

# Szíkra, vagy lézer, vagy...

2. rész

## Mikrohullámú sugárzás segítségével történő gyújtás kísérlete Otto-motorban

A cikk előző részéből némi ismeretet szereztünk a lézersugárral való gyújtás lehetőségéről, annak előnyeiről, a fejlesztések, kísérletek állásáról. Most nézzünk meg egy másik gyújtási lehetőséget, amelyet mikrohullámú sugárzás segítségével hoznak létre. Jelen cikk két kísérletet mutat be vázlatosan. Az eljárás elnevezésének angol és német megfelelői MWI Microwave Ignition, MWZ Mikrowellenzündung.

### 1. kísérlet

**Mikrohullám alapú gyújtásfolyamat közvetlen benzinbefecskendezésű sugárvezetett elégetési eljárást megvalósító Otto-motorok számára.**

Már három évvel ezelőtt is olvashattunk a mikrohullám segítségével történő gyújtásfolyamatról, akkor a Karlsruhei Műszaki Egyetem Dugattyús Gépek Intézete közölte eredményeit. Már akkor terítéken volt, hogy Otto-motorok közvetlen benzinbefecskendezéssel és sugárvezetett elégetési eljárással dolgoznak, mert így nagyobb a lehetőség a fogyasztás és a CO<sub>2</sub>-emisszió csökkentésére, mint más égésfolyamatok során. Azonban e folyamatok megvalósításához jelentősen nagyobb követelmények hárulnak a gyújtórendszerre (Autótechnika 2008/8, 10), ezért a hagyományos gyújtást helyettesítendő mikrohullám alapú gyújtásfolyamatot vizsgáltak.

### Bevezetés

A közvetlen benzinbefecskendezéssel tüzelőanyag-sugár-vezetésű elégetési eljárással üzemelő motorban a légviszony lokális és időbeli folyamatos változása miatt, mindig csak egy határolt tartományban van jelen gyújtható összetételű keverék. Az is ismert, hogy a tüzelőanyag-sugár által okozott áramlási viszonyok és lengések megnehezítik a gyújtást. Ezen megfontolásokból kezdtek kísérletezni mikrohullám alapú gyújtásfolyamat létrehozásával. Gyújtógyertyaként koaxiális

üregrezonátort használnak, és a berendezés által létrehozott plazmaréteg az égéstér irányába szabadon helyezkedik el, ellentétben a hagyományos gyertyával, ahol a gyertya két elektródája között van jelen. A megoldás továbbá tetszőleges gyújtástartamot és szabadon beállítható szikrasorozatot tesz lehetővé. Termodinamikai mérések segítségével meghatározták, hogy a különböző gyújtástartamok és gyújtássorozatok hogyan hatnak a motor üzemére [2].

### A mikrohullámmal történő gyújtás folyamata

A kísérletek során alkalmazott gyújtórendszer nagyon leegyszerűsítve egy a mikrohullám előállításához szükséges teljesítményt létrehozó egységből, és egy mikrohullám-rezonátorból állt. Már akkor



1. ábra

törekvések voltak arra, hogy a két egyseget kombinálják. Az alkalmazott rezonátor koaxiális  $\lambda/4$  - üregrezonátor. Az 2. ábra mutatja vázlatosan a rezonátor sematikus metszeti képét.

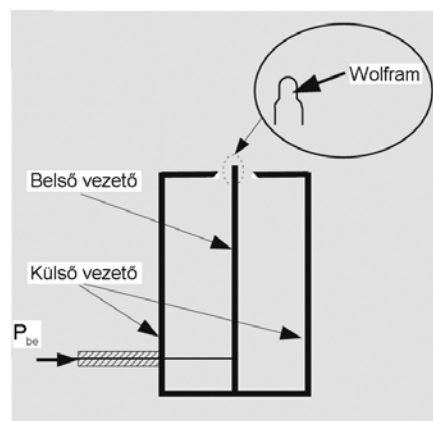
Az alsó vége elektromosan rövidre zárt, a felső elektromosan nyitott. A rezonátor üzemi frekvenciájának értéke 2,45 GHz. Az energiabevezetés a rezonátorba galvanikus kapcsolattal a rövidrezárt végek közelében történik. A rezonátor felső vé-



