

Különleges műszaki megoldások a belső égésű motorok fejlődésének kezdeti időszakából

Specific Constructions from the Early Period of Evolution of Internal Combustion Engine

Soluții speciale din perioada de început a motoarelor cu ardere internă

SZUNYOGH Gábor¹, HORVÁTH Sándor²

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

¹ főiskolai tanár, műszaki muzeológus, Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum

szunyogh.gabor@bgk.uni-obuda.hu, www.gbi.bgk.uni-obuda.hu

² főiskolai tanár, dékán, intézetigazgató

horvath.sandor@bgk.uni-obuda.hu, www.gbi.bgk.uni-obuda.hu

ABSTRACT

The paper shows – on the examples of the engines in the interactive engine room „Mobileum” of the Hungarian Museum of Science, Technology and Transport – the transitional period of technical development, in which the principles underlying the operation of internal combustion engines had been known already but their constructions were nearer the steam engines than today’s engines. The process of development gained a great impetus in the last decades of the 19th century and was still in progress in the early 20th century. The paper presents the part of the engines that were „modern” in comparison to those of the steam engines but are not applied with today’s engines at all, or in a considerably modified form only.

Keywords: history of technology, higher education, museum

Kulcsszavak: technikatörténet, felsőoktatás, múzeum

1. BEVEZETÉS

Ismeretes, hogy az első belső égésű motorok korabeli gőzgépek átalakításával készültek. Mind *Jean-Joseph Étienne Lenoir* aki 1862-ben az első működő gázgépet megalkotta, mind *Nikolaus August Otto*, aki 1876-ban feltalálta a négyütemű motort, egy-egy kimustrált, ócska gőzgépből hozta létre kísérleti példányát. Érthető tehát, hogy a XIX. század végén kifejlesztett motorok sokáig magukon viselték a gőzgépek főbb vonásait, és csak fokozatosan jelentek meg rajtuk a mai motorok arculatára jellemző gépszerkezetek. Igen érdekes és tanulságos nyomon követni azt a fejlődési utat, amelyet – a korabeli szóhasználatból élve – a „gázmotorok” bejártak „születésüktől” a ma már „szokásosnak” tekintett formájukig. E folyamat a XIX. század utolsó két évtizedében kapott nagy lendületet, de még a XX. század első évtizedében is zajlott. Jelen cikk e különleges műszaki megoldásokat a Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum *Mobileum* elnevezésű interaktív gépcsarnokában található gépeinek példáján keresztül mutatja be.

A tűz melegében rejlő energia kihasználására a XVII. századtól kezdődően folytak több-kevesebb sikerrel járó próbálkozások. *Denis Papin* (1642–1712), *Thomas Newcomen* (1663–1729), *James Watt* (1736–1819) és *Robert Trevithick* (1771–1833) munkásságának köszönhetően elterjedtek a gőzgépek, melyek a munkavégzéshez szükséges energiát a gépen kívül elhelyezett kazánban alakították hasznosítható formára (ún. külső égésű gépeket alkotva). De szinte velük egy időben felmerült annak a gondolata is, hogy az energiaellátást szolgáló égési folyamatot a gép belsejében folytassák le (belső égésű gépet képezve). A legelső belső égésű „munkagép” egy *puskaporos szivattyú* volt (1678). Konstruktőre, *Jean de Hautefeuille* egy edényben puska-port robbantott fel, melyből a nagy nyomású, magas hőmérsékletű füstgázok egy visszacsapó szelepen át a szabadba távozhattak. Az edényben (lehűlése után) vákuum keletkezett, amely egy másik szelepen keresztül vizet szívott fel. (Szinte ugyanezen az elven alapult *Savery* húsz évvel később feltalált gőzszivattyúja, a „bá-

nyászkok barátja”, csak ő a vákuumot az edényben lévő gőz lecsapásával hozta létre.) Hautefeuille négy év múlva, 1682-ben már olyan gépet írt le, mely a felrobbanó puskaapor füstgázának nyomását közvetlenül egy szivattyú dugattyújának elmozdítására használta volna.

A következő, szintén puskaporral üzemelő, de már *dugattyús gépet* 1680-ban *Christiaan Huygens*, holland fizikus és csillagász alkotta meg: a löport egy dugattyúval elzárt, függőleges helyzetű munkahengerben robbantotta fel. A kitáguló füstgázok a dugattyút felemelték, majd miközben a dugattyú tetemes súlyával viszszaesüllyedt, a hozzá erősített kötéllel terheket tudott felemelni. A gép működésében nagy szerepet játszott a külső légnyomás hatása is, minthogy a munkahengerből eltávozó gázok helyén vákuum maradt. Huyghens barátjával, *Denis Papin* francia matematikussal közösen végzett kísérleteket. Papin 1688-ban kisebb módosításokkal elkészítette (a már az ő nevéhez fűződő) puskaporos gépét. A puskaporos gépek azonban nem terjedtek el. Hamarosan *Thomas Newcomen* és *James Watt* munkásságának köszönhetően hódítottak a gőzgépek, és a robbanó motorok csak sikertelen kísérletezés keretei között maradtak. Annyiban jutottak előbbre, hogy felismerték: szilárd halmazállapotú (por formájú) anyag helyett légnemű robbanó keveréket, azaz valamilyen gázt kell alkalmazni. A technikai fejlődés ebbe az irányba csak azután kaphatott újból lendületet, hogy *Lebon D'Humbersin* (1767–1804) feltalálta a világító gázt. 1801-ben ő maga is épített egy gázzal működő robbanómotort, de igen sikeres munkásságát gázmérgezés okozta halála kettétörte. Ezt követően sorra jelentek meg különböző feltalálók (*Samuel Brown*, *Wellmann L. Wright*, *William Barnett*, *James Johnston*, stb.), akik próbálkozásaikkal előkészítették az utat a valóban használható belsőégésű motorok feltalálásához.

