



Integrált töltőlevegő-hűtő

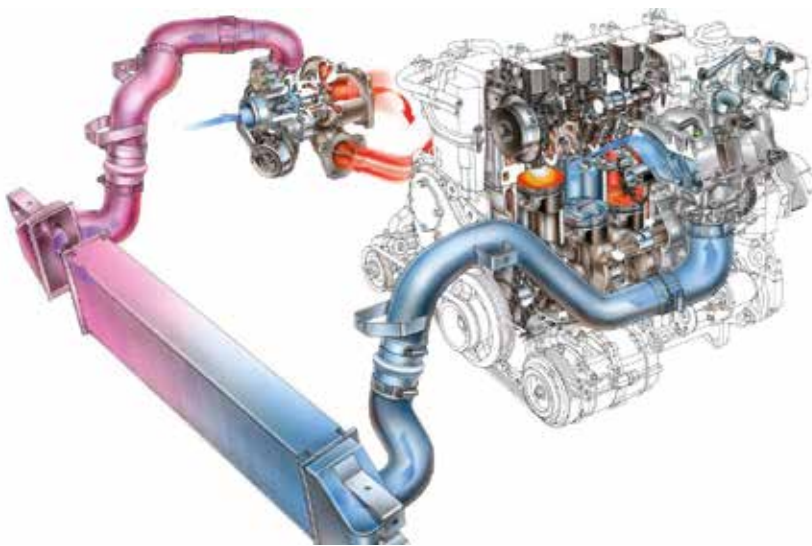


DR. NAGYSZOKOLYAI IVÁN

A belső égésű motorok feltöltésének a célja – az esetek döntő többségében – a motormunka növelése. Ha a hengertöltet levegősűrűségét tudjuk növelni, akkor ezzel a töltet oxigéntartalmát növeljük, és ez lehetővé teszi nagyobb mennyiségű tüzelőanyag elégetését. A motormunka pedig eredendően ettől függ. A feltöltéssel, legyen az mechanikus, villamos vagy turbó, a levegő nyomását, ezzel a töltőlevegő sűrűségét növeljük. A sűrítés azonban megnöveli a levegő hőmérsékletét, ami sűrűségcsökkentő hatású. Így tehát nem annyira növeltük a sűrűséget, mint az a kompresszor nyomásviszonyából (elvileg) adódik.

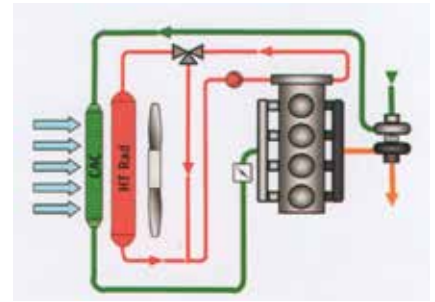
Indokolt tehát, hogy a kompresszor után a töltőlevegőt hűtsük, mielőtt az a hengerbe jutna. Ennek eszköze a töltőlevegő-hűtő (visszahűtő), másnéven a közbenső hűtő, vagy a magyar nyelvben is használt inter-cooler (ejtsd: interkúler). Ez a hűtő ma a feltöltött motorok levegőellátó rendszerének szokásos, többnyire

elmaradhatatlan eleme. A konstruktorok a levegő-visszahűtés méretezésénél általában azzal számolnak, hogy a hengerbe belépő levegő 20–25 fokkal legyen melegebb a környezeti levegőnél. A visszahűtéssel elért eredményt, az égési levegő sűrűségének a feltöltésen túli, további növelési lehetőségét számításokkal is nyomon



1

Grafika: David Kimble



3

köveltük, ezt a rövid töltésfizikát és matematikát külön cikkrészben olvashatják. Kérem, ne hagyják ki! Kétfajta levegő-visszahűtésről beszélünk:

- az egyik a direkt levegő-visszahűtés, ilyenkor a menetszél végzi a hűtést levegő/levegő hűtőtömbben ❶,
- a másik az indirekt levegő-visszahűtés, amikor folyadék hűtőközeg végzi a hűtést levegő/víz hűtőtömbben.

Az indirekt levegő/víz visszahűtésnek két hűtőelhelyezési lehetősége van:

- motorközeli, különálló hűtőtömb ❷,
- szívócsőbe integrált hűtőtömb (lásd a címképet!).