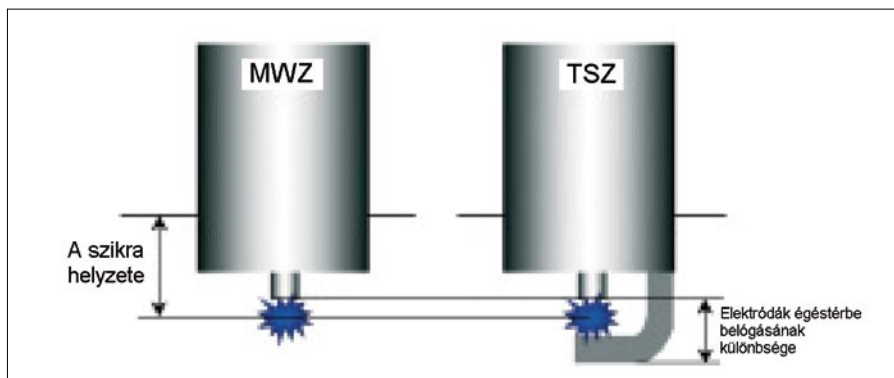
3. ábra

gein a feszültség, a térerő a belső vezető csúcsán a legnagyobb. Az átütést követően a csúcsok valamekkora nagyságú környezetében plazmaréteg képződik, amelyet a 3. ábrán lehet látni.

Sugárvezetett elégetési eljárás során a gyújtó energiaforrás a tüzelőanyag-sugár peremfelületén található. Hagyományos kialakítású gyertyánál a tüzelőanyag általi elektródabenedvesítés elkerülhetetlen. A 4. ábrán kisebb gyertyabelégási állapot figyelhető meg, azonos szikrahelyzet eléréséhez a rezonátoros megoldásnál, míg a hagyomá-



2. ábra



4. ábra

nyosnál nagyobb gyertya testelektróda kialakítása miatt.

Ez előnyt jelent, egyrészt mert így nincs tüzelőanyag-lecsapódás az elektródákon, és így lerakódások sem képződnek, másrészt a testelektróda okozta hőveszteségek is elkerülhetők, így a képződő plazmától és a kezdődő égéstől, lángmagtól kisebb hőelvonás realizálódik. Ezek az előnyök szegény keverékes üzemben különös súllyal esnek latba [2].

## 2. kísérlet

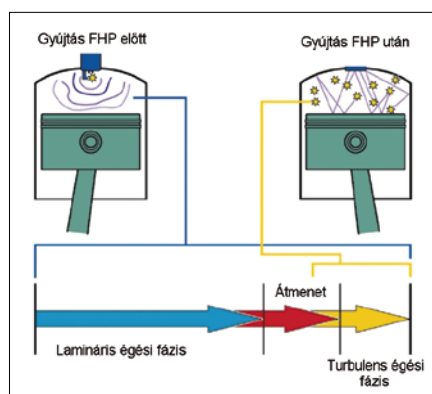
### Újszerű gyújtási eljárás mikrohullámú sugárzás segítségével

(Az idegen nyelvű szóhasználat alapján a „térgyújtási” eljárás vagy folyamat lenne a helyes, de egyszerűsítve mondjuk azt, hogy nem egy pontszerű szikrából kiindul, hanem az egész égéstérre kiterjedően, több pontból kiinduló gyújtásról van szó.) A tüzelőanyag eddig ismert leghatékonyabb felhasználása a célja az újszerű mikrohullámú sugárzással történő gyújtásnak, amellyel a Micro Wave Ignition AG. kutatói kísérleteznek. Az eljárás használatával az általuk közölt eredmények szerint 30% tüzelőanyag-megtakarítás és 80% károsanyagemisszió-csökkenés érhető el.

