

Turbógőzös

BMW Turbosteamer

A BMW fejlesztőmérnökei egy olyan új technológia kifejlesztésén dolgoznak, amely a kipufogógáz hőenergiáját hasznosítja, ezzel csökkentve a fogyasztást, miközben a motor nagyobb teljesítmény és nyomaték leadására képes. A rendszer neve: Turbosteamer. Az angol steam szó - magyarul gőz - nem véletlenül került az elnevezésbe, ugyanis a gőzmotorok elvét is felhasználták a mérnökök a rendszer megalkotásához.

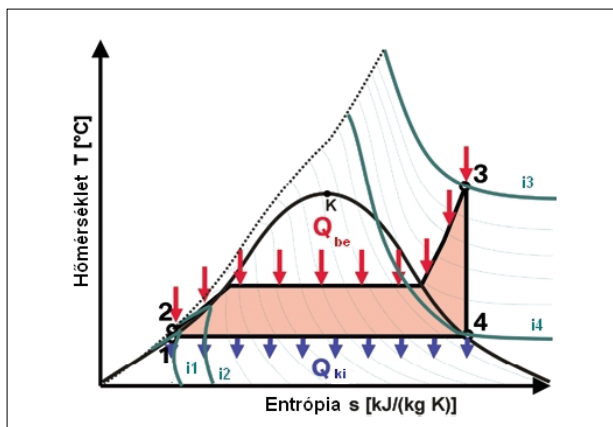
A sajtót először 2005-ben tájékoztatta a gyár arról a fejlesztéséről, akkor tíz éven belül szériaérett rendszert ígértek. Mivel ez a fejlesztés napjainkban is folyik, így csak sejtető információkat adtak ki a veszteség hőenergia-visszanyerésének immár autókba épített műszaki megvalósításáról. Az MTZ 2008/5. számában megjelent beszámolóval a BMW ismét engedett bepillantani a Turbosteamer fejlesztési munkáiba.

A Rankine-Clausius körfolyamat

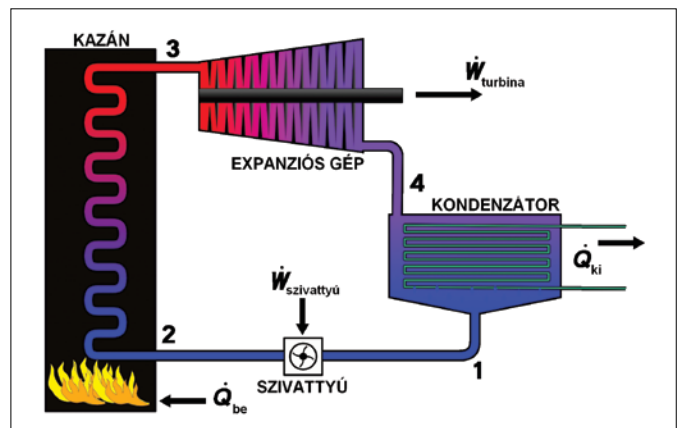
A rendszer egyik fő különbsége vetélytársaihoz képest, hogy nemcsak a kipufogógázban lévő hőenergia visszanyerésére törekszik, hanem a motor hűtőrendszerében lévő hőmennyiség hasznosítására is. Ezért a Turbosteamer rendszer két körből áll, egy elsődleges és egy másodlagos körből. Az elsődleges körben a közeg nagyobb hőmérsékletet ér el, mint a

másodlagos körben, vagyis itt történik az energia nagyobb részének hasznosítása. A nagyobb hőmérsékletű kör csak a kipufogógázban rejlő energiát hasznosítja, a kisebb hőmérsékletű a kipufogógázban és a hűtőközegben levő hőenergiát.

A Turbosteamer lényegében a hőerőművek által is használt Rankine-Clausius-ciklust alkalmazza és valósítja meg működése során. A Rankine-körfolyamat egy olyan termodinamikai körfolyamat, mely a hőenergiát mechanikai munkává alakítja át.



2. ábra: Turbosteamer T-s diagram



1. ábra: Rankine-Clausius körfolyamat

A körfolyamat által használt közeg általában víz, de bizonyos esetekben használnak más folyadékokat is. A legtöbb fosszilis tüzelőanyagot használó, illetve nukleáris erőmű ezt a körfolyamatot használja energiatermelésre.