Az első, igazán sikeresnek mondható (kompresszió nélküli) gázmotort *Jean Joseph Étienne Lenoir*, (1822–1900) belga mérnök készítette, melyet nagyobb darabszámban 1862-től kezdődően gyártani is kezdtek. Lenoir motorját kezdetben nagy lelkesedéssel fogadták az erőgépeket használó iparosok, de miután felszínre kerültek „gyerekbetegségei” sokan elfordultak tőle. A „motorok sorsát” *Nikolaus August Otto* (1832-1891), német borkereskedő „mentette meg”.

2. GÁZMOTOROK

A légnyomás, mint a gázmotorok működtető ereje

Otto eredetileg Lenoir motorjának hibáit próbálta kiküszöbölni, de ahogy James Watt egy korabeli gőzgép javítása során találta fel az „igazi” gőzgépet, úgy Otto is mintegy „melléktermékként” ismerte fel a kompresszió szerepét és a motorok négyütemű működési elvét. Bár 1863-ban megépítette a világ első négyütemű gázmotorját, ötletét pénzhiány miatt nem tudta kamatoztatni. És ahogy Watt is eltűnt volna a nincstelen feltalálók süllyesztőjében gazdag barátja *Matthew Boulton* nélkül, úgy Otto-t is *Eugen Langen* (1833-1895) gazdag német cukorgyáros belé vetett bizalma állította a motorgyártás legsikeresebb pályájára. 1864-ben közösen megalapították Deutzban az *N. A. Otto & Cie motorgyárat*. A fejlesztés eleinte eltért Otto eredeti ötletének megvalósításától: sikeresebbnek látszott visszatérni az atmoszférikus gépek elvéhez, melyet két évszázaddal korábban már *Huyghens* puskaporos motorjában megfogalmazott. Langennel közösen kifejlesztették, 1866-ban szabadalmaztatták, piacra dobták, majd sorozatban gyártották a róluk elnevezett atmoszférikus gázmotort. Tíz év alatt több ezer darabot adtak el belőle. (Bár a Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum eredeti Otto-Langen gázmotorral nem rendelkezik, működése tanulmányozható a Mobileumban található modelljén).

A motor „háza” egy dór oszlopot formáló, függőleges helyzetű, felül nyitott munkahenger volt, melyben szabadon mozoghatott egy dugattyú. A dugattyú rúdja egy fogaskerékhez kapcsolódó fogaslécben folytatódott. A fogaskerék egy szabadonfutó tengelykapcsolón keresztül összeköttetésben volt a motor főtengelyével, ami hordozta egyrészt a gép lendítőkerekét és a termelt forgatónyomatékot továbbító szíjtárcsát, másrészt a vezérlőberendezést működtető excentereket. A szabadonfutó lehetővé tette, hogy a fogaskerék csak akkor csatlakozzon a lendítőkerekhez, amikor a dugattyú (illetve a fogasléc) lefelé süllyedt. Ilyenkor a fogaskerék a lendítőkereket gyorsította. Ezzel szemben, amikor a dugattyú emelkedni kezdett, a kapcsolat megszűnt, és miközben a lendítőkerek eredeti forgásirányába tovább forgott, a fogaskerék akadálytalanul foroghatott (az emelkedő fogasléc által meghatározott) ellenkező irányba. A gép főtengelyére két excenter-tárcsát is rögzítettek, melyek a gép vezérlőmechanizmusát működtették.

A dugattyú a motor munkaciklusának kezdetén a munkahenger alján foglalt helyet. Ekkor az egyik excenter egy mechanizmus közvetítésével emelni kezdte a fogaslécet, illetve vele együtt a dugattyút. Ezalatt a másik excenter mozgásba hozott egy tolattyút, amely megnyitotta az (1:10 arányú) gáz-levegő keverék bevezetését szolgáló nyílásokat. Amikor az emelkedő (és robbanó keveréket beszívó) dugattyú elérte a teljes löket-hossznak kb. egy tizedét, akkor a tolattyú elzárta a beömlőnyílásokat, és megnyitott egy olyan rést, mely előtt folyamatosan égett egy kis gázláng. A láng hatására a beszívott gáz felrobbant, és a dugattyút feldobta. Ezalatt – a fent írottak értelmében – a fogasléc szabadon, ellenállás nélkül forgatta a fogaskereket, mert a szabadonfutó tengelykapcsolónak köszönhetően a lendítőkerekkel nem volt kapcsolatban. Minthogy a munkahengert körülvevő köpenyben állandóan hideg víz áramlott, a robbanás idején felhevült gáz lehűlt, összehúzódott és

nyomása a légköri nyomás alá süllyedt. Tekintettel arra, hogy a dugattyú felülről nem volt lezárva, a rá ható külső, atmoszférikus légnyomás a dugattyút nagy erővel lenyomta. Amint azonban a dugattyúval együtt a fogasléc is süllyedni kezdett, a vele kapcsolatban álló fogaskerék forgási iránya megfordult. Ez a forgásirány viszont a szabadonfutó „zárási irányával” egyezett meg, ezért a fogaskerék a főtengellyel összekapcsolódott, és forgatónyomatékokat fejtett ki rá (munkát végzett). Amint a dugattyú elérte alsó holtponthelyzetét, a folyamat kezdődött előlről.