DIREKT KÖZBENSŐ HŰTÉS

A direkt közbenső hűtő (levegő-levegő hűtő) a menetszelet használja ki a hűtésre, a hűtőtömbön a külső levegő áramlik át. A gépkocsi sebességétől erőteljesen függ a hűtés. A kompresszor után található hűtő elhelyezése sokféle példát találunk. Lehet a vízhűtő tömbbel és a klímahűtővel egy csoportban, a gépkocsi orrmoduljában ❸, de lehet a többi hűtőtől külön. Saját hűtőventilátorra csak elvétve van példa. Ha két, egymással nem kapcsolt turbótöltő van például V-motor egy-egy hengerson, akkor mindegyiknek lehet hűtője.

Ha sorbakapcsolt a két töltő, akkor az egyik intercooler a két töltő között van, a másik pedig közvetlenül a motorba való belépés előtt ❹. Ezt a technikát



2

Egy kis intercooler-matematika

A belső égésű motorok üzemi jellemzőinek pontos számítása instacioner üzemállapot so-rozatban – klasszikus kézi módszerrel – majdnem a lehetetlennel egyenlő. Az utóbbi egy-két évtizedben azonban olyan szimulációs programok születtek, amelyekkel nyomon lehet követni a változó áramlási és termodinamikai folyamatokat hengertéren belül és kívül, jó közelítéssel az égésfolyamatot is, melyekkel még a gyors üzemállapot-váltások hatásai is modellezhetőek. Ezek nagyban gyorsítják a motorfejlesztési munkát, segítenek alternatívák felállításában, a döntések meghozatalában. Mindezt azért is bocsátottuk előre, hogy az alábbi „intercooler-számítás”-t senki ne vegye többnek, mint csak egy „sacc-per-kábé” közelítésnek. A dolgok ábécé szintű megértését azonban segíti, és ennél nem több a mi célunk sem.

A számításunk célja az, hogy lássuk, a turbótöltésnél alkalmazott közbenső hűtéssel milyen levegősűrűség-növelést lehet elérni.

A turbótöltő kompresszorából kilépő levegő hőmérsékletének meghatározása

Kiindulási adataink (az adatokat „hasra ütéssel”, de jó műszaki értékkel vesszük fel):

a turbóba belépő levegő hőmérséklete legyen $t_{be} = 25 \text{ °C}$,

azaz jó közelítéssel 298 K ($t \text{ °C} + 273.15$),

a turbótöltő nyomásviszonya legyen 2,5 (a töltő 1,5 bar környezeti nyomás (1 bar) feletti nyomást hoz létre, tehát a

nyomásviszony értéke $(1,5 + 1)/1 = 2,5$,

a kompresszor (izentróp) hatásfoka (η_k) legyen 70%,

a visszahűtő hatásfoka 72%.

A kompresszorból kilépő levegő hőmérséklete 100%-os kompresszor hatásfoknál (adiabatikus kitevővel számítva):

$$t_{ki-id} = 298 \text{ K} \times 2,5^{0,286} = 387 \text{ K} (114 \text{ °C})$$

Az ideális hőmérséklet-növekedés:

$$\Delta t_{elm} = 114 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 89 \text{ °C}$$

A valóságos (tényleges) hőmérséklet-növekedés (Δt_{val}) a kompresszor hatásfoka miatt:

$$\Delta t_{val} = \Delta t_{elm} / \eta_k = 89 / 0,7 = 128 \text{ °C}$$

Tehát a kompresszorból kilépő levegő hőmérséklete:

$$128 \text{ °C} + 25 \text{ °C} = 153 \text{ °C}$$

A közbenső hűtő levegő-levegő visszahűtő elméletileg (!) a környezeti hőmérsékletig tudja a töltőlevegőt visszahűteni, de a valóságban jelentős veszteséggel kell számolni, tehát itt is értelmezünk hatásfokot. Az intercooler hatásfoka (hőcserélési tényezője) legyen 0,72.

A tényleges hőmérséklet-csökkenés, mely a közbenső hűtőben elérhető:

$$128 \text{ °C} \times 0,72 = 92 \text{ °C}$$

A motorba bejutó levegő hőmérséklete:

$$153 \text{ °C} - 92 \text{ °C} = 61 \text{ °C}$$

A levegő a közbenső hűtőben nyomásesést is szenved, hiszen a hűtő csatornái áramlási ellenállást tanúsítanak (turbulencia, falsúrlódás). A hűtőn tehát a nyomásesés (felvett adatunk): $\Delta p = 0,14 \text{ bar}$.