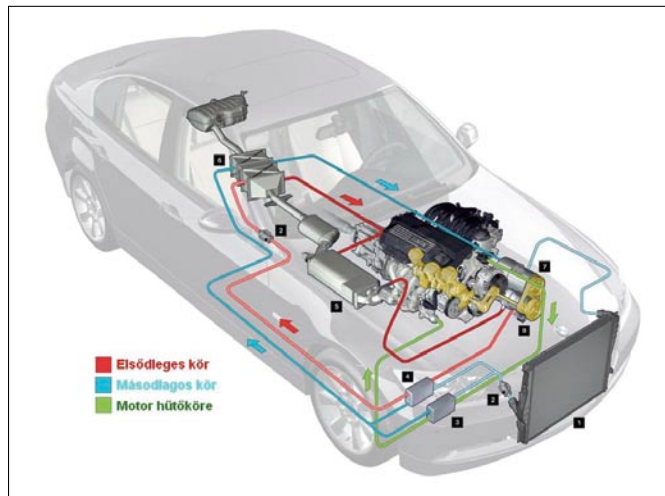
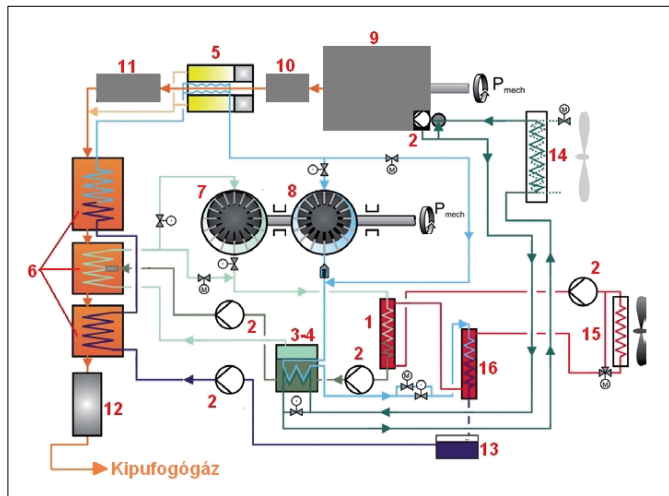
Az 1. ábrán a Rankine-Clausius körfolyamat megvalósításához szükséges rendszer látható. Fő részei: kazánberendezés, expanziós gép (turbina, dugattyús expanziós gép stb.), kondenzátor, szivattyú. A rendszer teljesen zárt, a fo-

lyadékból a körfolyamat során gőz lesz, majd visszaalakul folyadékká, és kezdődik előlről a folyamat. Az 1. számú pontból a vizet szállítószivattyú juttatja a kazánberendezésbe.

A kazánban (2-3. pontok között) a nagynyomású víz felforr, gőzzé alakul, majd a kazán túlhevítő részében túlhevül, vagyis túlhevített száraz gőzzé változik. Ezután a nagynyomású és nagy hőmérsékletű száraz gőz expandál a turbinában vagy más egyéb expanziós gépben (3-4. pontok között), közben energiájának egy része mechanikai munkává alakul. Az erőművekben ez a mechanikai munka hajt-

ja a turbina tengelyére szerelt generátort. Az expanzió során a gőz hőmérséklete és nyomása lecsökken, a gőz egy része lecsapódik, és nedves gőz lép ki a turbinából. A nedves gőz a 4-es és 1-es pontok között elhelyezett felületi kondenzátorba jut, ahol a maradék hőenergiáját leadja, a nedves gőz hőmérséklete lecsökken, és teljes egészében lecsapódik, vízzé kondenzálódik. A tápszivattyú ezután a víz nyomását újból növelni kezdi, és a kazánba juttatja, a folyamat kezdődik előlről.

Az előzőekben ismertetett ideális Rankine-Clausius körfolyamat a valóságos gépek esetében nem megvalósítható. Az eltérés annyi, hogy a szivattyúban végbemenő kompresszió, illetve a turbinában vagy más expanziós berendezésben végbemenő expanzió nem izentropikus. Mindkét esetben az entrópia kissé nő. Ez a szivattyú esetében azt jelenti, hogy a működtetés teljesítményigénye nő, a turbina leadott teljesítmé-