Otto és Langen motorja messze felülmúlta Lenoir motorját, mert gázfogyasztása a negyedét sem érte el, üzembiztonsága ellen pedig nem merült fel kifogás. Optimálisan percenként 75-80 fordulatot tett meg. Hátrányként mutatkozott azonban, hogy hihetetlenül zajos volt, a robbanások miatt erősen rázkódott, és a nagy dinamikus terhelések miatt viszonylag hamar tönkrement. A fel-feldobódó fogasléc nagy helyigénnyel lépett fel. Zavarta a gázlámpákat is, mert valahányszor beszívott egy-egy adag gázt, a vezetékekben rövid időre lecsökkent a nyomás, előidézve a lámpák fényerejének ingadozását. Legnagyobb „baja” azonban abban állt, hogy nem lehetett növelni teljesítményét, hiszen hajtóereje a gyakorlatilag állandónak tekinthető egy bar-os légnyomás volt. (Pontosan ugyanez az ok vetett véget a XIX. század első évtizedeiben Watt atmoszférikus gőzgépeinek is.) Egyrészt az említett problémák nem kielégítő áthidalása, másrészt Otto újabb motorjainak megjelenése háttérbe szorította az atmoszférikus gépeket, és a deutzi gyár 1876-ban leállította gyártásukat. Forgalmazásuk természetesen nem szakadt meg: *Csonka János* például négy évvel később, 1881-ben vásárolt egy Otto-rendszerű atmoszférikus gázmotort a műegyetem általa vezetett tanműhelye számára. Magyarországon az első atmoszférikus gázmotort 1871-ben helyezték üzembe a *Khór és Wein*-féle nyomdában.

A tolattyú, mint gázadagoló szerkezet

Miközben Deutzban sorozatban készültek az atmoszférikus gázgépek, Otto visszatért eredeti ötletéhez, a négyütemű (ún. *direkt működésű*) gázmotorok kifejlesztéséhez. Munkáját siker koronázta, és 1876-ban szabadalmaztatta „világmegváltó” találmányát. Jelentősége valóban óriási: a mai benzin- illetve gázüzemű motorok mind Otto rendszere szerint dolgoznak. Az alapvető újítást az adta, hogy Otto felismerte: ha a gyújtás előtt a gáz-levegő keveréket összenyomják, azaz kezdeti nyomását megnövelik, akkor a robbanás utáni nyomása sokkal nagyobb lesz, mint kompresszió nélkül. Ezért a korábbi két ütem helyett négy különálló szakaszra bontotta a motor egy-egy munkavégző ciklusát: a szívás ütemében a teljes lökettérfogatot megtöltötte gázzal (szemben az atmoszférikus gépekével, ahol a teljes löketnek csak egy tizedét tette ki az elrobbantandó üzemanyag), majd a kompressziós ütemben megnövelte a robbanás előtti nyomását. Ezt követte a gyújtás és a nagynyomású füstgáz kitágulása (munkavégzése). A munkaciklus végül a kipufogással fejeződött be. A négyütemű motor elve (az atmoszférikus motoréval szemben) számos előnnyel járt. A dugattyútér belső nyomása végezte a munkát, amely az atmoszférikus nyomás sokszorosára volt növelhető, így teljesítménye szinte tetszőlegesen növelhetővé vált. Mérete „tetszőlegesen” csökkenthető lett, járása csendesebbé vált, és a nagy kompresszió-végnyomásnak köszönhetően a levegő-gáz keverék nem robbanásszerűen gyulladt meg, hanem időben kissé elhúzódva, egyenletesen. (Azóta „hivatalosan” nem is használatos a *robbanómotor* kifejezés, hanem helyesen *belső égésű motor* elnevezést kell alkalmazni.) Bár a négyütemű motor egyértelműen Otto nevéhez kötendő, meg kell említeni, hogy alapgondolatához más feltalálók is eljutottak. *Alphonse Eugène Beau de Rochas* (1815-1893), francia gépészmérnök egy 1862-ben megjelent írásában már megfogalmazta a négy munkaütemet, sőt, állítólag a XIX. század ötvenes éveiben el is készített egy ilyen gépet. Ha esetleg valóban meg is valósult, eltűnt a technikai fejlődés süllyesztőjében.

Otto motorjának alaposabb megismerésére kiválóan alkalmas a Mobileumban kiállított, mechanikusan működtethető modellje. Maga a modell *Csonka János* munkája. Szinte tökéletes átmenetet mutat a gőzgépek és a belső égésű motorok között, mert mind küllemében, mind vezérlésének elvében nagyon hasonlít rájuk. Kialakításában sok olyan elemet találunk, melyek – mai szemmel nézve – teljesen idegenek a belső égésű motoroktól. Egyhengeres, négyütemű, fekvő elrendezésű. Kartere nyitott, dugattyújának megvezetését a gőzgépeknél megszokott keresztfej szolgálta. Járásának egyenletességéről egy viszonylag nagy lendítőkerék gondoskodott. Három területen különösen eltért a későbbi gázmotoroktól: üzemanyag-ellátása tolattyúval történt, gyújtását folyamatosan égő gyújtóláng szolgáltatta és kompresszió-térfogata roppant nagy volt: a teljes lökettérfogat 40%-át kitette. (A mai motorokban ez az arány mindössze 5-10 %.) Ugyanakkor már megjelentek rajta olyan elemek, melyek a későbbi gázmotoroknak szinte elengedhetetlen részei lettek, pl. az 1:2 áttételű vezértengely, a butykös tárcsával mozgatott kipufogó szelep, az indítási dekompresszor és a centrifuga-regulátoros fordulatszám-stabilizáló.

Technikatörténeti szempontból legérdekesebb *tolattyús vezérlésének* működése. Tolattyúja a henger hossz tengelyére merőlegesen, a hengerfejen helyezkedett el, melyet a főtengelyről kúpkerékkel hajtott vezértengely egy kis forgattyú segítségével mozgatott. A tolattyú forgattyúja 45°-ot sietett a főtengely forgattyújához képest. A tolattyú belsejét bonyolult rések és csatornák hálózta be, melynek segítségével a hengerfej

közepén kialakított furat mindig éppen azzal a nyílással kerül kapcsolatba, amire az adott munkafolyamatnál szükség volt. A gép működése a következő lépésekből állt.