## Bevezetés

A jelenlegi gyújtógyertyával létrehozott gyújtószikra általi égéskezdeményezés során sok energia marad kihasználatlanul, illetve tüzelőanyag felhasználatlanul. Az új megoldás ezen energiákat a mikrohullámú sugárzással való gyújtás segítségével kívánja kihasználni (5. ábra).

Ezzel a módszerrel  $\lambda=1,5-3$  légviszonyú üzem megvalósítható rétegzés nélkül. Ez a technika minden klasszikus Otto-motorban és adott esetben dízelmotorban



5. ábra

is használható. A hagyományos tüzelőanyagok mellett nehéz olajokat, valamint repceolajat, pálmaolajat, szójaolajat és más megújuló energiaforrásból származó olajat is motorhajtóanyagként fel lehet használni [1].

Az égésfolyamatban a hagyományos gyújtástechnikával felszerelt külső gyújtású motorokban a gyújtás után közvetlenül az égés egy laminaris égési fázissal kezdődik, amelynek során a láng a lángmagból kiindulva minden irányban viszonylag lassan szétterjed. A lángfront sebessége ebben a fázisban 20 cm/s. Ennek során keletkezik a káros anyagok nagy része, részben, mert a tüzelőanyag bizonyos részét a folyamatok nem hasznosítják, továbbá mert nagymértékű szűkségtelen hőveszteségek is létrejönnek. A laminaris láng egy előmelegítési zónából képződik, amelyben még nincsenek kémiai reakciók, kialakulása után egy vékony reakciózónából és egy oxidációs zónából áll. A laminaris láng egy labilis folyamat (gyökök keletkezése, visszaalakulása, láncszétágazás, láncmegszakítás, láncfenntartás), nagymértékben függ a termikus állapotjelzőktől, és a nagymértékű hőveszteség keletkezése mellett, a káros anyagok nagy része is e folyamat alatt jön létre [1,3].