3. a és 3. b ábra: BMW Turbosteamer-rendszer felépítése: 1: kondenzátor (másodlagos kör), 2: szivattyú, 3: hőcserélő („gőz generátor”), 4: hőcserélő („gőz generátor”, nagy hőmérsékletű kondenzátor), 5: „Superheater” (hőcserélő, elsődleges kör), 6: „Superheater” (hőcserélő, elsődleges-másodlagos kör), 7: expander (kis hőmérsékletű kör), 8: expander (nagy hőmérsékletű kör), 9: belső égésű motor, 10: előkatalizátor, 11: katalizátor, 12: kipufogódob, 13: folyadék tartály (elsődleges kör, víz), 14: hűtőradiátor (motor hűtőköre), 15: hűtőradiátor, 16: kondenzátor (elsődleges kör)

nye viszont kismértékben csökken. A másik probléma, hogy a gőz már a turbinán belül eléri a nedves gőz állapotot, ekkor apró vízcseppek csapódnak ki, melyek a turbina lapátjainak ütközve eróziót okozhatnak. Az erózió miatt az áramlási veszteségek egyre nagyobbak, de rosszabb esetben lapát-törés is bekövetkezhet. A legegyszerűbb védekezés, hogy a gőzi túlhevítik, hiszen nagyobb hőmérséklet esetén nagyobb lesz az expanzió utáni hőmérséklet is, vagyis a gőz száraz állapotban marad, nem csapódik ki a nedvesség.

A túlhevítés nemcsak ebből a szempontból hasznos, hanem abból is, hogy minél nagyobb a gőz hőmérséklete, annál nagyobb lesz a körfolyamat hatásfoka.

A BMW fejlesztői ezt a körfolyamatot vették alapul a Turbosteamer megtervezéséhez. A Turbosteamer T-s diagramját a 2. ábra mutatja.

Természetesen felmerül már a tervezés előtt is, hogy milyen hatékony lehet a rendszer, milyen

hatásfokkal működhet, valamint mennyit javít a belső égésű motor hatásfokán.

Tehát mind a kipufogógázban, mind a hűtőfolyadékban van Q hőmennyiség, mely mechanikai munkává alakítható a Rankine-Clausius körfolyamat segítségével.

Ezután meghatározható, hogy milyen hatásfok-növekedés érhető el a belső égésű motornál, a Turbosteamer technológiát alkalmazva. A rendszer két körrel dolgozik. Az egyik körben a kipufogógázban levő hőmennyiséget hasznosítja, a másikban a hűtőfolyadékban lévő hőmennyiséget. A két közeg hőmérséklete teljesen más, hiszen a hűtőfolyadék hőmérséklete általában 100 és 115 °C között van, míg a kipufogógáz hőmérséklete elérheti a 900 °C-ot is.

A nagy hőmérsékletű, elsődleges körben 200 °C-os párolgási hőmérséklettel, 400 °C-os túlhevítési hőmérséklettel és 100 °C-os kondenzáció-hőmérséklettel számoltak a mérnökök. Az ideális Rankine-Clausius körfolyamat hatásfoka tehát 22%.

A sugárzási, sűrűlási és expanziós veszteségek miatt a valós Rankine-Clausius körfolyamat hatásfoka 11%.

Durva becsléssel, a tüzelőanyaggal bevitt hőmennyiség 1/3 része a kipufogógázzal, 1/3-a a hűtőfolyadékkal távozik a motorból, 1/3 része pedig hasznos teljesítményt eredményez. Így a kipufogógázban lévő hőmennyiség és a bevitt hőmennyiség aránya 1:3-hoz. A hatásfok-növekmény a kipufogógázból nyert hőenergia hasznosítása révén: 3,7%.

Tehát a kipufogógázban levő energia felhasználásával 3,7% hatásfok-növekedés érhető el a belső égésű motorban.

A másodlagos, kisebb hőmérsékletű körben etanol a közeg, a hatásfok-növekedés itt 2%.

Összegezve, a kipufogógázban és hűtőfolyadékban levő hőenergia ilyen jellegű hasznosításával 5-6%-kal növelhető a belső égésű motor hatásfoka.

A 3. a és a 3. b ábrák a rendszer felépítését és elhelyezkedését egy BMW 3-as modellben mutatják. A rendszer elemeit az ábra számozása és a képaláírás alapján követhetjük nyomon. A 3. a ábra frissebb BMW-közlésből származik, így ez részletesebb, több elem van rajta, mint a másodikikon).

A 3. b ábrán a pirossal jelölt kör az elsődleges, nagy hőmérsékletű kör, a kékkel jelölt a másodlagos, kis hőmérsékletű kör, a zöld pedig a motor hűtőköre jelöli. A motor hűtőköre annyiban tér el a szokásostól, hogy a hűtőfolyadék nem a környezetnek adja le a motorban felvett hőmennyiséget, hanem egy hőcserélőn (3-as számú alkatrész) keresztül a kis hőmérsékletű körnek. Ebben a kis hőmérsékletű körben nem hagyományos hűtőfolyadék van, hanem etanol. Az etanol egyik fontos tulajdonsága, hogy forráspontja 78 °C, vagyis kisebb, mint a vízé. Ez azért fontos, mert a kis hőmérsékletű körben kisebb hőmérsékletek uralkodnak, már kisebb hőmérsékletnél el kell indulnia a gőzfejlődésnek. Tehát ez a folyadék halmazállapotú etanol felveszi a motor hűtőköreben áramló hűtőfolyadék által szállított hőmennyiséget, to-

William John Macquorn Rankin

(1820–1872): Edinburgh-ben született skót mérnök, fizikus. Jelentős felfedezéseket tett a termodinamikában. Az általa és pályatársa, Clausius által megalkotott körfolyamatot használják ma is a legtöbb erőműben.