A dugattyú a felső holtponttól elindult, közben (a hengerfej felől nézve) jobbra haladó tolattyú egy csatornával összekötötte a légbevezető nyílást a dugattyútérrel, lehetővé téve bizonyos mennyiségű *tiszta* levegő beszívását. Amikor a dugattyú megtette löketének 2/3-át, akkor a tolattyú elmozdulása már oly mértékű lett, hogy megnyílhatott egy újabb, a gázadagolóval összeköttetésben álló csatorna. A *gázszívás* kezdetét úgy állították be (pontosabban a gázbevezető csatornát a tolattyúba úgy marták be), hogy végül éppen 1:10 arányú gáz-levegő keverék alakuljon ki. (E gépben tehát – a későbbi motoroktól eltérően – még nem lehetett szabályozni a beszívott keverék összetételét.)

Otto alapvető felismerése, hogy a gáz sokkal több munkát tud végezni, ha begyűjtása előtt összenyomják, mintha csak légköri nyomáson égetnék el (amint az Lenoir motorjában zajlott). Ennek érdekében a tolattyút úgy alakította ki, hogy amikor a dugattyú már a hengerfej felé (a felső holtpont irányába) mozgott, akkor a hengerfejen lévő furat előtt semmiféle nyílás vagy csatorna ne legyen rajta, azaz a dugattyútérben található gázkeverék komprimálódhasson.

A kompresszió befejeztével egy, mai szemmel nézve roppant különös szerkezettel begyűjtotta a keveréket. A gáz robbanása után nyilvánvalóan elkezdődött a munkavégzés (expanzió). 45°-kal az alsó holtpont előtt a tolattyú haladási iránya megfordult és visszaindult. Ez természetesen nem befolyásolta a gáz további expansióját, hiszen a tolattyúnak ezen a részén semmiféle nyílás sem volt. („Oda menetben” itt zajlott a kompresszió.)

Kipufogás. Amint a dugattyú elérte az alsó holtpontot, a vezértengelyre ékelt bütykös tárcsa egy himbán keresztül megnyitotta a kipufogó szelepet, és megtörtént a kipufogás művelete.

Gyújtás folyamatosan égő gyújtólánggal

A hengerfej külső (a tolattyúval átellenes) oldalán folyamatosan égett egy kis gázláng. E láng azonban közvetlenül nem kerülhetett kapcsolatba a dugattyútérrel, hiszen a kompresszióknak köszönhetően ott már nagy nyomás alatt állt a gáz, a gyújtóláng környezetében pedig csak légköri nyomás uralkodott. Ha tehát megnyílt volna valamilyen csatorna közöttük, akkor a henger nyomban dekomprimálódott volna. E nehézséget Otto egy *közvetítő láng* segítségével hidalta át. A tolattyúban kialakított egy olyan üreget, mely alkalmas volt a láng *átszállítására*: mielőtt a dugattyú elérte volna a felső holtpontot, ezt az üreget feltöltötte égésre alkalmas levegő-gáz keverékkel. Amidőn e tér (a tolattyú mozgása során) elhaladt a gyújtóláng előtt, a gáz meggyulladt. A tolattyú további mozgásakor kapcsolata a gyújtólánggal megszakadt, de égése még folytatódott. Hamarosan azonban elérte a hengerfej közepén található furatot, és a *még égő* közvetítő láng meggyújtotta a munkatérben lévő gázelegyet.

Otto eredeti négyütemű motorjai lóerő-óránként átlagosan 1 m³-t fogyasztottak. (1, 2 és 4 lóerős változatok készültek.) Percenkénti fordulatszáma 160-180 körül mozgott, tehát a mai motorokhoz viszonyítva rendkívül lassan járt. Indikált középnyomása 3,93 bar volt.

3. LOKOMOBILOK

Otto tolattyús gázmotorja a XIX. század 80-as éveiben igen elterjedt volt, de rövid idő alatt túlhaladottá vált. A fejlődés mindenekelőtt két területen hozott gyors változást: folyamatosan égő gázláng helyett elektromos gyújtásra tértek át, és a tolattyúkat szelepekre cserélték. Bár ezek alapvető újítások voltak (alapelvük mindmáig megmaradt a benzin üzemű motorok esetében), kivitelüket, műszaki megoldásukat illetően annyira eltértek a maiaktól, hogy nem egy esetben valóságos „detektív munkát” kellett végezni, egy-egy gépelem működésének megértéséhez.

Közös jellemzőjük, hogy nincs zárt motorházuk, valamennyi szerkezeti elemük szabadon, jól látható módon van elhelyezve. Vannak közöttük helyhez kötött, ún. stabil motorok, illetve kocsiszerkezetre szerelt, állati erővel mozgatható félstabil gépek (lokomobilok). Fordulatszámuk kicsi volt (2-25 ford/perc), ezért a megfelelő teljesítmény elérése érdekében nagy nyomatókót kellett kifejteniük, ami magával vonta robusztus kivitelüket. Viszonylag kis (3-10 kW) teljesítményükhöz képest lökettérfogatuk óriási.

Résvezérléses üzemanyag-ellátás

Száz éves motorjaink üzemanyag-ellátásának módoszatai magukon viselik az útkeresés sokféleségét. Példaként említhető a későbbi miniszterelnök: Friedrich István gépgyárában 1900-ban készült lokomobil. Hossza 2850 mm, lendkerekeinek átmérője 1100 mm, tömege 500 kg. Dugattyújának átmérője 180 mm, lökete 250 mm. Hengerűrtartalma 6362 cm³.

