

# A kipufogógáz energiahasznosítása

2. rész

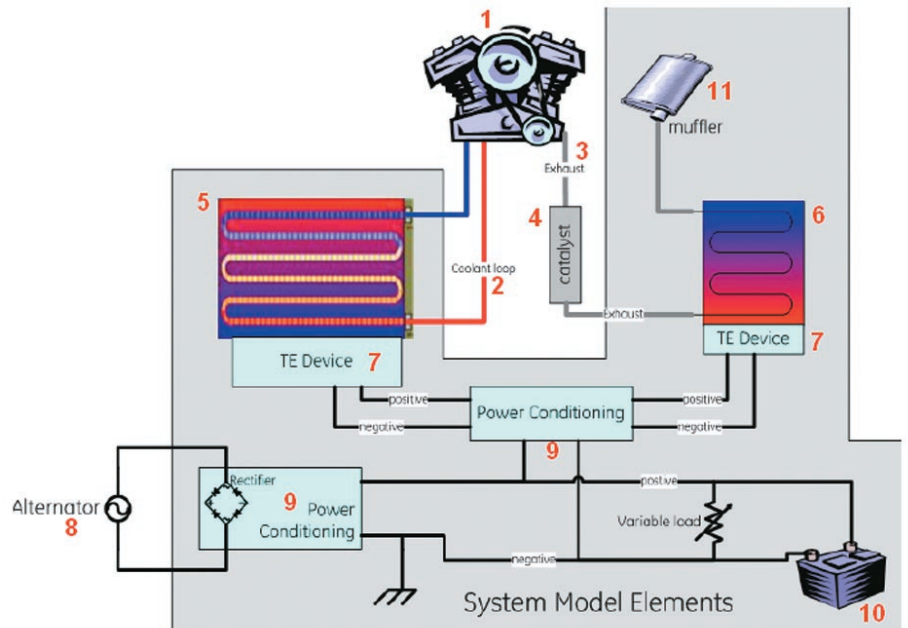


Az előző számunkban bemutatott „turbógőzös”-rendszer után most egy másik, szintén a kipufogógáz energiáját hasznosítani kívánó koncepciót mutatunk be. A TEG, azaz a termoeleemes generátor rendszer közvetlenül alakítja át a kipufogógáz hőenergiáját elektromos árammá. A veszteségenergiák visszanyerésére történő törekvések közül eddig leginkább a fékezésnél felszabaduló energiák hasznosításáról hallhattunk. Ez a rekuperáció azonban csak akkor működik, ha az ember a fékpedált nyomja, azaz az autó lassul. A TEG-rendszer érdekessége és a fejlesztési irány szellemessége pedig éppen az, hogy a TEG gázadáskor válik igazán hatékonyá.

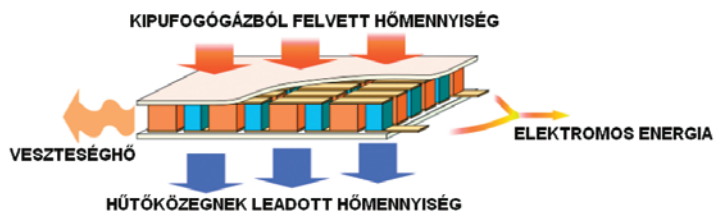
A termoelektromos hatás vagy termoelektromos effektus nem más, mint hőmérséklet-különbség átalakítása elektromos árammá és fordítva. Egy termoelektromos berendezés képes a hőmérséklet-különbséget átalakítani elektromos árammá, tápfeszültséget kapcsolva az áramkörre viszont hőmérséklet-különbséget hoz létre. A termoelektromosság kapcsán három fő elvet kell tisztáznunk, a Seebeck-effektust, a Peltier-effektust és a Thomson-effektust.