Rudolf Clausius

(1822–1888): német fizikus és matematikus. A termodinamika II. főtételének megalkotója és az entrópia fogalmának bevezetője.

vább a nagy hőmérsékletű kör hűtőközegének maradék hőjét (a 4-es számú hőcserélőn keresztül). A közeg ezután tovább melegszik a 6-os számú hőcserélőkben. Ez az utolsó hőcserélő a kipufogórendszerben. A hőcserélő után az etanol már 150-160 °C-os és gőz halmazállapotú. A gőz ezután egy expanziós gépbe (axiáldugattyús) kerülve expandál, a keletkező mechanikai munka pedig a forgattyús tengelyre jut, szíjhajtás segítségével. A gőz hőmérséklete az expanzió során csökken, újra folyadék halmazállapotba kerül. A maradék hőt az 1-es számú hűtőradiátoron keresztül adja le. Ez a hőmennyiség elenyésző a motor hűtőköre által a környezetnek leadott mennyiséghez képest. A folyadék halmazállapotú etanol szállításáról a 2-es számú szivattyú gondoskodik.

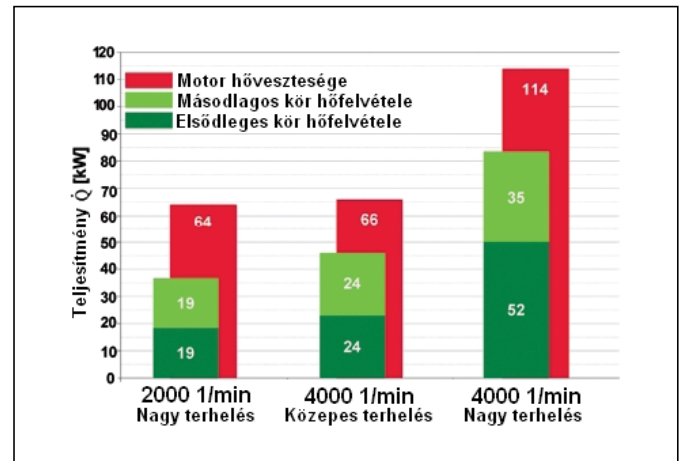
A nagy hőmérsékletű körben már magasabb forráspontú folyadék kering, a gyár tájékoztatója szerint ez a folyadék a motor hagyományos hűtőfolyadékához hasonló összetétellel és tulajdonságokkal rendelkezik. A folyadék keringetését szintén szivattyú biztosítja. A folyadék tehát eljut a 6-os számú hőcserélőbe, ahol a kipufogógáz átadja hőmennyiségének egy részét. Ha jobban megfigyeljük a hőcserélőt, akkor láthatjuk, hogy két részre van osztva. A kis hőmérsékletű kör a hátsó részéhez, a nagy hőmérsékletű kör az első részéhez csatlakozik. Vagyis a nagy hőmérsékletű kör még melegebb kipufogógázzal találkozik, a kis hőmérsékletű pedig csak a maradék hőmennyiséget veszi fel a hőcserélőben. De térjünk vissza a nagy hőmérsékletű körhöz. A hőcserélőben a folyadékból gőz fejlődik, mely eljut az 5-ös számmal jelölt „Superheater” hőcserélőbe. Itt veszi fel a közeg a kipufogógázból a legnagyobb hőmennyiséget, itt történik a gőz túlhevítése. Ezután a túlhevített gőz az expanziós gépben expandál, mechanikai munka keletkezik, mely a forgattyús tengelyre jut a szíjhajtás segítségével. Az expanzió során a közeg hőmérséklete lecsökken, újra

folyadék halmazállapotú lesz. Mivel nagyobb hőmérsékleten kezdődik az expanzió, nagyobb lehet a maradék hő a közegben, ezt a 4-es hőcserélőn keresztül adja át az elsődleges kör a másodlagos körnek.

A 4. ábra azt mutatja, hogy a motor hővesztéséből mennyit hasznosít az elsődleges kör és mennyit a másodlagos kör.