A gép a levegőt ún. *hörgőszelepen* át szívta be. A hörgőszelep tulajdonképpen egy lágy rugóval előfe-szített visszacsapó szelep. Nyitását nem a vezértengellyel működtetett mechanizmus végezte, hanem szeleptá-

nyérját a dugattyútérben fellépő depressziónak köszönhetően a külső légnyomás nyomta be. Zárása a rugónak volt köszönhető. (Maga az elnevezés abból adódik, hogy a szívás hörgésszerű hanghatással jár.)

A motorba kerülő keverék összetételét (a mai motorokban szokásos pillangószelepes rendszerről eltérően) ún. *menyiség szabályozós* elv alapján változtatták: a levegő a légszűrő után egy henger alakú kamrába jutott, a kamra falába vágott, téglalap alakú nyílásokon (réseken) keresztül. A kamra belsejében egy forgatható henger volt elhelyezve, melynek palástján ugyanolyan alakú és helyzetű rések voltak kialakítva, mint amilyenek a kamra oldalán. Mármint e henger elfordításával a beáramló levegő számára szabad keresztmetszetet bővebbre vagy szűkebbre lehetett venni, tehát növelni vagy csökkenteni lehetett a beszívott levegő mennyiségét. A henger megfelelő mértékű elfordításáról – a gőzgépek fordulatszám-szabályozására használt – centrifuga-regulátor gondoskodott.

Annak érdekében, hogy indításakor a még hideg motor számára benzingőzben dúsabb keveréket lehessen előállítani, a henger légáteresztő-képességét kézzel (is) szabályozhatóvá tették. Ezt úgy érték el, hogy a légkamrába egy további hengert illesztettek, melynek palástja szintén ki volt vágva a többi nyílással egybevégezően, de ezt a hengert egy kar segítségével kézzel külön el lehetett fordítani, és le lehetett fojtani a levegő beáramlását. (Ez a szerkezet tulajdonképpen a mai motorok szivatójának „őse”.) A gép bemelegedése után e segédhengert alaphelyzetbe állították, biztosítva, hogy az alaphenger által megszabott légmennyiség a motorba bejuthasson.

Kisfeszültségű mágneses gyújtás

Igen különös módon történt a robbanókeverék meggyújtása. Napjainkban természetesnek találjuk, hogy a gyújtást nagyfeszültségű gyertya végzi, melynek elektródái között átcsapó szikra gondoskodik az üzemanyag lángralobbantásáról. A XIX. század végén azonban még nem tudtak kellő üzembiztonsággal megfelelően nagy feszültséget előállítani, ezért alapvetően más gyújtási módszerhez: *elektromos ív* használatához folyamodtak. A módszer lényege (melynek elterjesztése a Bosch-céghez fűződik) a következő. Kialakítottak egy kisfeszültségű áramkört. Vezetékeit egy kb. 100 voltot előállító feszültségforráshoz kötötték, bevezették a motor hengerfejébe, ahol egy megszakító sarkaihoz kötötték. Röviddel a gyújtás pillanata előtt működésbe hozták a feszültségforrást, ami áramot indított a körben. A gyújtás szükséges időpontjában pedig egy megfelelően kialakított mechanizmussal szétválasztották a megszakító elektródáit, ezáltal az elektródák között kialakult az elektromos ív, és a benzingőz felrobbanhatott. Ezen elv gyakorlati megvalósítása a következőképpen alakult.

A feszültség (a nyugalmi indukció elve alapján) egy mágnespatkó sarkai közé helyezett tekercsben keletkezett. Maga a tekercs nyugalomban volt, sőt mágneses erővonalak sem járták át, mert egy lágyvas-henger vette körül, ami a mágnes sarkai között feszülő erővonalakat a tekercstől elszigetelte (mágnesesen leárnyékolta). A vashenger vízszintesen csapágyazva volt, így egy, a hengerhez rögzített karral el lehetett fordítani. Arról, hogy a henger alaphelyzetben mindig megfelelő pozícióban álljon, két rugó gondoskodott. A henger szinte teljesen zárt volt, csak palástjának tetején és alján vágtak ki belőle egy-egy rést. Minthogy – alaphelyzetben – e rések összekötő vonala a mágnespatkó sarkait összekötő egyenesre merőleges volt, ezért erővonalak nem hatolhattak be rajtuk. Amikor azonban közeledett a gyújtás pillanata, az említett kart egy, a motor vezértengelyére rögzített bütykös tárcsa elfordította. Nyilvánvaló, hogy ekkor a henger palástján található nyílások az erővonalak irányába fordultak, és a mágnespatkó erővonalai behatolhattak a henger (és ennek révén a tekercs) belsejébe. Amikor a bütykös tárcsa továbbfordulása miatt a kar a bütyökről lepattant, a vashengert a rugók visszarántották alaphelyzetbe. Mialatt a henger visszafordult eredeti helyzetébe, a mágneses erővonalak ismét kiszorultak belsejéből, következésképpen a tekercs belsejében a mágneses erőtér a korábbi (véges) értékről hirtelen nullára csökkent. Ez pedig – a nyugalmi indukció törvénye értelmében – a tekercs végei között mérhető feszültség indukálódásával járt.

Az említett mechanizmus egy villában végződő kitámasztó rúddal is összeköttetésben volt, melynek feladata abban állt, hogy a hengerfej belsejében található megszakítót megszakított állapotban tartsa. Amikor a bütykös tárcsának köszönhetően a mechanizmus „felhúzódott”, azaz a rugók ellenére elfordult, akkor a kitámasztó rúd visszahúzódott, lehetővé téve, hogy egy másik rugó a megszakítót zárhassa. Amikor a mechanizmus visszapattant alaphelyzetébe, az indukálódó feszültség áramot indított az áramkörben, és a (zárt állású) megszakítón is átfolyhatott az áram. Eközben a mechanizmushoz kötött kitámasztó rúd fokozatosan visszatért eredeti (alap-) helyzetébe, és végül ismét szétválasztotta a megszakító elektródáit. Az eltávolodó elektródák között elektromos ív alakult ki, mely begyújtotta a motor hengerében található gázkeveréket.

