

# Kétfokozatú turbófeltöltés

A kétfokozatú, szabályozott üzemű feltöltők (2FT-k) ígéretes eszközei a belső égésű motorok teljesítménynövelésének. Használatuk, a lökettérfogat csökkentését feltöltéssel kompenzáló downsizing technika révén, megnyerő érvet kínál a kedvezőbb gyorsításdinamikára mindig vevő autós vásárlók számára. Különösen, ha figyelembe vesszük, hogy a velük elérhető üzemi jellemzők kedvezőbbek a ma elterjedt, változtatható geometriájú turbótöltőkénél.

Az elkövetkező személy- és haszonjármű-dízelmotorok termodinamikai és megbízhatóságfejlesztési céljai a legtöbb esetben hasonlóak.

1. Növelni a motor abszolút és fajlagos teljesítményét. 2. Kis üzemi fordulatszámon is alkalmassá tenni nagy, és széles tartományban kihasználható maximális nyomaték kifejtésére. Ez ugyanis csökkenti a jármű erőátviteli igénybevételét, ami kisebb üzemi motorfordulatszámok, és ezzel kisebb motorfogyasztás, illetőleg zajkibocsátás elérését teszi lehetővé. 3. A motor tranzienst reakcióinak javításával javítani a jármű indítási jellemzőit.

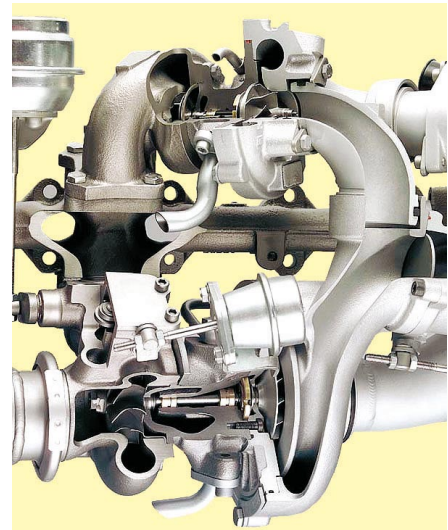
4. A fajlagos fogyasztás és az ebből eredő üzemeltetési költségek csökkentésével egyidejűleg az előírt határokon belül tartani a motor zaj- és károsanyag-kibocsátását.

Az előbbiekből alapján, a feltöltéssel végzett motorteljesítmény-növelés követelményeit is a motor termodinamikai és megbízhatóságfejlesztési céljai fogják meghatározni.

## A feltöltőrendszerek követelményei

Nagyobb motorteljesítmény és motornyomaték elérése több üzemanyag motorhengerekbe fecskendezését igényli, ami az égéshez szükséges levegőtömeg mennyiségének, nyomásának és különösen kis motorfordulatszámokon a töltet  $\lambda_v$  légviszonyának elszegényítését teszi szükségessé. A  $\lambda_v$  légviszony kis motorfordulatszámokon elérhető javítása a motorfogyasztás csökkentésén túl számottevő károsanyag-kibocsátás csökkenéssel is jár.

A töltőrendszernek a következő fő követelményeket kell kielégítenie. Kis motorfordulatszámokon a  $\lambda_v$  légviszony a bejuttatott levegő nyomásának növelésével szegényíthető el. A feltöltőnyomás kis fordulatszámon végzett növelése javítja a motor felgyorsíthatóságát, csökkenti a károsanyag-kibocsátást, és elősegíti az effektív középnyomás korábrinál kisebb fordulatszámon bekövetkező (intranziens) növekedését.

