



Dr. Kalmár István egyetemi docens
BME Gépjárművek tanszék

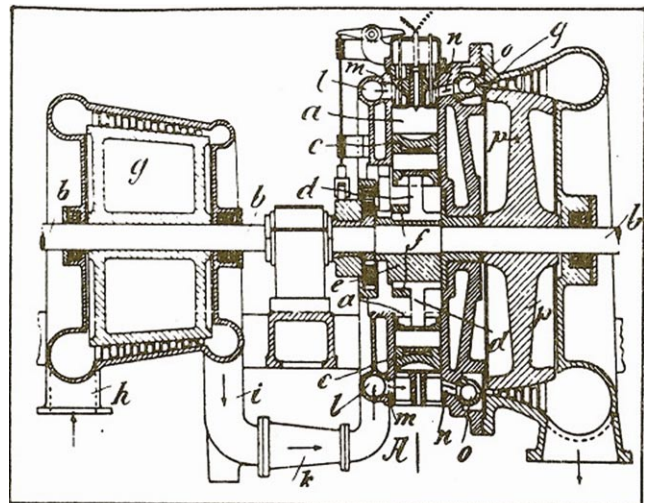
100 éves a turbófeltöltés

A 100 éves kezdet Alfred BÜCHI svájci mérnök nevéhez fűzhető, aki 1905-ben, Németországban szabadalmaztatta elgondolását a motor jobb levegőellátására. Ennek lényege, hogy a levegősűrítő (axiálkompresszor), a dízelmotor és a kipufogógázzal működő turbina egyetlen gépegyeséget képez. Később, az 1910-et követő években a motort már leválasztotta, és a turbógépet önálló egységbe építette, majd a svájci Sulzer cég motorjaival folytatott kísérleteinél a levegőtöltet növelésére és a motor gázcsere-folyamatának javítására használta. Ezzel a turbófeltöltés alapjait és a ma is tartó fejlődés lehetőségeit teremtette meg.

Az első gyakorlati alkalmazás két 10-hengerű, MAN-licenccben gyártott hajómotornál Büchi együttműködésével 1923–1925 között történt. Ekkor a motor mintegy 40%-os teljesítménynövekedést ért el. A ma is „Büchi-féle feltöltés”-nek nevezett eljárást 1925-ben szabadalmaztatta Büchi, amely az ún. lüktető rendszerre vonatkozott. A lüktető rendszer a kipufogóvezetékben futó nyomáshullámok energiájának járulékos hasznosítását jelenti. Ez a hatás elsősorban a hosszabb kipufogócsövekben, tehát viszonylag nagy motoroknál jelentkezik, azonban még ma is bizonyos esetekben jó energiahasznosítási lehetőségeket biztosít.

A turbófeltöltés alkalmazása a 20. század első harmadában az akkor még fejlődésben lévő dízelmotoroknál is ritkaságnak számított, a század közepe táján azonban a technológiai fejlődés révén erősen fellendült. Érdekes figyelemmel kísérni, hogy a motorok különböző felhasználási területein a feltöltéssel kínálkozó előnyök, és az ezek kihasználását lehetővé tevő turbófel-

Alfred Büchi első turbófeltöltő-szabadalmának rajza (1905)



töltők tulajdonságainak fejlesztése milyen problémák megoldását tette szükségesé és kívánja még ma is.

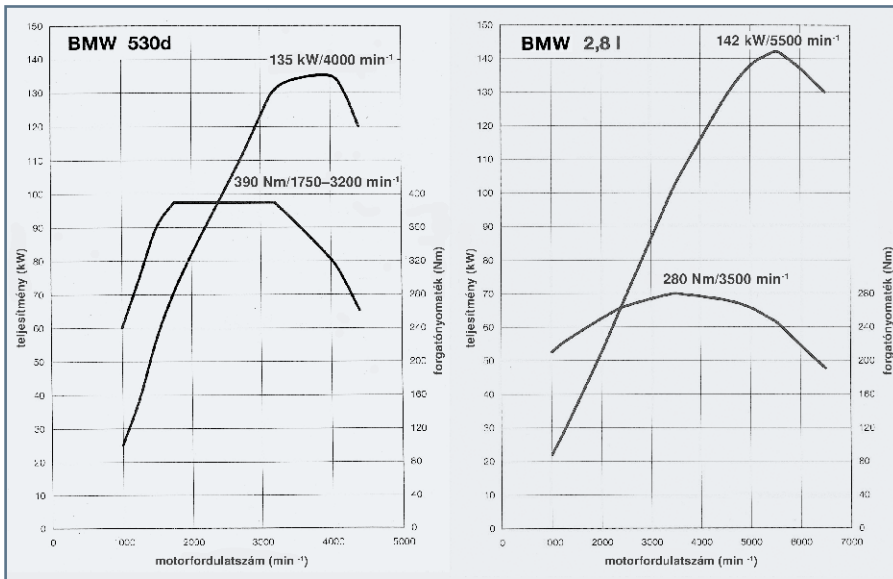
A turbófeltöltéses motorok energetikai viszonyai:

1./ A turbófeltöltött motornál a kipufogógáz a hajtóanyag energiájának mintegy 35%-át tartalmazza, amelynek hasznosítása – többlet levegő és az arányosan hozzátevődő többlet tüzelőanyag – révén a motor fajlagos teljesítményének (kW/dm^3) 20–50%-os növelését teszi lehetővé.

2./ A megnövekedett teljesítmény ellenére a motor súlya és térfoglalása gyakorlatilag alig változik.

3./ Mivel a feltöltött motor mechanikai veszteségeit fedező teljesítmény (súrlódások, szivattyúk stb. teljesítményfelvétele) csak kisebb mértékben növekszik mint a hasznos teljesítmény, így a hatásfok és a fajlagos fogyasztás is javul, valamint a fogyasztás csökkenése révén a fajlagos CO_2 -emisszió is csökken.

Mindenképpen meg kell említeni, hogy az ún. „teljesítménynövelés” belső égésű motorok esetén természetesen fordulatszám-növeléssel is elérhető. Ez azonban a benzinmotorokra jellemző módszer, amelyeknél a feltöltés korlátozza alkalmazását. Dízelmotoroknál viszont ellentétes irányú a fejlődés; még a személygépkocsiknál is egyre növekvő hányadban alkalmazzák a turbófeltöltést. Ez annál figyelemre méltóbb, mert Európában, a személygépkocsi-állományban mintegy 30%-ot tesz ki a dízelmotoros hajtás, az újautó-eladásban pedig ma már közel 50%-ot. Érdekes összevetni két jellegzőgörbét a 2,8



literes szívó benzines és a 3 literes turbó-dízel változat közel azonos teljesítményű motornál. A dízel nyomatéka

a fordulatszám-tartomány nagy részében állandó és jóval nagyobb. A feltöltési nyomás növelését – akárcsak a

benzinesek fordulatszám-növelését – a motor oldaláról nemcsak mechanikai, hanem hőterhelési határok is korlátozzák. Ezek a hengerfejnél, a dugattyúnál és a szelepeknél fellépő túlzottan nagy hőfeszültségek. Maga a turbófeltöltő is korlátozó, hiszen a nagy nyomásvizonyhoz nagy kerületi sebességek, nagy fordulatszámok (60 000–300 000 min⁻¹) és a turbinánál még nagy hőmérsékletek is járulnak. Mindez a feltöltési nyomásvizony növeléséhez egyre igényesebb, drága anyagokat és technológiát kíván.

A fejlesztés során nagy figyelmet – vagyis sokoldalú szimulációs eljárásokat, szilárdsági számításokat, stacionárius és dinamikus fékpadi kísérleteket – szentelnek a turbófeltöltő és a motor együttműködésének a vizsgálatára. A periodikusan ismétlődő ciklusokkal működő motor és a két stacionárius működésű turbógép együttes üzeme megkívánja a következő feltételek egyidejű teljesülését:

$$m'_{\text{levegő}} + m'_{\text{tűz.anyag}} = m'_{\text{motor}} = m'_{\text{turbina}} (+m'_{\text{bypass}})$$

(ahol: m' az időegység alatti tömegváltozás)

és a kompresszor teljesítményfelvétele minden pillanatban csak egyenlő lehet a turbina teljesítményével.