Előgyújtás szabályozása

Figyelemre méltó, hogy a bütykös tárcsának két lehetséges állása volt, melyet egy karral változtatni lehet. Ha a tárcsa kihúzott állapotban volt, akkor a gyújtást vezérlő kar a bütyök alsó, szélesebb részére támasz-

kodott, míg ha be volt tolva, akkor a kar egy keskenyebb részre támaszkodott. Ez utóbbról tehát a feszültség indukálódását kiváltó kar hamarabb pattant le, mint a másikról, azaz korábban gyújtott. Az alsó bütők használatára indításkor volt szükség, mert úgy volt beállítva, hogy pont akkor következzen be a gázkeverék meggyújtása, amikor a dugattyú éppen a felső holtponthoz volt. A másik bütők az üzem közbeni előgyújtást szolgálták. Ha már indításkor előgyújtást végeztek volna, akkor (a lendítőkerék hatástalansága miatt) a motor esetleg hátrafelé indult volna el.

A gép beindításakor tehát az említett kart (a bütökös tárcsával együtt) kihúzták, majd a gép lendítőkerekét kézzel megforgatták. Amint a gép már lendületbe jött, és beindult, akkor a bütökös tárcsát a vezértengelyen elcsúsztatták (betolták). Ettől kezdve a gyújtómechanizmust működtető kar már akkor lepattant a bütökről, amikor a dugattyú még nem érte el a felső holtpontot, tehát megfelelő előgyújtást hozott létre. (Természetesen e „kezdetleges” gépben az előgyújtás pillanatát még nem lehetett fokozatosan állítani: csak a fenti két állás között lehetett választani.)

Dekompressziós indítás

Minthogy valamennyi ősmotort kézzel, a lendítőkerék megforgatásával indították, ezért szükség volt olyan kiegészítő mechanizmusok bevezetésére, melyek a kézi indítást megkönnyítették (illetve nagyobb teljesítményű gépek esetében lehetővé tették). Ennek érdekében a gyújtást vezérlő bütökös tárcsát egybeépítették a kipufogó szelepet emelő másik bütökös tárcsával. Ez is kettős tárcsa. Ha a tárcsák betolt helyzetben voltak, akkor csak egy (nagy) bütők esett a szelepemelő kar görgőjének útjába, ha pedig ki volt húzva, akkor a nagygyal éppen ellenkező oldalon egy rövidebb, alacsonyabb bütők is működésbe lépett. Ez utóbbi a kipufogó szelepet egy kissé akkor is megnyitotta, amikor a dugattyú éppen kompressziós ütemet hajtott végre, azaz kis mértékű dekompressziót idézett elő. Ezáltal a dugattyú mozgatásához és a lendítőkerék felgyorsításához már annyi erő elegendő volt, amennyit egy ember ki tudott fejteni. A gép beindulása után – a korábban már többször említett karral – a bütökös tárcsákat betolták, ezért a kipufogó szelepet emelő himba a bütökös tárcsának azzal a részével érintkezett, ahol csak egy (a kipufogást vezérlő) bütők foglalt helyet, így a kompressziós ütem zavartalanul le tudott folyni, és a gép a tervezett teljesítménnyel dolgozhatott. (Amikor a motor már üzemszerűen járt, akkor a lendítőkerékben felhalmozott energia bőven elegendő volt a munkaközeg összenyomására.)

Kihagyásos fordulatszám-szabályozás ingás regulátorral

A motorok fordulatszámának állandóságát sok stabilmotoron egy ma már teljesen ismeretlen, úgynevezett kihagyásos szabályozással biztosították, melynek működése jól nyomon követhető a Mobileumban őrzött másik lokomobilon. E gépet a bécsi Warchalowski-gyár budapesti gyáregysége készítette. Hossza 3200 mm, lendítő kerekeinek átmérője 1200 mm, tömege 850 kg. Dugattyújának átmérője 200 mm, lökethossza 400 mm. Hengerűrtartalma: 12.560 cm³.

Magát a fordulatszám-szabályozó mechanizmust egy, a motor főtengelyéhez excenterrel kapcsolt vezérlő rudazat mozgatta. E rúd „elsődleges” feladata abban állt, hogy megfelelő pillanatban benyomja a szívószelepet, lehetőséget adva arra, hogy a dugattyútérben uralkodó vákuum elindíthassa a szívás folyamatát, illetve a robbanó keveréknek utat nyisson a munkahenger felé. A szívószelep megnyitása azonban csak „szükséges feltétele” volt az üzemanyag beáramlásának, de nem „elégséges”. Egy másik szelep ugyanis elzárta a benzinglevegő keverék útját, és csak akkor nyitott, ha a gép fordulatszáma az előírt (kívánatos) értéket nem haladta meg. Amennyiben a motor túl gyorsan járt, akkor – egy alább ismertetett szerkezetnek köszönhetően – ez a segédszelep zárva maradt, és a motor egy vagy több ütem alatt nem végzett munkát, mert nem került bele robbanó elegy. A kimaradt munkaütemek miatt a gép lelassult, és végül fordulatszáma beállt a kívánatos értékre.