Kisebb fordulatszám és nagy terhelés, valamint nagyobb fordulatszám és közepes terhelés mellett, mindkét kör azonos hőmennyiséget hasznosít. Különbség csak nagyobb fordulatszám és nagyobb terhelés esetén mutatkozik. Ez érthető is, hiszen növekvő fordulatszámánál és nagyobb terhelésnél jobban növekszik a kipufogógázzal távozó hőmennyiség, mint a hűtőfolyadékkal távozó. Az elsődleges kör a kipufogógázban lévő hőmennyiséget hasznosítja, a másodlagos viszont kismértékben azt, nagyobb mértékben a hűtőfolyadékkal távozót.

Az 5. ábrán a kipufogórendszer első része látható. Jobbról balra haladva látható a kipufogócsonc (sárga szín - kb. 800 °C), majd az 5-ös számú „Superheater” hőcserélő, aztán a katalizátor, a 6-os hőcserélő és végül a hagyományos kipufogódob. Látható, hogy a képen szereplő mérnök a motor működése közben szabad kézzel fogja a kipufogódobot. A fejlesztők számításai és a próbamérések során a kipufogógázban lévő hőmennyiség 80%-a hasznosítható, a kipufogórendszer végére a gáz hőmérséklete alig magasabb a 30-40 °C-nál.



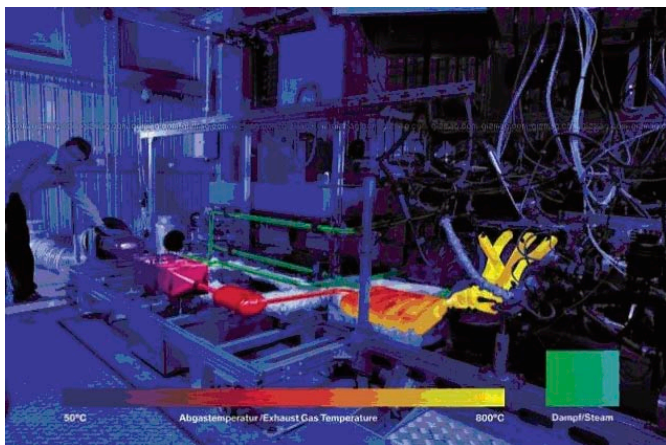
4. ábra: hőmennyiségek hasznosítása az elsődleges és másodlagos körökben

jesítmény-, nyomatékértékek biztatóan hangzának, de nem szabad azt sem elfelejteni, hogy ezeket milyen áron lehet elérni. A rendszer felépítéséből látható, hogy viszonylag bonyolult, nagyszámú alkatrészből áll és rendkívül helyigényes, többlet tömeget jelent. Összesen négy különböző kör van, négy különböző folyadékkal, melyek egy idő után cserére szorulnak, ugyanúgy, mint a hagyományos motor hűtőfolyadéka. Ez az üzemeltetés során többletköltséggel jár. Az expanziós gépek szíjhajtással csatlakoznak a forgattyús tengelyhez, ez is cserére szorul egy idő után, többletköltséget jelent. A szivattyúk, expanziós gépek és a hőcserélők pedig hibalehetőséget hordoznak magukban.

Nagyon fontos kérdés a rendszer helyigénye is, mert elég sok alkatrészből áll, ezek közül többet az autó alatt, a kardánalagútban kell elhelyezni. A katalizátor mellett tehát helyet kell még szorítani a két hőcserélőnek is. A motortérben is többlethelyre van szükség, mert a két expanziós egységet is el kell helyezni, ráadásul ezeknek köztük helyük van, hiszen a forgattyús tengellyel össze kell őket kapcsolni. Az első változatot egy a már említett, 1,8 literes, négyhengerű motoron próbálták ki. Egy ilyen motor esetében még elképzelhető, hogy megfelelő mennyiségű hely áll rendelkezésre a motortérben, de egy hathengerű vagy még nagyobb motornál már nagyon nehézkes lehet a rendszer beépítése.

Éppen ezért az első működő változatok után a következő célja a BMW-nek az, hogy csökkentse az alkatrészek számát, méretét és tömegét amennyire lehetséges, hogy az elhelyezés bármilyen motornál és típusnál megoldható legyen. Így a gyár elképzelései szerint 10 éven belül megfelelő megoldást jelenthet a rendszer arra, hogy a kipufogógázban lévő energia több mint 80%-át hasznosítani lehessen.

OROSZ NORBERT



5. ábra: kipufogó-hőmérsékletek