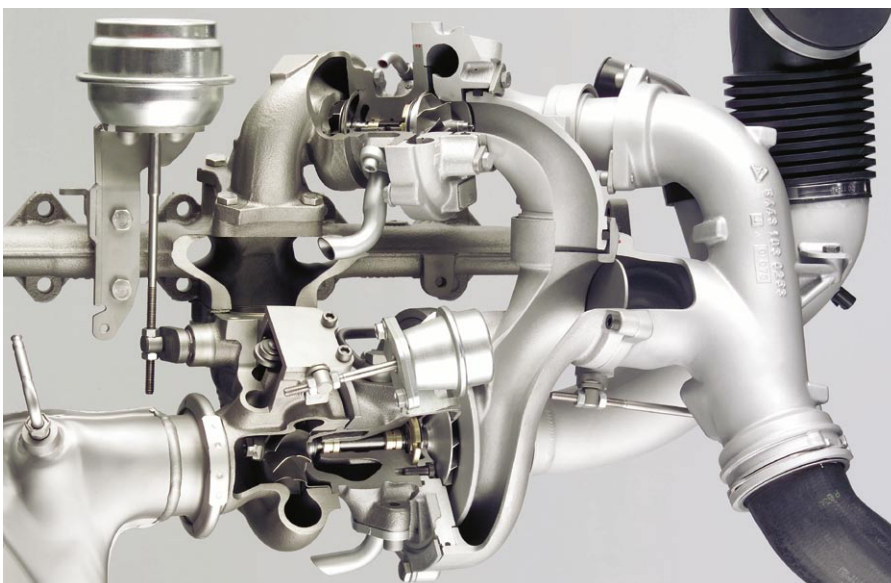
Egy egyszerű turbófeltöltő kiválasztásánál, pl. közúti járműmotor esetén meglehetősen nehéz kompromisszumos megoldást találni:

- a/ még a kis fordulatszám és terhelés mellett is igényelt lehető nagy nyomaték és felgyorsulás, valamint
- b/ a maximális lehetséges teljesítmény és minimális fajlagos fogyasztás között.

Az a/ követelmény teljesítéséhez viszonylag kis átömlési keresztmetszetű turbina szükséges. Így már kis motorfordulatszámánál is nagy nyomás jön létre a turbina előtt és a nagyobb turbinatelsítmény révén a töltőnyomás, és vele a motor nyomatéka is viszonylag nagy lehet. Növekvő motorfordulatszámnál a kis keresztmetszetű turbinánál azonban a jelentősen megnövekvő töltőnyomás miatt a motor csúcsnyomása is túlzottan nagy lesz. Az így megnövekedett mechanikai és hőterhelésnek határt kell szabni, és a kipufogógáz egy részét – a töltőnyomás növekedésének

Jól mutatja a feltöltés és a levegő-visszahűtés hatását a táblázatban található összehasonlítás háromféle motornál, mindegyiknél azonos levegő-tüzelőanyag viszony esetén

Motor	Levegősűrűség (kg/m ³)	Nyomaték (középnomás)
Szívómotor	1,19	100%
Feltöltött motor	2,23	187%
Feltöltött motor levegőhűtéssel	2,78	234%



A BMW „Variable Twin Turbo”-technológia



Változtatható turbina geometriájú feltöltő

arányában – a turbina megkerülésével a kipufogóvezetékbe kell engedni (bypass; Waste Gate; LDA-jelölések). Ez természetesen veszteséget és így hatásfokcsökkenést jelent. A b/ követelmény jobb teljesülését (LDA esetén is) segítheti a kompresszorból kilépő forró levegő (110–150 fok) hűtése. A levegő-visszahűtő (intercooler) járműveknél a környezeti levegőt használja, és mintegy 40–50 fokra képes lehűteni a motorba jutó levegőt. A hidegebb levegő kellően „sűrű” lesz, és a hengerbe kisebb nyomáson is kellő tömegű levegő jut, a motor csúcsnyomása pedig csak kisebb mértékben növekszik.

Az előzőekben az a/ és b/ pontokban felsorolt követelményeket újszerű módon úgy lehet teljesíteni, hogy a turbina beáramlási keresztmetszetét változtathatóra készítik. Ezek az ún. változtatható turbina geometriájú (VTG) feltöltők, amelyeknél pl. a turbina bevezető lapátsorának elfordításával lehet a kívánt hatást elérni. Kis motorfordulatszámnál a lapátok állítása révén lehet a turbina előtti nyomást növelni, míg nagy fordulatszámnál a keresztmetszet növelésével lehetővé tenni a nagyobb tömegáramot. Hasonló hatást lehet elérni egy kisebb és egy nagyobb sorba kapcsolt turbófeltöltő, az ún. biturbó alkalmazásával. Megfelelő szabályozó szerkezetekkel és kétszeres levegőhűtéssel nagyobb nyomásviszonyú feltöltőrendszer lehet így létrehozni. A turbófeltöltött dízelmotorok alkalmazásánál, különösen járműmotoroknál, korábban erősen hangsúlyozott hiá-

nyosság volt a motor gyorsulóképességének hátránya, főként a könnyebb szerkezetű benzinmotorokkal szemben. Az elektronikus szabályozás rohamos fejlődése már nemcsak a motorokra, hanem ezekkel együttesen a turbófeltöltőkre is kiterjedt. A VTG és a biturbó kifejezetten alkalmas az ilyen rendszerek elterjedésére, amelyek a motorok gyorsulóképességét szinte a benzinmotorokéval egyenértékűvé teszik.

