendezőrendszer befecskendezőszelepeinek vezérlésére kezdetben kizárólag elektromágneket használtak, ma azonban már piezokristályt is alkalmaznak. A vezérlő mechanizmussal szemben követelmény a kapcsolási idő (nyitás, zárás) jelentős lerövidítése,

nagy ciklusfrekvencia elérése (sokszoros befecskendezés), kis veszteségteljesítmény, a környezeti hőmérséklettől való kis függőség és a nagy élettartam. Természetesen a nagy szériájú gyártás elfogadható költségszintje. Az elektromágneses szelepek konstrukciója ma még lépést tud tartani a követelményekkel, de a jövő igényeit – ma úgy tűnik – a piezoműködtetésű beavatkozók tudják csak kielégíteni.



1. ábra

## Piezohidraulikus vezérlés

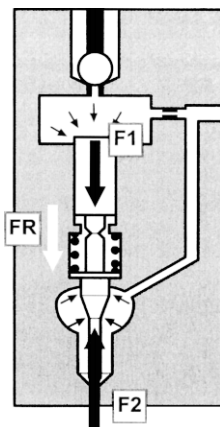
A napjaink gyakorlatában használatos piezovezérlésű dízel befecskendezőszelepek kifejlesztője és gyártója a Siemens cég. A piezoporlasztóval szerelt rendszer reprezentáns képviselője a Siemens SID 801 Hdi (Peugeot).

## Mi a piezoelektromos jelenség?

Ezt a különös fizikai jelenséget 1880-ban még egyetemi hallgató korában fedezte fel Pierre Curie fivérével, Paul Jacques-kal együtt. A két francia fizikus „nyomási villamosságról” beszélt, mivel a jelenség lényege, hogy egyes kristályokon (pl. kvarc vagy turmalin) bizonyos irányú erőhatásra villamos feszültség jelenik meg. Ezt az elvet hasznosítják pl. régi lemezjátszó hangszedők, gázgyújtók, öngyújtók. A gépjárműtechnikában is gyakran találkozunk a piezoelektromos jelenséggel, gondoljunk csak pl. különféle nyomásjeladókra. Gabriel Lippmann Nobel-díjas fizikus már 1881-ben felismerte, hogy a jelenség megfordítható és ezzel igen sokrétű felhasználásának nyitott utat. Ha ugyanis a kristály két, egymással szemben lévő lapjára feszültséget kapcsolunk, az alakváltozást hoz létre rajta. Váltakozó feszültséggel a kristályt állandó frekvenciájú mechanikai rezgésre lehet gerjeszteni. Ez az alapja a rádióadókban, a kvarcórában, kúrtben vagy éppen a szívritmus-szabályozóban való felhasználásának.

A piezoporlasztó metszeti képét látjuk az 1. ábrán. A befecskendezőfúvóka vezérlését közvetve végzi a piezokristály azáltal, hogy a vezérlőszelep működtetésével a vezérlőtér nyomását változtatja meg. A befecskendezőszelep zárt, ha a vezérlőszelep is zárt, ezért a vezérlőtérben ugyanakora nyomás alakul ki mint a fúvókatú alatti térben, és ez a nyomás éppen megegyezik a pillanatnyi elosztócsőnyomással.

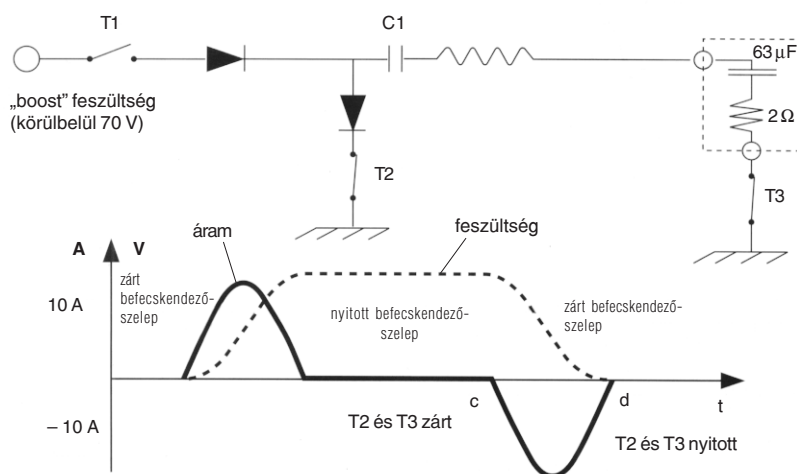
A vezérlődugattyú keresztmetszete azonban kb. 1,5-szerese a fúvókatú keresztmetszetének, ezért a nyomásból származó erők eredője és a rugóerő a fúvókatút az ülékre szorítja. A befecskendezés akkor kezdődik meg, amikor az ECU feszültséget kapcsol a piezokristályra. Ennek hatására a kristály kiterjed (szerkezeti hossza adott tengely mentén megnő), és az emelőkaron keresztül megnyitja a vezérlőszelepet. A vezérlőtérből a tüzelőanyag a túlfolyó felé távozik, a nyomás, és vele együtt a fúvókatú zárását biztosító erő csökken. Mivel azonban a vezérlőtér az elosztócső nyomásterével fojtáson keresztül áll kapcsolatban, a fúvókatúre ható nyomás nem változik, az felemelkedik az ülékéről. A szelep zárása akkor jöhet létre, ha a vezérlőszelep ismét zár, a vezérlőtérben a nyomás megnő az elosztócső nyomásszintjére, a fellépő erőhatások a szeleptűt ismét az ülékre szorítják. Ehhez az szükséges, hogy a piezokristály az előbbivel