## Seebeck-effektus

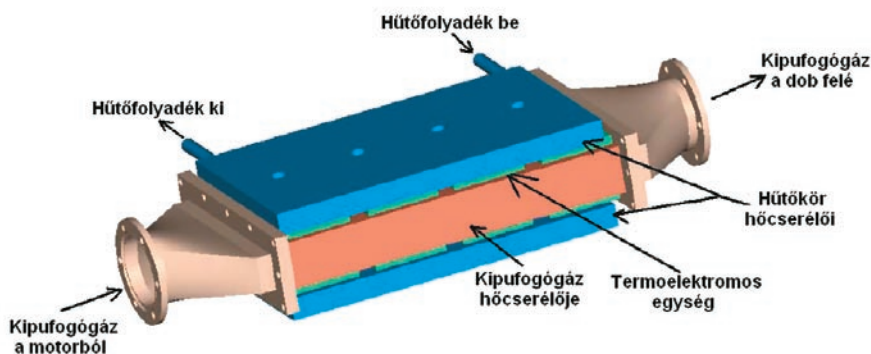
A termoelem - vagy más elnevezéssel hőelem - működésének elméleti alapját a fém-fém érintkezési felületen kialakuló, ún. kontaktegyensúly és a Seebeck-effektus adja. Ha két különböző fémrudat, fémszálat érintkezésbe hozunk, a két fém szabad végei között potenciálkülönbség alakul ki, amit kontaktpotenciálnak nevezünk. A kontaktpotenciál kialakulását úgy értelmezzük, hogy a két érintkező fémbe az elektronok energiaállapota eltér egymástól.



1. ábra: a termoelektromosság elvét használó rendszer részei a következők: 1 - belső égésű motor, 2 - hűtőkör, 3 - kipufogórendszer, 4 - katalizátor, 5 - hűtőkör „hőcselölője”, 6 - kipufogórendszer „hőcselölője”, 7 - termoelektromos egység, 8 - generátor, 9 - teljesítményszabályozás, 10 - akkumulátor, 11 - kipufogódob



2/a ábra



2/b ábra

Ezen túlmenően a fémekben különbözhet a szabad vegyértékelektronok száma, vagyis az elektronkoncentráció is. Az összeérintés pillanatától kezdődően abból a fémből, amelyben nagyobb az elektronok energiaszintje, időegység alatt több elektron jut át mint amennyi fordított irányban áramlik, azaz viszonylag rövid idő alatt az elektronok megoszlásában beáll az egyensúlyi állapot. Mivel az egyensúly beállása közben az egyik fémből a másikba meghatározott mennyiségű elektron lép át, a két fém végei között elektromos potenciálkülönbség alakul ki. Ezt a potenciálkülönbséget nevezzük érintkezési vagy kontaktpotenciálnak.

A kontaktpotenciál értéke hőmérsékletfüggő, ami azzal magyarázható, hogy a fémekben az elektronok energiája függ a hőmérséklettől, de a hőmérsékletfüggés az egyes fémeknél eltérő.

Ha egy fémes vezető két vége között  $\Delta T$  a hőmérséklet-különbség, akkor a vezetőben elektronáram jön létre a nagyobb hőmérsékletű hely felől a kisebb felé mindaddig, amíg a vezető hossza mentén a hőmérséklet-eloszlásnak megfelelő egyensúly nem áll be. Ez a jelenség a Seebeck-effektus.

Összefoglalva tehát, ha két különböző félvezetőből vagy fémből (például antimonból és bizmutból) álló vezetőkör egyik érintkezési vagy forrasztási helyét a másikhoz képest felmelegítjük vagy lehűtjük, akkor az így kapott vezetőben áram folyik,

mindaddig, amíg a két forrasztási hely közt hőmérséklet-különbség áll fenn. A keletkezett áramot termoáramnak, az ezt létrehozó erőt termoelektromos erőnek, röviden termoerőnek nevezzük.

### A Peltier- és a Thomson-effektus

A Seebeck-effektus fordítottja a Peltier-effektus, melyet egy évtizeddel Seebeck felfedezése után ismert fel Peltier fizikus.

Ha áram halad át két különböző vezető érintkezési vagy forrasztási helyén, akkor ezen a helyen (a Joule-hőn kívül) az áram irányától függően felmelegedés vagy lehű-

lés következik be, tehát hőközlés vagy hőelvonás (Peltier-hő).