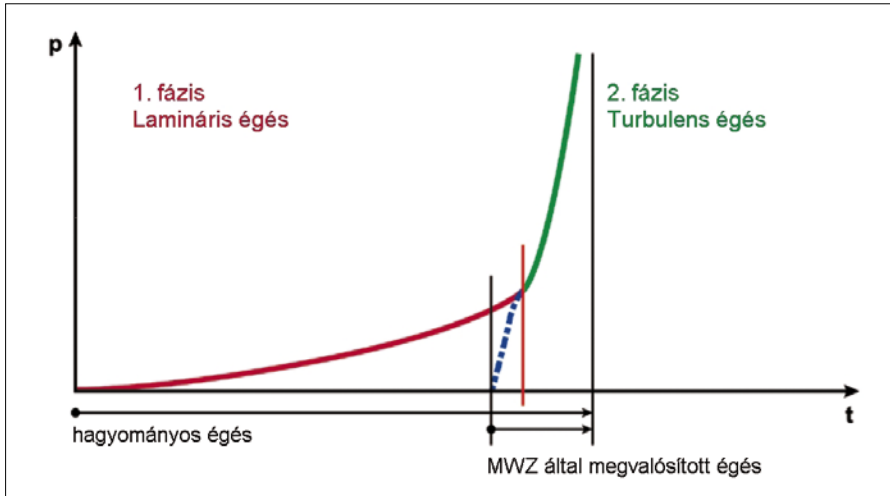
## A turbulens láng

A laminaris lángot követi a turbulens égési fázis, ahol a keletkező lángturbulenciák jelentősen gyorsabban alakulnak ki, és 200-300 m/s-os lángsebességgel terjednek. Egy lángfront kiszélesedését a turbulens mozgású homogén tüzelőanyag-levegő keverékben két jelentős mechanizmus befolyásolja: az egyik a reakciókinetika és az ebből adódó laminaris égéssebesség, a másik a turbulens áramló mozgás, amelyet a turbulenciaintenzitás és a turbulens lengési sebesség jellemez. A turbulens lángsebesség az idő függvényében először hirtelen nő, azután növekedési üteme lelassul. Kezdetben a turbulens láng még csak a laminaris lángot követi, amely a nyomástól és a hőmérséklettől függően változik. Az égés alatti növekvő nyomás fázisában a turbulens lángsebesség tovább nő, és csak az expanzió ütemben az égés végén a nyomás csökkenésével csökken. Növekvő turbulenciaintenzitás mellett a lángzóna vastagsága nagyobb, emiatt az égés gyorsabb, az égési csúcshőmérséklet nagyobb, így a turbulens lángsebesség görbéi meredekebbek és nagyobb csúcst érnek el. A lángkiterjedés nemcsak a kiégést határozza meg, hanem közvetlen hatással is van a kopogási jelenségre. Ha a véggázok kiégése elég gyorsan következik be, a kopogást el lehet kerülni, másrészt a nagyon gyors kiterjedési folyamatok nagyon gyors hőmérséklet-emelkedéshez vezetnek, amely viszont a véggázok adiabatikus kompresszióját idézi elő, emiatt a kopogást támogatja.

Összefoglalva tehát Otto-motorokban az égést a turbulens lángkiterjedéssel azonosítják. Ez egyrészt függ a laminaris égési viszonyoktól, másrészt a turbulenciaparaméterektől, úgy, mint a turbulenciaintenzitás és a turbulens lengési sebesség. A turbulens láng kiterjedése közvetlen hatással is van a kopogási jelenségre [1,3].

## Gyorsabb és tökéletesebb égés

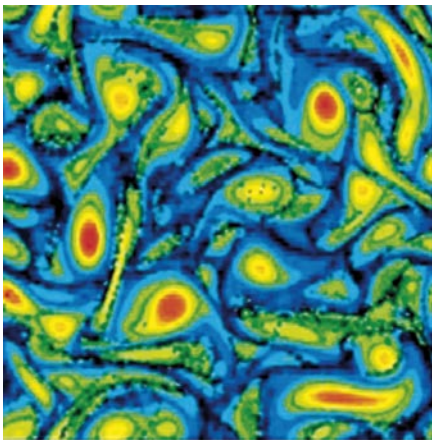
Ezekből az ismert technikai folyamatokból előállt az alapmeggondolás, miszerint az égést úgy szükséges alakítani, hogy a laminaris fázis csökkenjen, sőt egészében elmaradjon, és az egész égéstérben csak az a folyamat játszódjon le, amely a hagyományos gyújtással létrehozott égés során a turbulens égési fázis alatt jelenik meg. Ezt lehetővé teszi az ismétlődő, a teljes égéstérre kiterjedő



6. ábra

mikrohullámú energiabevitelt, így megvalósul az első igazi „térgyújtás”-i koncepció. Az 6. ábra mutatja a két égési fázis során kialakuló nyomásváltozás egy részletét az idő függvényében (kompressziónyomás-függvény nélkül).

Az alkalmazott gyújtási eljárás lehetővé teszi a nem hatásos lamináris égési fázis elhagyása révén a tüzelőanyag jelentősen hatásosabb felhasználását, mely által a tüzelőanyag-fogyasztás jelentősen csökkenhet. Az egész égéstérre vonatkozóan több lángmag homogén eloszlásának segítségével jelentősen gyorsabb égés valósulhat meg, mint hagyományos gyújtásnál, ahol az égést pontoszerűen indítják (7. ábra).