A töltő töltőnyomása 1,5 bar, ez lecsökken 1,36 bar értékre.

Emiatt a nyomásviszony is csökken, értéke 2,36 lesz.

Nézzük az eredményeket!

Közbenső hűtővel a motorba belépő levegő hőmérséklete 61 °C , 2,36 értékű nyomásviszony mellett, szemben a nem visszahűtött 153 °C és 2,5 értékeivel.

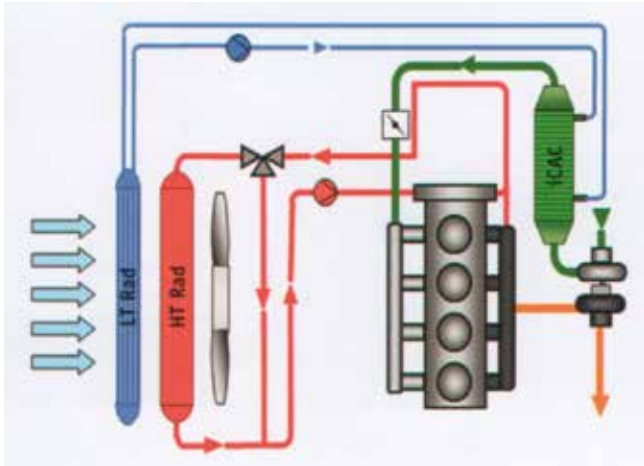
A levegősűrűség a turbós, visszahűtött esetben 2,1-szer nagyobb, mint a szívómotornál.

A levegősűrűség turbós visszahűtő nélküli esetben 1,74-szer nagyobb, mint a szívómotornál.

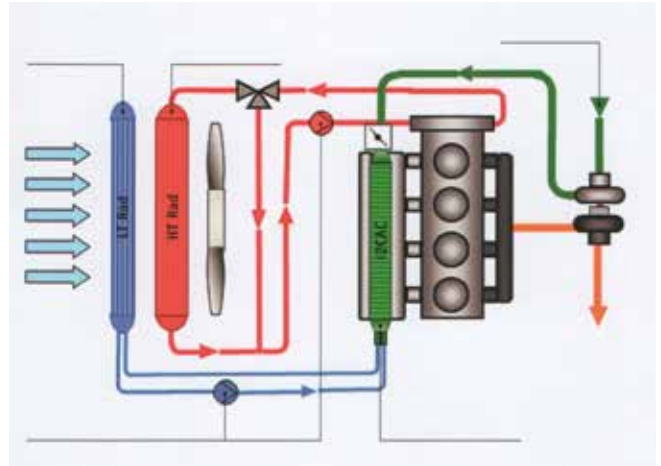
Turbós alapra vetítve a visszahűtött változat levegősűrűsége 1,2-szer nagyobb.

Ezért már megéri!

A számítás munkapontról munkapontra végzendő, például azért, mert a hatásfokok, az áramlási jellemzők pontról pontra változnak. A számítás nem veszi figyelembe például a folyamat hűtőn kívüli hőcseréjét és még sok mindent, elsősorban a dinamikusan változó üzemállapotok gyakorolta hatásokat. Megismételjük: dolgok ábécé szintű megértését azonban segíti, és ennél nem volt több a mi célunk.



5



6

már a nagyhaszongépjármű-motoroknál is alkalmazzák.

INDIREKT KÖZBENSŐ HŰTÉS

Az indirekt, motorközeli hűtésrendezésnél a vizes hűtő a motorra kerül **2**. A felmelegedett hűtővizet az ún. kis hőmérsékletű hűtőkörben kell visz-

szahűteni. Ennek hűtőtömbjét a motor elején, a hűtők blokkjába helyezik el, ez az első elem **5**. A különálló hűtőkörben a vizet elektromos vízszivattyú keringeti. Az indirekt hűtés vízszivattyújának a teljesítménye 15...50 W. A plusz teljesítményigény ellenére a megoldás kedvező, mert a kis ellenállású levegő-visszahűtéssel ez a „vesz-

teség” kompenzálódik. A vizes hűtő és a csővezeték helyigénye csekély, a csővezetés konstrukciós szabadsága nagyobb.

Az indirekt, szívórendszerbe integrált töltőlevegő-visszahűtő neve angolul fully integrated intercooler vagy indirect intercooler. Magyarul nevezük integrált közbelső hűtőnek. A rendszer kapcsolási vázlatát a **6** ábra mutatja (LT Rad – kis hőmérsékletű hűtőtömb, HT Rad – nagy hőmérsékletű motorhűtő).