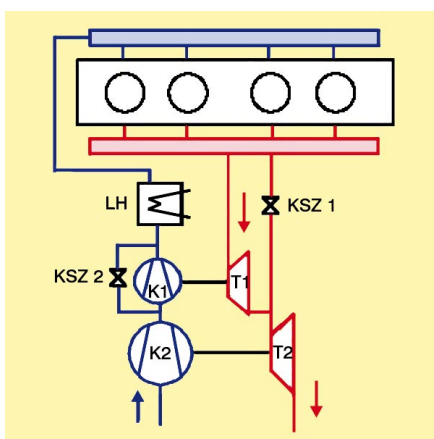


Az 535d motor kétfokozatú turbótöltő-metszete

A nagy fordulatszámon kifejtendő motorteljesítmény kifejtését pedig korábban, és kisebb fogyasztási, illetőleg károsanyag-kibocsátási szinten kell elérnie.

A felsorolt követelmények a korábrinál jóval fejlettebb feltöltőrendszer használatát igénylik.

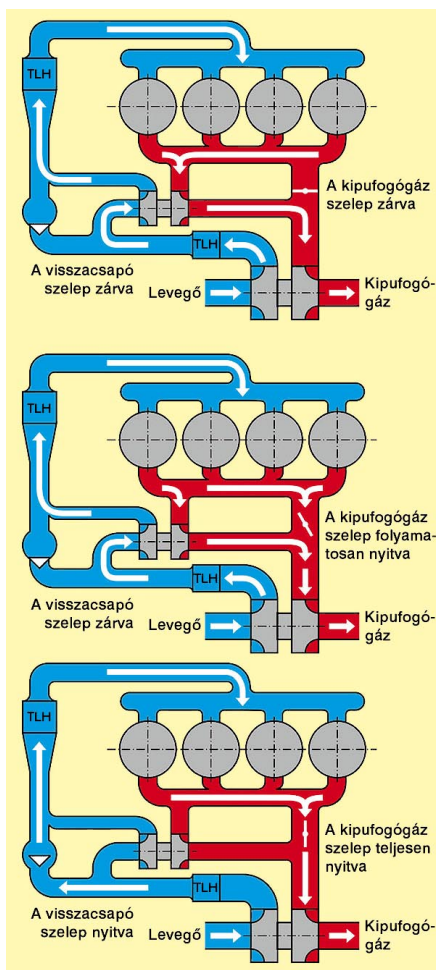
A légtömeg növelése nagyobb légszállítási és kipufogógáz-áramú turbótöltő, a kis motorfordulatszámon szükséges nagyobb légszállítást biztosító nagyobb



A kétfokozatú turbótöltő felépítési vázlat. LH: levegőhűtő. KSZ1: az első turbótöltő kerülőszelepe. KSZ2: a második turbótöltő kerülőszelepe. K1: az első turbótöltő kompresszora. T1: az első turbótöltő turbinája. K2: a második turbótöltő kompresszora. T2: a második turbótöltő turbinája



Az Opel OPC Vectra GTS Twinturbo motorja



A kétfokozatú turbótöltős Opel OPC motor működési vázlat. Fordulatszám: a.  $n \leq 1800/\text{min}$ . b.  $1800 \leq n \leq 3000/\text{min}$ . c.  $n \geq 3000/\text{min}$

feltöltőnyomás pedig kis turbinával és kompresszorral rendelkező feltöltő használatát igényli. A kétféle igényt egyaránt jól kielégítő megoldás kis és nagy kompresszor sorbakapcsolásával hozható létre.

A BorgWarner Turbo Systems szabályozott működésű 2FT-rendszer kifejlesztésével kínál megoldást a motorgyártók hasonló igényeinek a kielégítéséhez.

Bár az eredeti fejlesztés haszonjármű-dízelmotorok feltöltését célozta, a személyautók feltöltődivatjának lendülete elsőként az Opel OPC Vectra GTS Twinturbo elnevezésű versenysportkocsi motorjára sodorta a BorgWarner kétfokozatú turbótöltőjét. Nagyobb sorozatban pedig napjainkban a BMW 535d/535d Touring motorjai kerül alkalmazásra.

## A 2FT tervezése és működése

A 2FT-k a változtatható geometriájukánál kifinomultabb, nagyobb hatásfokú, és kisebb reakciókésedelmű teljesítménynövelő eszközök. A motor gyorsabb reagálása pedig a jármű menetdinamikáját javítja, amelyik ma az egyik legfontosabb marketingtényező.

