

LÉGSZŰRŐK NYOMÁSVESZTESÉGÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

UTOLJÁRA MÓDOSÍTVÁ: 2016.04.12. (SJM)

A MÉRÉS CÉLJA

A laboratóriumi mérés során egy adott személyautóban alkalmazott különböző típusú légszűrőket kell összehasonlítani. A gyári légszűrő mellett általában igen sokféle légszűrőt vásárolhatunk az autónkba, melyek (a sportlégszűrőt kivéve) kialakításukban többnyire igen hasonlóak, de árukban igen eltérők lehetnek. Ezért a „Melyik légszűrőt válasszam?” általában nehéz feladat.

A mérés során a különböző légszűrőket a rajtuk átáramló levegő térfogatárama függvényében kimért $\Delta p'_F = f(q_V)$ nyomásvesztés jelleggörbék alapján tudjuk értékelni.

$$\Delta p'_F = p_{F,elött} - p_{F,után}$$

A légszűrők ξ_F veszteségtényezője is kiszámítható a következő kifejezés alapján:

$$\xi_F = \frac{\Delta p'_F}{\frac{\rho}{2} \cdot v_{REF}^2} = \frac{p_{F,elött} - p_{F,után}}{\frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{q_V}{A_{REF}}\right)^2}, \text{ ahol}$$

$\Delta p'_F$ [Pa] : átáramlás irányban szűrő előtti ($p_{F,elött}$) és utáni ($p_{F,után}$) nyomáskülönbség,

v_{REF} [m/s] : referencia átlagsebesség (! eltér a v_F szűrési sebességtől),

A_{REF} [m²] : referencia keresztmetszet, főáramlásra merőleges $A_{REF} = A \times B$ keresztmetszet

q_V [m³/s] : a szűrőn átáramló közeg térfogatárama

ρ [kg/m³]: levegő sűrűsége (p_0, T_0 környezeti adatok alapján gáztörvényből)

A fenti mennyiségeket legalább három különböző gyártmányú légszűrőre a szűrőn átáramló levegő térfogatárama (q_V) függvényében kell vizsgálni, majd a mért, ill. számított értékeket közös, összehasonlító diagramban ábrázolni. Ugyanahhoz a személyautóhoz való, összesen 7 féle, különböző gyártó által gyártott 6 féle normál és 1 sportlégszűrő áll a hallgatók

rendelkezésére, mindegyikből legalább 2-2 db. A mérés célja, hogy a mérésvezető által kiválasztott (legalább 4db) légszűrőkről – azokat közös diagramban ábrázolva és kiértékelve – összehasonlító elemzést adjunk.