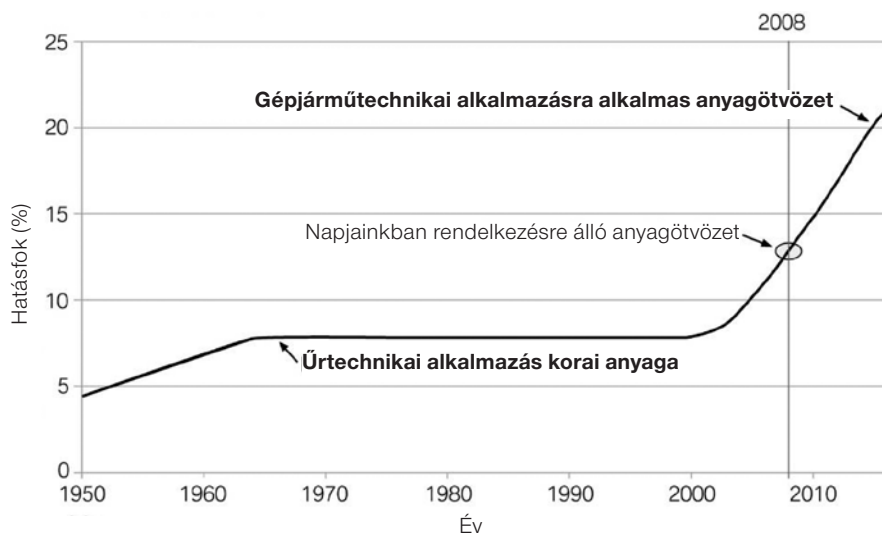
A termoelektromosság harmadik alapelveként nevezik a Thomson által felfedezett és róla elnevezett hatást. A Peltier-hőhöz hasonlóan hő keletkezik vagy nyelődik el, ha áram folyik át egy olyan homogén vezetőn, amely mentén hőmérséklet-változás, hőmérséklet gradiens is van.

Egyértelmű, hogy a fent említett három jelenség közül a kipufogó hőenergiájának hasznosítása a Seebeck-effektuson alapszik. Vagyis a kipufogógáz hőenergiája ezen elv felhasználásával elektromos energiává alakítható át, ami aztán a gépjármű akkumulátoraiban tárolva tovább hasznosítható.

### A termoelektromos rendszer

Az 1. ábrán a termoelektromosság elvét használó rendszer látható.

A belső égésű motorból kiáramló forró kipufogógáz a katalizátort elhagyva belép a 6-os számú hőcserélőbe. Itt a benne lévő hőmennyiség nagy részét átadja a termoelektromos generátornak, így „létrejön” a meleg oldal. Ekkor a meleg és a hideg oldal közötti hőmérséklet-különbség hatására áram indul a körben. Ez az áram mindaddig fennáll, amíg a két oldal közötti hőmérséklet-különbség is létezik. Hogy ez a feltétel biztosítva legyen, a hideg oldalon is van egy hőcserélő, mely a motor hűtőkörének adja át a termoelektromos generátor által leadott hőt. Lényegében a hideg oldal „hidegen” tartása a feladat. A keletkező elektromos energia a gépjármű elektromos hálózatába kerül, tölti az akkumulátort.



3. ábra

A 2/a ábrán a TEG (termoelektromos generátor) elvi felépítése látható, a 2/b ábrán pedig a kész modell, mely a kipufogórendszerbe illeszthető.

### Az energiaátalakítás hatásfoka

Az átalakítás hatásfoka, hatásossága alapvetően két dologtól függ. Az egyik a meleg és hideg oldal közötti hőmérséklet-különbség mértéke. Ha túl kicsi a hőmérséklet-különbség, akkor ezt a veszteségek (például hőszugárzás) szinte felemészítik.

A 3. ábra a TEG hatásfokát mutatja, a fejlesztés időrendjében. Az űrtechnikában eddig használt termoelektromos egység anyagával, 250 °C hőmérséklet-különbség hatására, kb. 8% körüli a hatásfok. A fejlesztés eredményeként napjainkban létrehozott anyagötvözetrel már közel 14% a hatásfok, és a majdani, talán széria autóiipari felhasználásnál már 20% feletti értéket is el lehet érni.