7. ábra

Az MWI eljárásnál bizonyos szénhidrogének abszorpciós tulajdonságait használják ki. A szénhidrogének kötéseit felbontják, és ezzel egy gyöklánreakció alakítanak ki, amely az égéshez vezet. Mialatt a klasszikus szikragyújtás a kb.

$\lambda=1,35$ -ös értéknél az abszolút felső határára érkezik, addig az MWI gyújtási eljárásnál a keverék  $\lambda=1,5-1,8$  (ill. fent  $1,5-3,0$ ) tartományában is biztosan lehet gyújtani. Következésképp az égési folyamatok teljesebb megvalósulása és a károsanyag-visszamaradások jelentős csökkenése fogalmazható meg [1].

### A mikrohullámú sugárzással való gyújtás elméleti megközelítése

A mikrohullámmal való gyújtás hatásmechanizmusáról lesz szó a következőkben. Egy külső elektromágneses tér atomi vagy molekuláris szinten felmerülő lehetséges hatásait a következő két esetre lehet leegyszerűsíteni:

- az elektromágneses sugárzás gerjesztett kibocsátása vagy elnyelése,
- elektromos, illetve mágneses nyomadék indukálása.

Elektromágneses sugárzás gerjesztett atomok általi kisugárzása (emissziója) vagy az atomok magasabb gerjesztett állapotába való átmenetét kiváltó elnyelése (abszorpciója) akkor lép fel, ha az atomban kötött elektronok diszkrét energiaállapotokban lehetnek, és ha elektronátmenet történik két ilyen állapot ( $E_1, E_2$ ) között, akkor az energiakülönbség  $h^*v=E_2-E_1$  energiájú foton által kisugárzódik, vagy elnyelődik ( $h$  a Planck-állandó;  $v$  a frekvencia). Egy elektron vagy elektroncsoport elektromágneses térre történő reakciója mágneses nyomadékot feltételez. Különálló páratlan elektronokat elkülönítve megfigyelték, hogy saját impulzusnyomatékuk által és a mag körüli mozgásuk által mágneses teret hoznak létre, azonban két elektron a külső héjon egymással szembe ható impulzusnyoma-

tékkal 0 értékű eredő mágneses nyomadékot eredményez. Egyidejűleg egy molekulában az atomok, az elektronok által létrehozott kémiai kötések közös használata miatt a kötőelektronokra mágneses nyomadékot nem hoznak létre. Ennek eredményeként a kötőelektronok nincsenek kölcsönhatásban az elektromágneses térrel (Elektromagnetisches Feld, EMF) mivel az eredő mágneses nyomadék 0 értékű, mint ahogy ezt egy elektronrezonancia-kísérletben (Elektron-Spin-Rezonanz, ESR) bizonyítani tudják. Amíg a páratlan elektronok elektromágneses aktiválása általánosan ismert jelenség, és az említett ESR-kísérlet alapjaként már megoldották, addig a kémiai kötések aktiválását az MWI-technika alapjának tekintik. Ez eszköz lehet arra, hogy elektromágneses térrel vagy egy elektromágneses hullámmal a kémiai kötésekre hatást gyakoroljanak, és a szénhidrogénekben a kötések felbontsák. Ilyen feltételek között elektromos vagy mágneses nyomadékot indukálnak a kémiai kötések létrehozó elektronokban és a kémiai kötések eredő hullámfüggvény-szimmetriáját megváltoztatják.