A 2FT-k feltöltői olyan összehangolt légszállítású párt alkotnak, amelyek közül a kisebb járókereku az alsótól a közepesig, a nagyobb pedig a közepes-től a névlegesig terjedő fordulatszám-tartományában növeli a hengerbe juttatott közeg sűrűségét. A névleges fordulatszám környezetében fellépő nyomáscsökkenést a nagynyomású feltöltő áramlási keresztmetszetét szűkítő kerülszelep (bypass) hivatott csökkenteni. A 2FT-k működése az egyes fokozatok turbinaoldali kerülszelepének nyitásával szabályozható. A 2FT-k működését egy átlagosnak mondható, 2,5 literes lökettérfogatú dízelmotor példáján keresztül vesszük szemügyre. Ebben az alkalmazási esetben, nagy motorfordulatszámon csak a kisnyomású turbótöltő kipufogóoldali turbinája végez feltöltést, a nagynyomású turbó elkerülésével. A friss levegő oldalon a nagynyomású feltöltő kis áramlási ellenállást jelent a levegő útjában. Alternatívaként ez egy további kerülszelep alkalmazásával küszöbölhető ki. Ez a működési állapot megfelel a hagyományos, egyfokozatú feltöltésnek. Kis fordulatszámon a nagynyomású turbina kerülszelepe teljesen lezár.

Ekkor a kipufogógáz energiája a nagynyomású feltöltő sűrítő levegőjét komprimálja. Mivel kis fordulatszámon kis mennyiségű tömegáram vesz részt a töltőlevegő előállításában, a kisnyomású turbó ekkor igen kis részét végzi a légszállításnak. A klasszikus kétfokozatú feltöltés

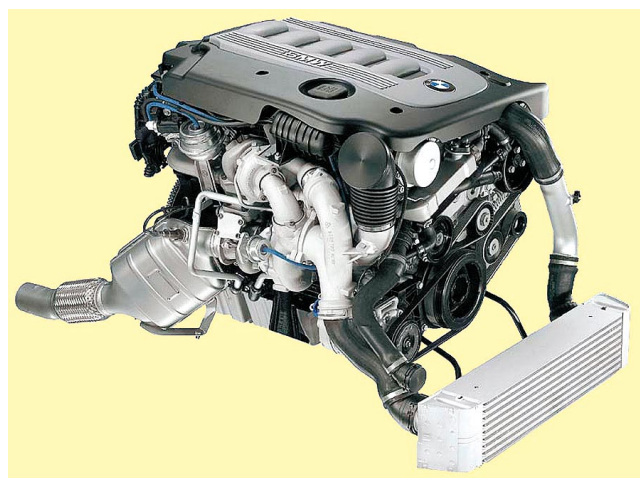
közepes motorfordulatszámon, a turbinaoldali kerülszelep működésével jön létre.

Bár a 2FT-k elsődleges célja az indítónyomaték növelése, közepes motorfordulatszámon is tekintélyes közepnyomás-növekedést hoznak létre, amelynek peremfeltételei például a maximális égési nyomás korlátozásával tarthatók kézben.

1000/min körüli fordulatszámon, kétfokozatú feltöltéssel a motor által kifejtett nyomaték mintegy 40%-kal növelhető. Ebben az üzemiállapotban csaknem a teljes töltőnyomást, a nagynyomású feltöltő hozza létre.

4000/min körüli maximális fordulatszámon viszont a nagynyomású feltöltő, kerülszelep bekapcsolásával előállított üzemiállapotban a kisnyomású feltöltő állítja be a friss levegő oldali töltőnyomást. A két feltöltő közepes fordulatszámon kapcsolódik egymással sorba. A kétfokozatú feltöltés során tehát, a soros működtetéssel létrehozott nagyobb nyomásviszony hoz létre nagyobb motorteljesítményt és motornyomatékokat.