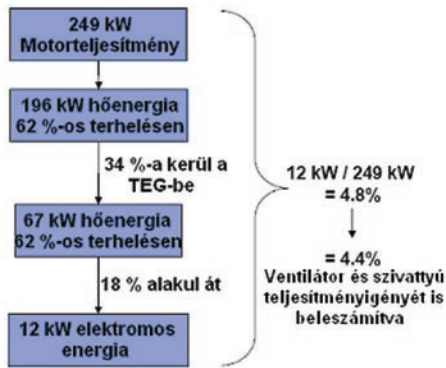
Jelenleg ennek a technológiának az anyagválasztás a legkényesebb pontja. Ugyanis jó minőségű anyag választásával jobb átalakítási hatásfok érhető el, de ebben az esetben a költségek rendkívül nagyok. 1 W-nyi elektromos áram előállítása 2005-ben 1 dollár volt, a Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> anyagot használva. A legújabb anyagokat használva ez a költség mára megtizedelődött.

Több gyár, csoportosulás is foglalkozik ezzel a technológiával. Ilyen a Caterpillar, a BMW, valamint a GM-csoport. Ezek közül tekintsük át röviden a Caterpillar és a BMW rendszerét.

### A Caterpillar-féle megoldás

A Caterpillar megoldása látható az 5. ábrán. A motorból kilépő kipufogógáz a turbófeltöltőn áthaladva a termoelektromos generátorba jut. Itt a benne lévő hőmennyiség egy részét átadja a termoelektromos generátor meleg oldalának. A hideg oldalt folyamatosan hűteni kell, hogy a két oldal közötti hőmérséklet-különbség biztosítva legyen, hisz a Seebeck-effektus csak e feltétel esetén játszódik le. Ezt a hűtést egy külön hűtőkörrel oldották meg, külön szivattyúval, külön hűtőradiátorral.

A termoelektromos generátort a gépjármű alján helyezték el, a kipufogórendszer többi részével egybeépítve. A termoelektromos generátorba kerülő kipufogógáz hőmérséklete 420 °C. A vesz-



4. ábra

teségek következtében ennek csak egy része adódik át a meleg oldalnak, így 50 °C-os hőmérsékletű hideg oldal esetén 265 °C a két oldal közötti hőmérséklet-különbség. A hideg oldal hűtőkörében etilén glikol / víz hűtőfolyadék kering.

A 4. ábra azt mutatja, hogy a Caterpillar termoelektromos rendszerében 67 kW

### A BMW rendszere

A BMW-csoport mérnökeinek a legnagyobb kihívást a TEG elhelyezése jelenti (5. ábra). Úgy kell megválasztani a csőkeresztmetszetet, hogy az megfelelően szolgálja a termoelemek hatásosságát, valamint ne változtassa meg az áramlási viszonyok módosításával a motor jellemzőit. A fejlesztők ezt az energia-visszanyerő rendszert hidegindításkor más egységek gyors felmelegítésére is fel szeretnék használni. Ha a félvezetőkből álló vezetőkörök két végére feszültséget kapcsolnak, akkor annak egyik oldala a Peltier-effektus szerint hőt ad le (a Joule-hőn felül), melyet a váltó- vagy az utastér fűtőfolyadékának melegítésére lehet használni. Mivel a motor bemelegedett, meleg kipufogógáz áramlik ki a motorból, a TEG a hőmérséklet-különbség hatására elektromos áramot fog termelni, azaz az áram iránya megfordul. Konceptiójuk szerint előnyös lenne a termoelektromos generátort a katalizátorba



5. ábra

hőenergia kerül a termoelektromos generátorba, melynek 18%-a alakul át elektromos energiává. Ez 12 kW-nak felel meg, ami a motorteljesítmény 4,8%-a. Ha ebből még levonjuk a hűtőkör szivattyújának és ventilátorjának teljesítményigényét, akkor marad 4,4%. Az alapvető probléma itt is megmutatkozik, hogy a termoelektromos generátor rossz hatásfokkal alakítja át a hőenergiát elektromos energiává. Ez maga után vonja azt is, hogy a rendszer egyelőre nem költséghatékony.

integrálni, hiszen hidegindításkor fel tudná fűteni azt, segítve ezzel a benne lezajló katalitikus folyamatokhoz szükséges hőmérséklet mielőbbi elérését.

A fejlesztők a rendszer tökéletesítését mindig kívánják folytatni, amíg el nem érik az 5%-os tüzelőanyag-megtakarítást. Jelenleg ez a rendszer 200 W energiát képes leadni, ám a nagy cél, az 1000 W-os határ, köszönhetően az alapanyag-fejlesztések sikerének, a közeljövőben elérhető lesz.

OROSZ NORBERT  
(CsT)