2. ábra

ellentétes polaritású feszültség hatására visszanyerje az eredeti alakját (szerkezeti hosszát). A 2. ábra mutatja a fellépő erőhatásokat. Az F1 erő a vezérlőtérben fellépő nyomásból származó erő, F2 a szeleptűre ható

erő, amely az elosztócsőnyomásból származik, FR a rugóerő. A sokéves fejlesztőmunka eredményeként olyan speciális kerámiát állítottak elő, amely megoldotta a legnagyobb problémát, megakadályozza a nagy hőmérsékleten létrejövő kristálydeformációt. A piezovezérlőt igen sok vékony rétegből készítik, a kielégítő mértékű tágulás elérésére. A befecskendezőszelepleben egy 30 mm hosszú piezoelem több mint 300, egyenként 80 µm vastagságú rétegből áll. Ez egy előszerelt egység, amely a gépjárműüzem feltételeinek megfelelően van beágyazva (hőmérséklettűrés: -40 °C – +140 °C, nagyfokú rezgésállóság). A vezérlő munkalökete 50 µm, amely az egykarú emelőn megkétszereződik. A szerkezet elektromos működésének elvi vázlatát mutatja a 3. ábra. A T1, T2



3. ábra: a porlasztóműködtető áramkör elvi vázlatja, a működtetés feszültség- és áramfolyása

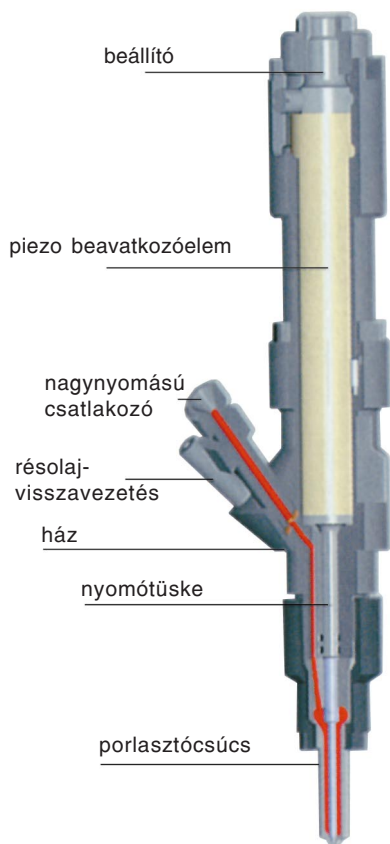
## Kétmillió piezoporlasztó

2002 október közepén elkészült a kétmilliomodik common-rail, azaz közös nyomásterű befecskendezőrendszerben alkalmazott piezoporlasztó a Siemens VDO Automotive AG limbach-oberfrohnai (Németország) üzemében. A történelmi esemény alkalmából a Siemens VDO és a Siemens Corporate Technology (München) illetékes vezetői stratégiai ülést tartottak. Wolfgang Dehen, a Siemens VDO elnöke szerint jó döntés volt a limbach-oberfrohnai üzemet a dízel befecskendezőrendszerek gyártásának világszintű központjává tenni. Dr. Klaus Egger, a Siemens VDO elnökségi tagja visszatekintett a szászországi üzem múltjára, hangsúlyozta a kiválóan képzett dolgozók nagy szerepét az üzem sikertörténetében, és utalt a nagy értékű investícióra. Eddig a gyárat 204 millió euróval támogatták, amely szükséges volt a dízelbefecskendezéstechnikai bázis létrehozásához. A vállalattal kapcsolatos hír továbbá, hogy dr. Andreas Kappel, a piezoporlasztó kifejlesztője 2002-ben feltalálói díjat vehetett át. A piezoporlasztók hatalmas technikai ugrást jelentenek a tisztább üzemű motorok felé. Ezt a forradalmian új technológiát először 2000-ben, CR befecskendezőrendszerű dízelmotoroknál vezették be, és a közeljövőben már a benzínbefecskendezőknél is alkalmazni fogják. A piezoporlasztók fejlesztése ezzel még nem zárult le: Andreas Kappel és csoportja most a segénykeverékű Otto-motorok speciális piezoporlasztóin dolgozik, és figyelmüket a F1-es motorokban történő felhasználás lehetősége sem kerüli el.