Előnyeként megemlítik:

- a gépkocsi orr-része, a közbelső hűtő elmaradása miatt, szabadabban alakítható. (Ennek ellentmond az, hogy az integrált közbelső hűtő levegő-víz hűtő, így annak hűtővizét, mint láttuk, egy külön ún. kis hőmérsékletű hűtőkör hűtőtömbjében kell lehűteni, ezt pedig a normál motorhűtő elé kell tenni.),
- kisebb a levegőhűtőkör ellenállása, így kisebb a nyomásvesztése,
- a hűtés mértéke nem függ a gépkocsi sebességétől,
- szinte nincs levegőoldali hűtőtömb-elszennyeződés,
- az EGR-hűtés így is megoldható (LP EGR-nél eleve adott a gáz hűtése, mert azt a turbótöltő előtti csőszakaszba vezetik vissza),



4



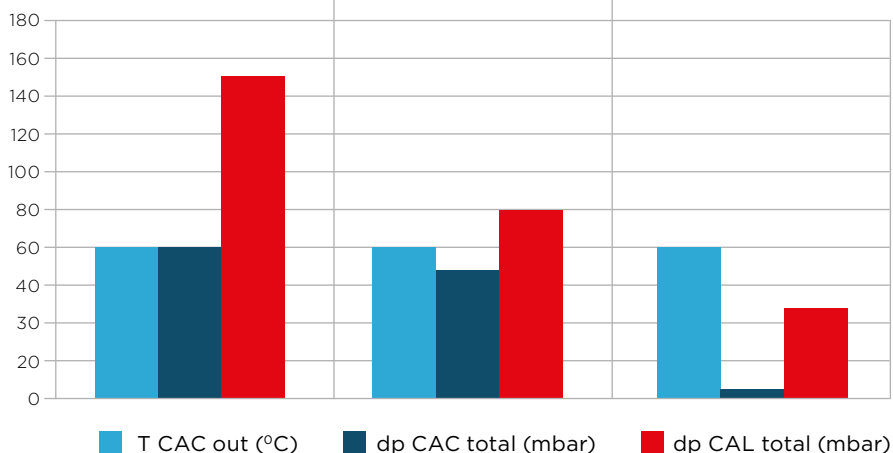
direkt levegő/
levegő hűtő



indirekt levegő/
víz motorközeli hűtő



integrált levegő/
víz hűtő



7 Intercoolerek összehasonlítása – világoskék oszlop: hűtőből kilépő levegő hőmérséklete (beállítottan azonos értékű), sötétkék oszlop: nyomásesés a közbenső hűtőn (Δp mbar), piros oszlop: a teljes visszahűtő rendszer nyomásesése (Δp mbar)

- elmaradnak a nagy helyigényű csővezetékek,
- a motorbeépítés kötetmei csökkennek,
- a rövid levegőutak miatt jobb a motorreakció.

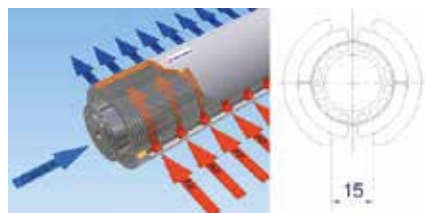
mutatja 7. Az összehasonlítás alapját a hűtőből kilépő levegőhőfok azonosága adja. Megvizsgálták a direkt

(1), az indirekt motorközeli (2) és az integrált (3) kialakításnál a hűtőtömb áramlási ellenállását, a nyomásesést és a teljes rendszer nyomásesését. Ez utóbbi a turbótöltő-levegő kilépésétől a hengerbe belépésig vett szakasz ellenállását mutatja (piros színű oszlop). A direkt hűtésé – ez várható a hosszú csővezetékek és a nagy hűtő miatt – a legnagyobb ellenállás, 150 mbar. Az integrált közbenső hűtésé pedig a legkisebb (30 mbar). Ha kedvezően kis értékű a nyomásesés, akkor nagyobb lesz a visszahűtés mértéke, de az is lehet, hogy kisebb turbótöltőt is elegendő.