E segédszelepet egy ún. *ingás regulátor* nyitotta (vagy hagyta zárva). A regulátor tulajdonképpen egy kétkarú mérleg, mely egy szánra volt szerelve. A szán együtt mozgott a szívószelepet működtető rúddal. A mérleg egyik karját alkotó rúd szolgált (a szelepszár benyomásával) a segédszelep megnyitására. Egy ütköző biztosította, hogy e mérlegkar ne emelkedhessen fel, tehát ha a mérleg másik vége a nehezebb, akkor maradjon vízszintes helyzetben. Természetesen, ha a másik mérlegkar – valamilyen ok miatt – könnyebbé vált volna, akkor az innenső vége lesüllyedt volna. A mérleg másik karját képező rúd nem vízszintes, hanem lefelé hajlott, és a végéhez egy súly volt rögzítve. E súly akkora, hogy a mérlegnek ez az oldala legyen nehezebb, azaz a mérleg másik karja vízszintesen álljon. Ha a motor a tervezett (elvárt) fordulatszámmal forgott, akkor a vízszintes helyzetű mérlegszár mindannyiszor benyomta a segédszelep szarát, valahányszor sor került szívási ütemre, azaz amikor a szán előre haladt.

Ha azonban a gép megengedhetetlen mértékben felgyorsult, akkor a szán is nagyobb gyorsulással haladt előre, és a súly tehetetlenségénél fogva lemaradt. Ez viszont azzal járt, hogy kibillentette a mérleget egyensú-

lyi helyzetéből, mert a tehetetlenségi erő a súlyerőével ellentétes irányú forgatónyomatékokat fejtett ki. A mérleg működése szempontjából úgy tűnt, mintha a mérleg ezen oldala könnyebbé vált volna, ezért a mérleg másik karja lesüllyedt, és akadálytalanul elhaladt a segédszelep szára alatt. Ennek következtében a segédszelep nem nyílt meg, és üzemanyag sem tudott a motorba jutni. Ha ezután a motor lelassult, a súlyra ható tehetetlenségi erő ismét lecsökkent, és a mérleg felvéve eredeti vízszintes helyzetét, ismét működésbe hozta a segédszelepet, lehetőséget adva a motor további egyenletes járásához. (E regulátor „ingás” elnevezése onnan ered, hogy túl nagy fordulatszám idején a mérleg ingaszerű lengéseket végzett.)

A fent ismertetett gépelemeknek sok egyéb változata is kialakult, de a XX. század 20-as éveire gyakorlatilag letűntek a technika színpadáról.

4. FEKVŐHENGES (GŐZGÉPSZERŰ) STABILMOTOROK

A lokomobiloknál lényegesen nagyobb számban gyártottak állandó beépítésű, helyhez kötött ún. stabil-motorokat, mert míg az előbbieket elsősorban a mezőgazdaságban alkalmazták, addig a stabil-gépek mind a nagy-, mind a kisipar területén, mind pedig a gazdasági élet egyéb szektoraiban kiváló energiaszolgáltatónak bizonyultak. Általános kinézetüket meghatározta, hogy hogyan helyezkedik el munkahengerük. Igen elterjedtek voltak a vízszintes hengerű (fekvő) motorok. Ott azonban, ahol viszonylag kevés hely állt a gép rendelkezésére (mindenekelőtt a városokban), célszerűbb volt állóhengeres gépeket alkalmazni, mert azok kis területet foglaltak el. Természetesen ezek magasabbak voltak a fekvőhengerekénél, de a géptermekekben felfelé „lehetően terjeszkedni”. A fekvőhengeres gépek jól érzékeltek a fokozatos átmenetet a gőzgépek és a belső égésű motorok között, és (az alább bemutatott sorozaton keresztül) megfigyelhető a gőzgépekre jellemző vonások fokozatos eltűnése, illetve a mai motorokon megszokott szervek megjelenése.

Végigtekintve a Mobileumban őrzött XIX. századi motorjainkon, világosan látszanak rajtuk a technikai evolúció lépései, amint a gázgépek (mintegy 20 év alatt) folyamatosan alakultak át „ősmotori” formájukból mai gépekké. Ezek részletes műszaki ismertetésétől eltekintünk, de főbb paramétereiket megadjuk, mintegy felkínálva a technikatörténet iránt érdeklődő olvasóink számára, hogy rajtuk akár további kutatásokat végezzenek a műszaki fejlődés részleteinek tisztázására, vagy segítségükkel elmélyítsék tanítványaikban technikatörténeti ismereteiket.

Heller és Herz-féle stabilmotor. 1906-ban készült a Heller és Herz Motor és Gépgyárban. Tömege: 650 kg, lökettérfogata: 5,5 liter, teljesítménye: kb. 4,5 kW. Gyújtása kisfeszültségű, mágneses, belsőmegszakító. Fordulatszám-szabályozása kihagyásos, regulátora ingás (inerciás). Kipufogó szelepét az indítást megkönnyítő kettős bütykös tárcsa vezérli. Üzemanyag-ellátó rendszere még a Bánki-Csonka felét megelőző időből való. Vízhűtéses, a henger közepén emelkedő fekete vascső volt a víz be- vagy kivezető csöve. Hajtókar-csapágyának olajozása a főtengelyre szerelt peremes tárcsán keresztül, centrifugálisan történt.