A feltöltőrendszer nyomásszabályozását nagysorozatban gyártott, lefűvőszelepként (wastegate-ként) bevált, hagyományos pneumatikus szelepek végzik. Ebből eredően, a motor nyomatékának és teljesítményének működési határokon belül végzett befolyásolása, kipróbált és bevált szerkezeti elemek felhasználásával, úgyszólván tetszés szerint alakítható. Ideértve a turbótöltős motorok turbóykként ismert megszólalási késedelmének csökkentését



A BMW 535d/535d Touring kétfokozatú turbótöltős motorja

is. A sorbakapcsolt turbótöltők méreteinek megfelelő megválasztásával ugyanis, a turbólyuk teljes mértékben kiküszöbölhető.

Itt érdemel említést, hogy a legutóbbi fejlesztéseknek köszönhetően, a kétfokozatú feltöltők kis fordulatszámon használt nagynyomású feltöltője villamos árammal is működtethető. A korszerű villamosteljesítmény-vezérlések ily módon rugalmas lehetőséget kínálnak a motor megszólalási késedelmének utólag felszerelt, vezérelt villamos hajtású feltöltővel végzett kiküszöbölésére is.

A villamos feltöltő mind a meglévő turbótöltő szívó vagy nyomó oldalán egyaránt sorbakapcsolható. A villamos hajtású turbótöltők kis tehetetlenségük és a hajtásuk gyors módosíthatósága miatt előnyösek. Turbinájuk ugyanis hirtelen gázadáskor előbb kezd szállítani, mint a velük megegyező légszállítású, kipufogógáz-hajtású turbótöltőké. Mivel ez a jó tulajdonságuk nemcsak induláskor, hanem gyors terhelésváltáskor is megmutatkozik, az úgynevezett tranzien্স légszállításuk is kedvezőbb az előbbiekenél.

## Alkalmazások

Bár a kétfokozatú turbótöltővel gyártott motorváltozatok közel két évtizede megjelentek a Volvo kamionokon, elterjedésüknek az egyfokozatú turbótechnika fejlődése vette elejét. Opel OPC Vectra GTS Twinturbo. A tavaly téli Esseni Motorshow szenzációja volt az Opel OPC Vectra. Az amúgy

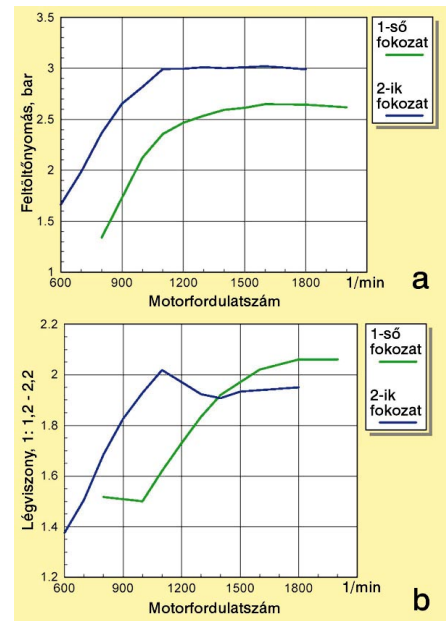
verseny- és sportkocsiként használt OPC Vectra addig is figyelemre méltó teljesítményét ugyanis, kétfokozatú turbófeltöltővel, közel 30%-kal, 212 lóerőre sikerült megemelni. A 30%-os teljesítménynöveléséhez, annak több mint harmadával, a két levegőhűtő járult hozzá.