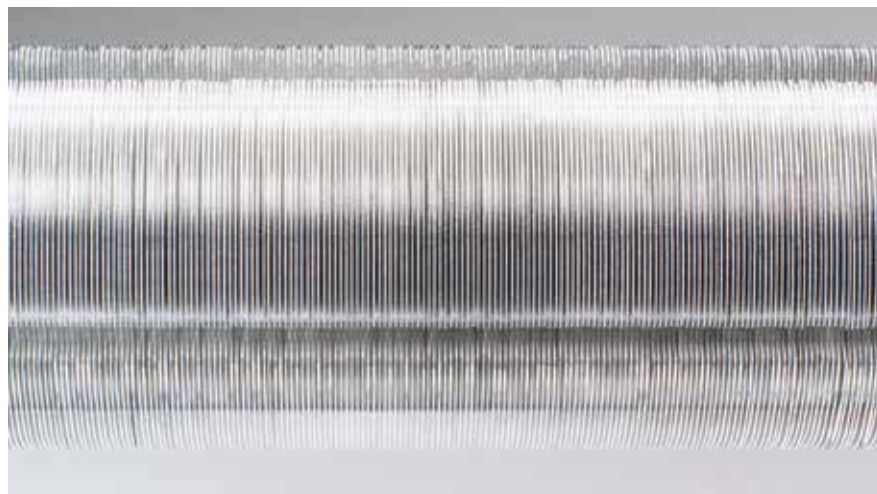
Az indirekt integrált hűtés szerkezeti kialakításában külön helyet foglal el a mechanikus feltöltés visszahűtése. A Roots fúvóval kombinált levegő visszahűtésére a Cadillac STS-V modell Northstar V8 SC 4,4 literes motorját hozzuk példaként, mert hűtőkonstrukciója nem közismert. Az Autótechnika 2013/10. számában írtunk az Audi 3,0 literes V6 TFSI motorjáról, ennek Roots fúvója után van hengersonként 1–1 integrált közbenső hűtő, de ezek hűtőtömb-kialakítása hagyományos. A Cadillac intercoolere lemezes, levegő/víz visszahűtő, melyet a svéd

KÖZBENSŐ HŰTÉS ÖSSZEHAONLÍTÁS

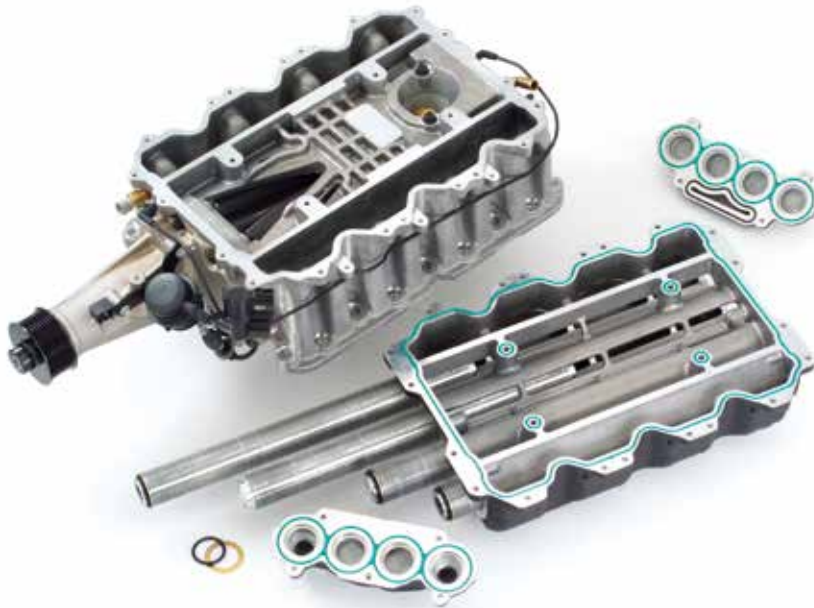
A három közbenső hűtési kialakítás összevetését a BEHR tanulmánya jól



8 a



8 b



9 A levegőszelekrényből a lemezes hűtőcsöveket a jobb szerkezetmegértés miatt húzták ki. A hűtőcsövekbe a víz a szelekrény O-gyűrűkkel tömített homlokfalain keresztül áramlik be és ki.

OPCON csoporthoz tartozó Laminova gyártja. A csöves-lemezbordás hűtő belső, falközeli, axiális csatornáiban áramlik a hűtőközeg, míg a hűtendő levegő a csőtengelyre merőleges hűtőlemezek között áramlik át (8a, 8b). Konstruktív kialakítása miatt kicsi az áramlási ellenállása, így csekély az

intercooleren a nyomásesés. Kedvező a beépítés, a hűtőfolyadék rá- és elvezetés 9. Nincs forrasztott kötés, így hajszálrepedésből nem lehetséges közegkeveredés. Jelentős a kialakításból eredően a zaj- és lengéscsillapító hatása. A hűtés a légkondicionáló rendszerrel összeköthető (!).