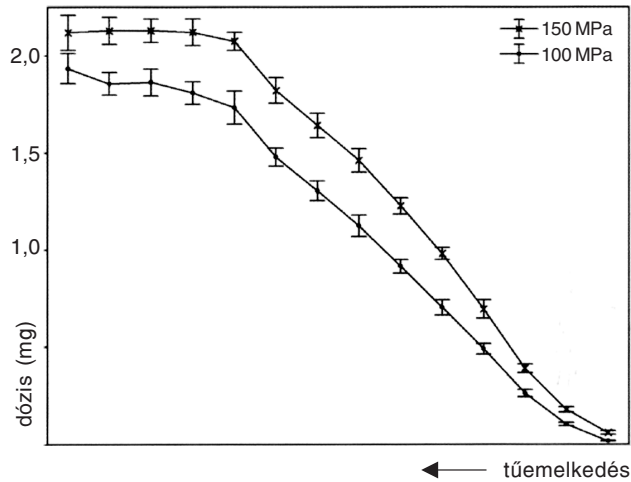
és T3 kapcsolók tranzisztorokat jelképeznek, a piezobefecskendezőt pedig sorbakapcsolt kapacitásból és ohmos ellenállásból álló helyettesítő kapcsolása jelzi.

A befecskendezés kezdeti pillanatában az ECU zárja a T1 és T3 tranzisztoro-

kat, a piezovezérlő feltöltődik. Ez kb. 10 A erősségű árammal indul, kb. 200  $\mu$ s alatt a kristály eléri a teljes kiterjedését. Közben az áramerősség lecsökken, viszont a feszültség mintegy 140 V-ra növekszik. Ez annak köszönhető, hogy a 70 V nagyságú működtető feszültség csak az első kristályréteg deformációjához szükséges, ez a deformáció a szomszédos rétegeket összenyomja és így a piezo jelenséget még egyszer kihasználva, feszültséget szolgáltat a C1 kondenzátor feltöltéséhez. A szelep zárása úgy következik be, hogy az ECU zárja a T2 tranzisztort, ezzel a C1 kondenzátor a piezo-kristályon keresztül kisül. Az előzővel ellentétes polaritású feszültség hatására, az ábrán is látható módon, ellentétes áramirány alakul ki, ismét kb. 10 A maximális értékkel. A kristály összehúzódik, a feszültség és az áramerősség nullára csökken. A rendszer visszaáll eredeti állapotába.



4. ábra: kísérleti, piezós, direkt vezérlésű porlasztóegység



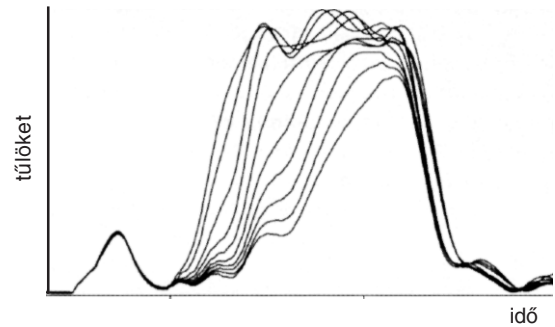
5. ábra: a befecskendezett mennyiség (mg-ban) a tüemelkedés függvényében, két különböző elosztócsőnyomás mellett

### Piezo közvetlen szelepvezérlés

A Hannoveri Egyetemen kutatási célra kifejlesztettek egy piezovezérlésű common-rail befecskendezőszelepet, amely azonban lényegesen eltér az előbbieken ismertetett, sorozatban is gyártott hasonló szelepektől. Eddig ugyanis ezek a befecskendezőszelepek indirekt vezérlésűek voltak, vagyis akár piezoelemmel, akár elektromágnessel csak a vezérlőszelepet működtették. A fúvókatú nyitását vagy zárását a két oldalán fellépő nyomások különbsége biztosította. Tehát elektrohidraulikus vezérlést valósítottak meg. Ez a mechanikus befecskendezőszivattyúkhöz képest hihetetlen sebességet és befecskendezési pontosságot eredményezett ugyan, de a reprodukálhatóság és a befecskendezési folyamat irányításának lehetősége mégis korlátozott. A közvetlen vagy direkt vezérlésű fúvóka ezen a területen is fantasztikus lehetőségeket kínál. A kísérleti befecskendezőrendszer a piezovezérlésű befecskendezőszelepből, egy erősítőegységből, egy jellegmező bázisú vezérlőmodulból és egy Windows alapú számítógépes környezetből áll. Az elosztócső és a nagynyom-