Az OPC Vectra 1,9 literes lökettérfogatú dízelmotorja ugyanis több mint 400 Nm-es hajtónyomatékot szabadít az útra, 1400/min-os fordulattól kezdve. A jármű 6,5 másodperces idővel jellemezhető gyorsítóképessége, és 6 liter/100 km-es normatív fogyasztása máig rekord a hasonló dízelmotorú gépkocsik körében. Az Opel OPC motor turbótöltőinek ábrákon követhető működési állapotai a következők.

a. 1800/min-nál kisebb fordulatszámon a kipufogásvezérlő szelep zárt állapotban van. A teljes kipufogógáz-mennyiség a kisebb átmérőjű, nagynyomású turbófeltöltőbe jut, így ebben a fordulatszám-tartományban a kisebb feltöltő határozza meg a motor feltöltőnyomását.

b. 1800 és 3000/min közötti fordulatszám-tartományban a növekvő motorterhelés folyamatosan megnyitja a kipufogásvezérlő szelepet. Ennek hatására a nagyobb átmérőjű, kisnyomású turbótöltő is bekapcsolódik a feltöltésébe. Ilyenkor a nagyobb feltöltő a töltőlevegő-hűtőbe nyomja az általa elősűrített levegőt. A lehűlt töltőlevegő nyomásszintjét a kisebb feltöltő növeli tovább. A légtömeg szállítását korlátozó szelep zárt állapotában, a növelt töltőnyomás a kisebb feltöltő maximális szintje alatt marad.

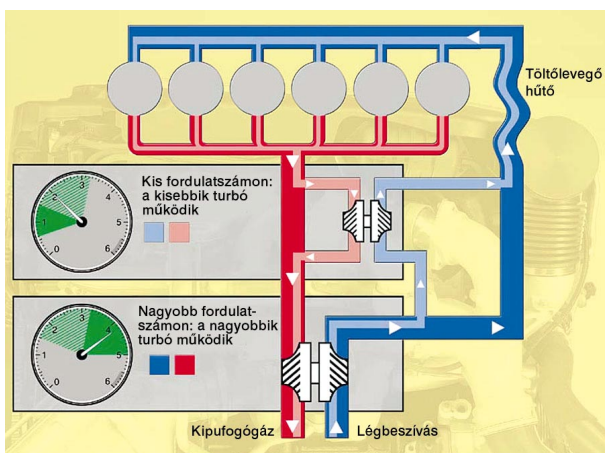
c. 3000/min-nál nagyobb motorfordulatszám-tartományban a kipufogásvezérlő szelep teljesen nyitott helyzetbe kerül. Ennek következtében a teljes kipufogógáz-mennyiség a nagyobb átmérőjű feltöltőn áramlik keresztül. Ennek megfelelően a nagyobb átmérőjű, kisnyomású turbótöltő légszállítása a domináns. BMW 535d/535d Touring. A BMW vezetői alighanem az Esseni Motorshow-n döntöttek el 3 literes



A kétfokozatú turbótöltő feltöltőnyomásának (a) és motorlégviszonyának alakulása a fordulatszám függvényében

dízelmotorjuk 2FT-s változatának kifejlesztését. Bár magát a motort már bemutatták, sorozatgyártásukat az ősszel bemutatásra kerülő 535d/535d Touringokon fogják elkezdni. A 200 kW (272 LE, 4400/min) maximális teljesítménnyel, és az 560 Nm, 2000/min névleges nyomatékkal jellemezhető motor már 1500/min fordulatszámon 530 Nm-es nyomatékot szolgáltat, ami 6,5 másodperc alatt gyorsítja álló helyzetből százastempóra a közel 2 tonna tömegű limuzint és kombit. Utóbbiak a leggyorsabb és legdinamikusabb dízelmotorú kombivá avatják az 535d-eket. Az előbbieken alapján a BMW nem látta szükségét második levegőhűtő alkalmazásának. Összegzés. A kétfokozatú, szabályozott üzemű feltöltők mind kipufogógáz-, mind villamos üzemű hajtással, a ma általánossá vált változtatható geometriájú turbótöltőkhöz hasonló elterjedésre számíthatnak. Különösen akkor, ha többletköltségeik nem emelik jelentősen a velük felszerelt motorokkal hajtott, a downsizing jegyében készített gépkocsik vételárát. A velük elérhető üzemi jellemzőik ugyanis kedvezőbbek a változtatható geometriájú turbótöltőkénél.

petjan



A BMW 535d/535d Touring kétfokozatú turbótöltős motor működési vázolata