Egy ilyen hatás a kémiai kötések aktiválásához vezet, amely meghatározott energiaszint fölött a tüzelőanyag alkotórészeinek kémiai kötéseire felbontó hatással van, így gyöklánreakciókat indít el. A kvantummechanikai folyamatok átfogó részletes elmélete, amely a gyújtási folyamatot leírná, még nincs tökéletesen a kutatók birtokában, mégis technikai kísérletek eredményeiből kiindulva, amelyek az elektromágneses sugárzás és a tüzelőanyagok kölcsönhatásáról szólnak, a kémiai folyamatok gyorsításához szükséges technikai eljárások ismertek. Bizonyos szénhidrogének meghatározott frekvenciákkal és impulzusismétléssel történő aktiválása azért előny, mert az aktivált hasonló polaritású molekulák azonos sajátfrekvenciát mutatnak. Ezekkel a frekvenciákkal a kiválasztott szénhidrogének kémiai kötéseinek felbontása különösen kis aktiválási energiával lehetséges. Ez után a folyamat után, amelyet „hideg gyújtás” - nak neveztek el, az egész égéstérre kiterjedően olyan folyamatok játszódhatnak le, amelyek a hagyományos gyújtásnál a turbulens égési fázisból ismertek. Emellett biztosítandó, hogy a kémiai reakciók által okozott termikus hőfejlődés v. hőfelszabadulás a hőelvezetés nagyságát meghaladja, és a keletkező felmelegedés az exotherm reakciókat tovább gyorsítsa. Az MWI-technikával nem az egész tüzelőanyag-keveréket gyújtják,

hanem a ciklusonkénti tüzelőanyag-mennyiség 3%-ának kémiai kötéseire gyakorolnak hatást. A frekvenciakiválasztással az energiabevitelt csak a kiválasztott szénhidrogénekre koncentrálnak. A kis mennyiségű tüzelőanyag gyújtása miatt gyorsabb égéslefutást idéznek elő, de mégis nem robbanásszerűt [1].

### A mikrohullámmal történő gyújtás előnyei

Az MWI-technika a hagyományos gyújtás által fel nem használt energiakihasználási lehetőségeit valósítja meg. Ezzel egy innovációs eljárásnak számít, amely jelentős előnyöket hordoz, az aktuális, a motorokkal és az autóparral szemben támasztott fogyasztási és a károsanyag-kibocsátási követelmények megvalósítására vonatkozóan, konkrétan azért, hogy:

- szegényebb keveréket biztos gyújtása, és nem szükséges a tüzelőanyag-levegő keverék rétegzése
- a jelenlegi égéslefolyással szembeni különbség, hogy jelentősen kevesebb az égéselőrehaladás diffúziós láng formájában,

- az egész égéstérre kiterjedő gyújtási eljárás gyorsabb, és ezzel „hidegebb” égést is lehetővé tesz, amely a motorhatásfokot növeli, egyidejűleg pedig a tüzelőanyag-fogyasztást és az égésből visszamaradt károsanyag koncentrációját csökkenti.

- A rendszer karbantartás- és kopásmentes.  
- A motor hűtőrendszerének, a katalizátornak, az esetleges koromszűrőnek a költsége sokkal kisebb [1].

### Összefoglalás

Az eddig az e témában számított és mért eredmények alapján kijelenthető, hogy a mikrohullámú sugárzással történő gyújtás sikeres megvalósításával a következő eredményeket lehet elérni:

- 30%-kal kisebb tüzelőanyag-fogyasztás azonos motorteljesítmény mellett,
  - maximum 30%-kal kisebb CO<sub>2</sub>-emisszió
  - maximum 80%-kal kevesebb CO-, SO<sub>x</sub>-, NO<sub>x</sub>-, HC-kibocsátás
- Ezzel a mutatókkal lehetővé válik egy alacsony károsanyag-kibocsátású motor

kialakítása. Hosszú távon ez a technika bevezethetővé válik a nagymotorok, a gépjárműmotorok és a repülőgépmotorok piacán. A rendszer piaci bevezetése - az autóiipari szériagyárthatóság magas követelményei miatt - még mintegy 10 évet várthat magára. Ezt követően viszont az a törekvés, hogy a mikrohullámú gyújtórendszereket ne csak az új motorokra építhessék rá, hanem az öregebb motorokra utólag is felszerelhesék [1].