Martos-Herz gyártmányú stabilmotor. A Martos és Herz Motor és Gépgyárban készült Budapesten, 1906-ban. Tömege: 1.200 kg, lökettérfogata: 6,6 liter. Fekvőhengeres négyütemű, fordulatszáma 250-300 percenként. Üzemanyag-ellátó rendszere már közelíti a modernét. A levegőt egy, a gép elején felnyúló, palástján felhasított csőből nyeri, mely a szivató szerepét betöltő fojtószeleppel (gázkarral) szabályozható. Ez a gázkar teszi lehetővé, hogy a gépkezelő meghatározhassa a beszívott keverék mennyiségét. Fordulatszámát azonban még a gőzgépeken megszokott (éspedig Proell-rendszerű) centrifuga-regulátor szabályozta, mely egy rudazaton keresztül össze volt kötve a fojtószelep fordítókarral. Kezdetben, amikor a kis fordulatszám miatt a regulátor gömbjei alsó helyzetben voltak, a fojtószelep teljesen nyitva volt. Ha azonban a gép felpörgött, akkor a regulátor gömbjei felemelkedtek, és a rudazat közvetítésével a fojtószelepet működésbe hozva csökkentették a hengerbe jutó üzemanyag mennyiségét, tehát előidéztek a motor lassulását. Ha a regulátor jól volt beállítva, akkor éppen annyira nyitotta meg a fojtószelepet, amennyi az üzemi fordulatszám biztosításához szükséges üzemanyagot átengedte. E beállítást a regulátor tetején található állítócsavarral lehetett beszabályozni. Gyújtása kisfeszültségű, belső megszakító rendszerű. A vezértengely végén egy oldható körmös tengelykapcsoló van, mely kézzel állítható, és lehetővé teszi, hogy a gyújtómágnest kiváltó rugós kar később jöjjön működésbe. Ezáltal a gyújtás időpontja (két helyzet között) változtatható, illetve késleltethető, lehetővé téve, hogy indításkor (üzem közbeni előgyújtás helyett) felső holtponthoz gyújtást érhesse el. Az eddigiekkel szemben újszerű, hogy mindkét szelepe a vezértengelyről vezérelt. Kipufogószelepét mozgó bütykös tárcsa ezen a gépen is kétállású, melyek között a gépkezelő egy körmös tengelykapcsoló közbeiktatása révén válthattott. Indításkor a tengelykapcsolót be kellett tolni, mert ekkor az a bütykös tárcsa funkcionált, melynek mindkét oldalán található egy-egy szelepnitató bütyök, csekély dekompresszióval megkönnyítve a gép átfogatását.

MAB 17 1/2 benzin-petróleum motor. A Magyar Királyi Államvasutak Gépgyárában készült Budapesten, 1910-ben. Tömege: 980 kg, lökettérfogata: 8,5 liter. Gyújtószerve kisfeszültségű, belső szikraközös. A vezértengelyről bütykökkel mindkét szelepet vezérelték. Fordulatszám-szabályozója a gőzgépeknél megismert Watt-féle centrifuga-regulátor. Olajszivattyúja a vezértengelyről működtetett bütykös mechanizmusú. Kartere

nyitott, hűtése (a ma már ismeretlen) gőzölögtetéssel zajlott. Hűtővizét a benzintank mellett felnyúló kéményszerű csövön öntötték be, illetve ott párologtatták el. Leállítása a kipufogószelep mechanizmusának kítámasztásával (dekompresszióval) történt. Olajozója kanócos, porlasztója Bánki–Csonka-típusú. Kétféle üzemanyaggal dolgozhatott. Általában az volt a szokás, hogy a motorokat könnyen begyulladó benzinnel indították, majd a gép bemelegedését követően, átkapcsolták olcsóbb, de nehezebben lángra lobbanó petróleumra.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum interaktív gépcsarnokában, a Mobileumban található ösmotorok szemléletesen tükrözik a belső égésű motorok fejlődésének kezdeti időszakát, azt az átmeneti kort, amikor (a gőzgépektől alapvetően eltérő) működési elvüket már tisztázták ugyan, de konkrét megvalósulási formájukat illetően a tervezőmérnökök, újítkók és feltalálók még nehezen szakadtak el a gőzgépek fő konstrukciós vonásaitól. Ösmotorjainkkal átfogott mintegy 40 év alatt (a dualizmus korszakában) fokozatosan jelentek meg a mai motorok szokásos szervei, melyek – akár az élővilág fajai – egy markáns evolúciós folyamat eredményei. Jelen cikkben felhívtuk a figyelmet azokra a gépalkatrészekre, melyek már újszerűek voltak a gőzgépek szerveivel képest, de a mai motorokon már nem, vagy csak nagyon átalakult formában figyelhetők meg. Az egyes gépek kapcsán érdemes felhívni a figyelmet a „megszüntetve megőrzés” elvére is, mely szerint egy-egy jó gépészeti megoldás akkor is megmarad (természetesen más feladatot kapva), ha az a géptípus, melyhez kapcsolódva feltalálták, már letűnt a technika „színpadáról”.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. BALOGH, Arthur: Gázgépek (belső égésű gépek) működése. Az Atheneum irodalmi és nyomdai részvénytársulat kiadása, Budapest, 1920. 128 p.
2. BERETVÁS, Andor: Szívógázmotorok szerkezete és kezelése. A Népszava-könyvkereskedés kiadása. Budapest, 1927. 164 p.
3. DUBBEL, Heinrich: Großgasmaschinen. Ihre Theorie, Wirkungsweise und Bauart. Verlag von Julius Springer. Berlin, 1910. 167 p.
4. GÜLDNER, Hugo: Das Entwerfen und Berechnen der Verbrennungskraftmaschinen und Kraftgasanlagen. Verlag von Julius Springer. Berlin, 1914. 789 p.
5. HORVÁTH, S., SZUNYOGH, G.: A technikatörténet jelentősége a gépészmérnökképzésben – Műszaki szemle (Technical Review). 38. k. 2007. p. 28-32
6. JALSOVICZKY, Géza: Tűzgépek szerkezete és kezelése. Révai testvérek irodalmi intézet részvénytársaság kiadása. Budapest, 1925. 741. p.
7. JALSOVICZKY, Lajos: Gázmotorok. Az Athenaeum irodalmi és nyomdai Rt. kiadása. Budapest, 1921. 344 p.
8. MORVAI, Zoltán: A gázgépek általános ismertetése. Kiss Gyula kiadó, Budapest, 1918. 159 p.
9. ORDÓDY, János: A gázmotorok gyakorlati kézikönyve. Thália műintézet részvénytársaság, Budapest, 1912. 303 p.
10. STRAUB, Sándor: Gázmotorok elmélete, szerkezete, kezelése és üzletköltségei. Kilián Frigyes Egyetemi Könyv-árus bizománya. Budapest, 1887. 208 p.