Külön meg gondolatot kell tenni a motor gyorsulóképességének tekintetében attól függően, hogy milyen hajtásrendszerben működik. Minden rendszerben fontos tulajdonság a motor gyorsulóké-

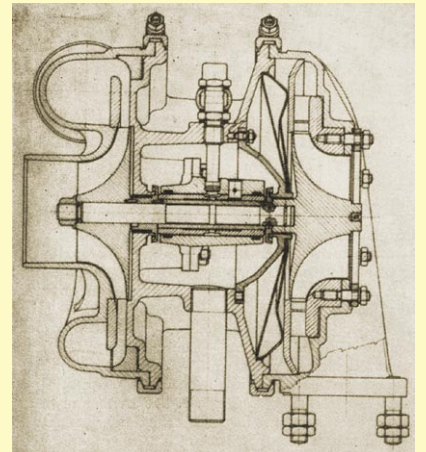
pessége, pl. egy vészáramellátó rendszerénél, egy haszonjárműnél, vagy egy sportautónál.

Természetesen azonban a felhasználó szempontjából az egész rendszer gyorsulóképessége fontos, amelyben a motor tehetetlensége csak az egyik tényező. Vagyis a turbófeltöltött motor iránti igények szorosan összefüggnek az alkalmazás körülményeivel. A fejlesztésnél tehát a rendszer igényeinek, szabályozásának gondos mérlegelése szükséges és nem utolsósorban a gazdasági, környezetvédelmi stb. szempontok figyelembevétele.

Kalmár István

Hazai turbótöltő-fejlesztés

Az első hazai tervezésű turbótöltő a Jáfiban (Járműfejlesztési Intézet – az Autókut elődje) 1957-ben készült el. „Ez a töltő azonban már születése pillanatában korszerűtlen volt. A turbótöltő tervezett nyomásviszonya 1,35, fordulatszáma 35 000 f/p volt, súlya megközelítette a 35 kp-ot, szemben az akkor korszerűnek számító Eberspächer turbótöltő 1,65-ös nyomásviszonyával és 17,5 kp-os súlyával. A „Jáfi” paraméterei, a konstrukció jelentős módosítása után elérték az 1,65-ös nyomásviszonyt. Erre az időre azonban újabb külföldi turbótöltőtípusok (CAV, Holset stb.) jelentek meg, 2-es nyomásviszonyú és 13 kp körüli súllyal. A „Jáfi 2” turbótöltő tervezése 1962 márciusában indult. A műszaki követelményekben meghatározták, hogy 25–40% teljesítménynövelést $k = 1,8\text{--}2,2$ nyomásviszony mellett adjja, a töltő összhatalásfoka érje el az 50%-ot, adiabatikus hatásfoka pedig a 65%-ot. A töltő súlya ne legyen nagyobb 14,5 kp-nál. A megvalósításnál a legnagyobb problémát a csapágyazás jelentette, a forgó rész rezonanciája miatt a csapágyak rövid idő alatt berágódtak. Problémaként jelentkezett a turbinakerék gyenge anyagminősége és a kezdetleges önté-



si technológia. Az 1963 decemberében végzett mérések arról tanúsítottak, hogy a műszaki paraméterek tekintetében a töltő teljesen kiforrott állapotba került. Sajnos ez nem volt elmondható az üzembiztonságról és az élettartamról. A turbina anyagproblémáinak megoldásában a szovjet NAMI nagy segítséget adott: megkapták a hűlő anyag összetételét, később (1969) az anyagimport is megvalósulhatott. 1967 végén a KGM megadta a 025.00-1080 („Jáfi 2”) típusú turbótöltő prototípus-jóváhagyását. A hazai töltő az akkori világszínvonalat képviselő Holset 3D és a C.A.V. 12-es turbótöltők paramétereit elérte. A Csepel Autógyárban végzett mérések pedig arról tanúsítottak, hogy a motor-turbótöltő együttműködését figyelembe véve a Jáfi töltő, amely a vizsgált típusok közül a legnagyobb összhatalásfokkal rendelkezett, biztosította a legkedvezőbb motorikus paramétereket is.

Forrás: Annus-Cser: Dízelmotorok feltöltése, Autókut, Bp., 1971