SZABADOS GYÖRGY

TUDOMÁNYOS SEGÉDMUNKATÁRS

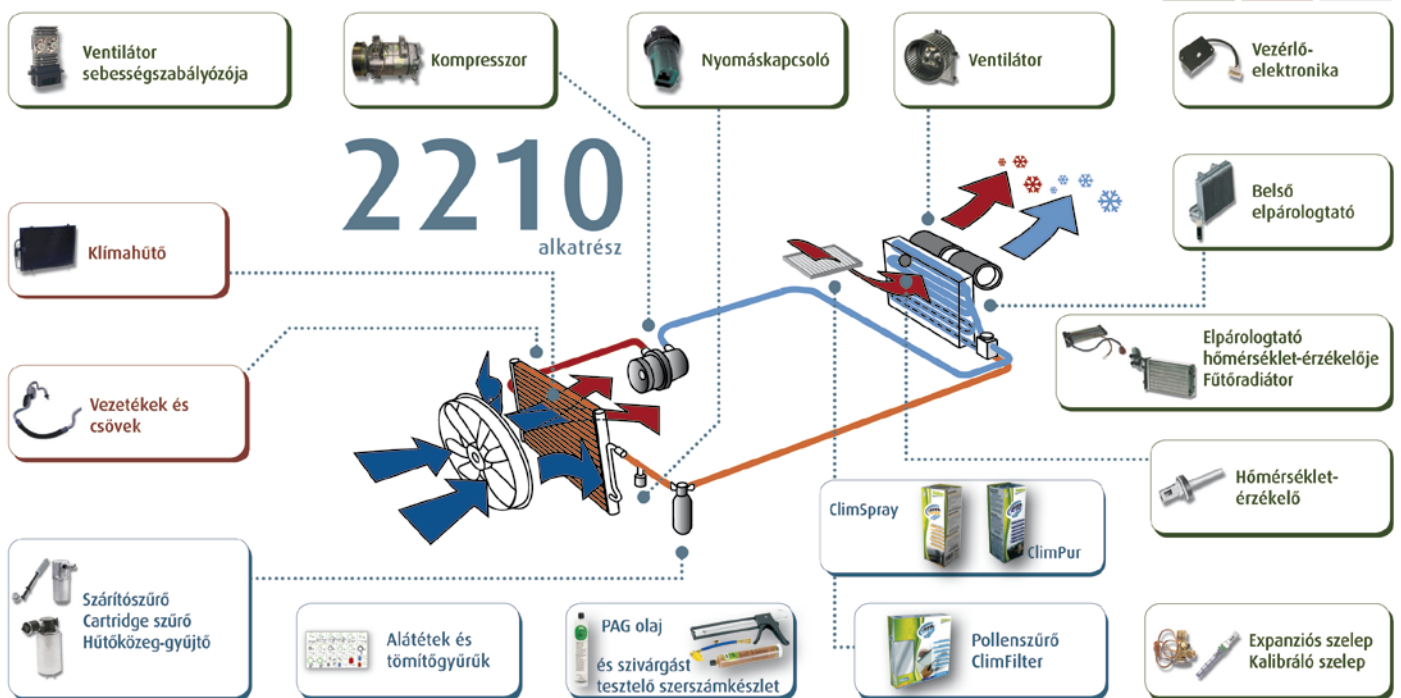
KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI INTÉZET JÁRMŰTECHNIKAI, KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS ENERGETIKAI TAGOZAT, MOTORTECHNIKA TUDÁSKÖZPONT

Forrás: [1] Neuartiges Raumzündverfahren mittels Mikrowellenstrahlung MTZ 03/2009

[2] Mikrowellenbasiertes Zündprinzip für Otto-motoren mit Direkteinspritzung und strahlgeführtem Brennverfahren MTZ 06/2006

[3] SFB\_224 Kapitel 3.3.: Ottomotoren-Ottomotorische Verbrennung Műszaki Egyetem Aachen

## Valeo - a klímaspecialista



valeo added

Enabling a better automotive world

**Valeo**