10 1 - Felső héj, 2 - by-pass levegőtömítés, 3-4 - Hengerfejhez rögzítő csavar túlfeszítés-védelemmel, 5-6 - Rögzítőcsavarok, 7 - Alsó héj, 8 - Fojtószelepegység-tömítés, 9 - Illesztőcsap, 10-11 - tömítés

INTEGRÁLT KÖZBENSŐ HŰTÉS

A mai 3 és 4 hengerű soros motorok szívócső-blokk anyaga lehet műanyag vagy könnyűfém öntvény. Az integrált indirekt közbenső hűtőt ebbe építik be, és az egységet a motorblokkra csavarozzák fel. A fém hűtőtömb beépítése különösebb műszaki nehézséget nem okoz, a szívócső és a hűtőtömb közötti levegőtömítést kell megoldani. Erre mutat példát a MANN-HUMMEL 10 konstrukciója. Az alsó és felső műanyag héj fogja közre a hűtőtömböt. A gyártó a megoldás előnyeként a szívócsőbe integrált fém hűtőegység révén elért, fokozott szerkezeti merevséget emeli ki. A műanyag szívócső tömege 1171 gramm, a hűtő tömege víz nélkül 1,3 kg.

A BEHR i2CAC rövidítéssel azonosított közbenső hűtője 11, nevét az Indirect, Integrated Charge Air Cooler (indirekt, töltőlevegő-hűtő) kifejezésből kapta. A BEHR is szívómodulba épített levegő/víz integrált hűtőtömböt kínál az autó- és motorgyártóknak első beépítésként.

A VW TDI dízelmotorjai új generációjánál is integrált közbenső hűtést találunk, de itt a szívómodul egésze fémből készül 12. A SILLK (Saugrohr-

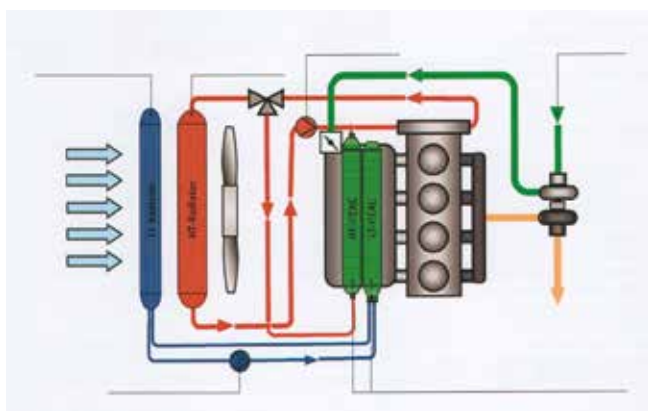


11 BEHR i2CAC integrált indirekt hűtő, a hűtőtömb a szívócsőből csak a bemutatás céljából van kihúzva



12

13



14

15

integrált Ladeluftkühler) megnevezésű szívómodult külön képen is bemutatjuk **13**.

Az autósportban, annak is azokban az ágaiban, ahol rövid ideig kell nagy teljesítmény, a közbenső hűtőre száraz jeget juttatnak **14**. Ezzel a levegőt drasztikusan lehűtik. Egyidejűleg a rendszer tartozéka a benzin szárazjeges hűtése is, hogy a sűrűséget növeljék.

A motorépítési trendek elemzői ma azzal számolnak, hogy a feltöltött motorok levegő-visszahűtésében az integrált közbenső hűtés megoldása lesz általános. És ebben továbblépés várható: a kászkád vagy kétlépcsős intercooler kialakítás. Az első közbenső hűtő a motor hűtővízköréhez kapcsolódik, míg a második a bemutatott kis hőmérsékletű, önálló hűtőkörhöz **15**. Ezzel elérhető, hogy

a hengerbe lépő levegő 4000 min^{-1} fordulatszámra se haladja meg a $32 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletet. ■

Forrás: BEHR Technical Press Day 2011 – Thermal Management: Future Task for the Auto Industry; BEHR Technical Press Day 2012 – Thermal Management for Light Vehicles and Trucks http://www.opcon.se/web/laminova_en.aspx
Nagyszokolyai: Nyomatékot, de gyorsan, Autótechnika 2013/10.