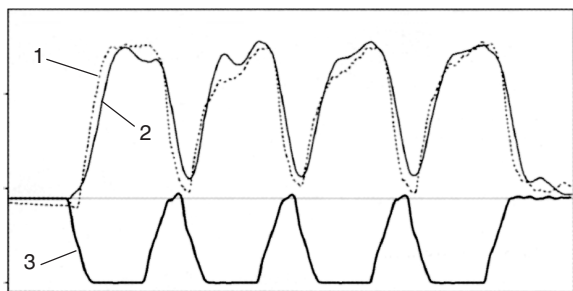
mású szivattyú sorozatban gyártott common-rail rendszerből való. A befecskendezőszelep a zárás elvén működik, a piezovezérlő közvetlenül a fúvókatúre fejt ki erőt egy nyomórúdon keresztül. Az üzemi feszültség rákapcsolásakor a kristály kitégül és az ülőkre szorítja a fúvókatút. A túlöket mérésére egy hőmérséklet-kompenzált Hall jeladó szolgál. A befecskendező-fúvóka metszete látható a 4. ábrán. Alapvető követel-

mény a nagy állítóerő és a kis villamos kapacitás. Ezt nagyfeszültségű, több-rétegű piezoelemmel valósították meg, melynek fajlagos hosszváltozása anyagminőségtől függően kb. 1–1,5‰. Az erősítőegység kimenő feszültsége 0–1000 V, impulzusteljesítménye 12 kW, tartós teljesítménye kb. 200 W. Ez lehetővé tesz 3500  $\text{min}^{-1}$  fordulatszámon tíz, 5000  $\text{min}^{-1}$  fordulatszámon



6. ábra: a fúvókatú nyitási sebességének változása meghatározza a túmozgás időfüggvényét

még hat befecskendezést a dízelmotorra jellemző időablakban. A dinamikai követelmények teljesítésének a piezokristályból, nyomócsapból és a fúvókatúból álló rendszer saját frekvenciája szab határt. A vezérlés 10 V analóg jellel történik. A működési elvből következik, hogy a piezokristály alakváltozása szabja meg a tüemelkedés mértékét. A piezokristály kiterjedése 1000 V feszültség-



7. ábra: négyszeres befecskendezés, homogén tüzelőanyag-eloszlással (1 – adag, 2 – túlökét, 3 – feszültség)

nél a legnagyobb, a fúvóka ekkor zárt. A feszültség csökkentése eredményezi a fúvóka nyitását, tehát a túemelkedés mértéke arányos a feszültség csökkentésével. Ezzel a legkisebb befecskendezett mennyiségek (pilot sugarak) is rendkívül pontosan létrehozhatók. Erre mutat példát az 5. ábra. Az elősugár nagyságrendje 1 mg, ezt az indirekt vezérlésű befecskendezőszelepekkel nem lehet kielégítő pontossággal reprodukálni, itt azonban a fúvóka

A közvetlen vezérlésnek köszönhetően szinte tetszés szerint beállítható az egyes befecskendezések közötti idő. A fő- és az elősugár mennyisége pontosan állandó, viszont a távolság szabadon programozható. Itt az elősugár és a fősugár közötti idő csökkentése 200  $\mu$ s lépésközökben történik. A 6. ábrán látható, hogy a fúvókátú nyitási és zárási sebessége is szabadon megválasztható, ennek dokumentálása látható a túlökét időfüggvényében, a főadag befecskен-

részlökettel történő nyitásával ez tökéletesen megoldható. Az ábrán a befecskendezett mennyiség (mg-ban) látható a túemelkedés függvényében, két különböző elosztócsőnyomás mellett. A nagyon jó reprodukálhatóságot mutatja, hogy az egyes mérési pontoknál jelölték a húsz működtetés esetén mért eltéréseket is.

dezése során, nyitásnál. Többféle befecskendezéslefutás lehetséges, négyzet, trapéz, csónak alakú befecskendezéslefutásról lehet szó. A bemenő jel módosításával szinte tetszés szerinti lefutás is létrehozható. Ütemezett befecskendezésre mutat példát a 7. ábra, négyszeres befecskendezést, homogén tüzelőanyag-eloszlást láthatunk. Ennek létrehozása csak rendkívül dinamikus befecskendezőrendszerrel lehetséges. Az ismertett rendszer korlátai a többszörös befecskendezés terén lényegében csak a nagyfeszültségű erősítő tartós vezérlőtéljesítményétől függenek. Az elektronikus irányítással létrehozható, rendkívül rugalmasan alakítható befecskendezéslefutás vizsgálata nagyszerű eszközt adott a kutatók kezébe a még tökéletesebb dízelmotorok kifejlesztéséhez.

**Szalai–Nszl**

(Forrás: Siemens VDO és Peugeot gyári közlemények, MTZ 2002/2. szám)