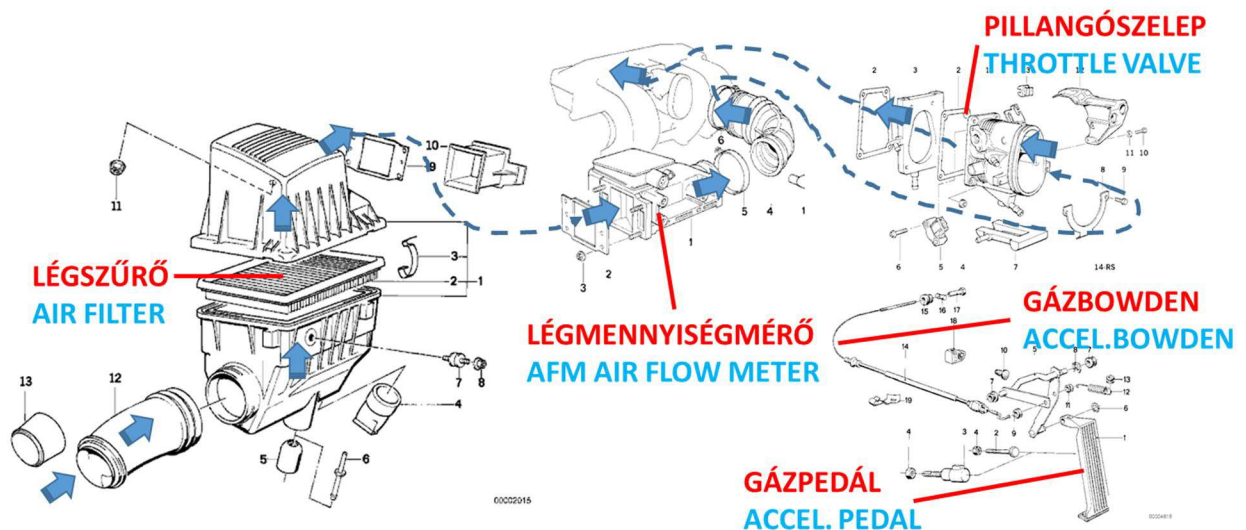
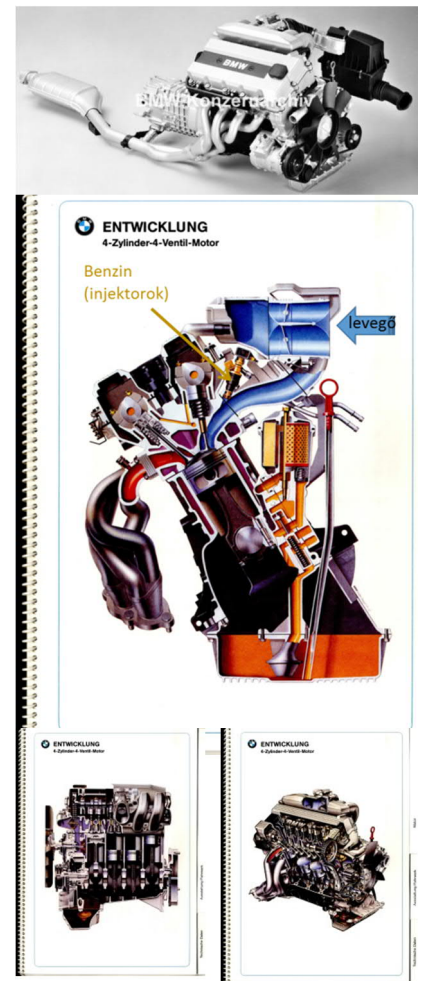
SZEMÉLYAUTÓ ADATOK

Típus:	BMW 318iS (E30) 1990/01
Motorkód:	M42B18
Motor adatok:	1796 cm ³ , 4henger, 16 szelep, DOHC
Teljesítmény:	P _{max} = 100 kW / 136le @ 6000rpm
Nyomaték:	M _{max} =172 Nm @ 4600rpm
Fordulatszám:	n _{alapjárat} = 850±40 rpm n _{töltés} = 6500±40 rpm
Légmennyiségmérő:	Bosch 0280202203
Vezérlés:	DME M1.7 (Motronic)

MIHEZ KELL LEVEGŐ?

A benzin üzemű belsőégésű motorok esetében az üzemanyag legjobb hatásfokú elégetéséhez a megfelelő sztöchiometriai arányú ($\lambda=1$) levegő és üzemanyag keverék biztosítása szükséges. Ehhez az ún. motorvezérlő egység (MCU - Motor Control Unit) és a digitális motor elektronika (DME - Digital Motor Electronic) végzi az üzemanyag-befecskendezés („injection timing”) szabályozását a motor által beszívott levegő mennyiségének függvényében. Az itt alkalmazott légszűrőn tehát az alapjárat és maximális közötti motorfordulatszám-tartomány által meghatározott, változó mennyiségű levegő áramlik át. A gázpedállal a motor szívóoldali légbeömlő idomán lévő (dupla) pillangószelep tányérjának szögállítását változtatjuk teljesen zárt – nyitott állások között.

Ezt a motor szívóoldalán beszívott levegő mennyiségét (q_m [kg/s]) mérni szükséges. A DME szabályozza a légtömegáram-mérő (AFM: Air Flow Meter, ún. torlólapos mérő) által és a gázpedál-állás és főtengelyállás szögjeladói stb. által mért adatok alapján a befecskendezett üzemanyag mennyiségét egy előzetesen kimért befecskendezési mennyiség térkép („injection map”) alapján. A levegő hőmérséklet mérése (a sűrűség és ennek segítségével az aktuális légtömegáram meghatározáshoz) a légmennyiségmérőben lévő hőfilm szondával történik.

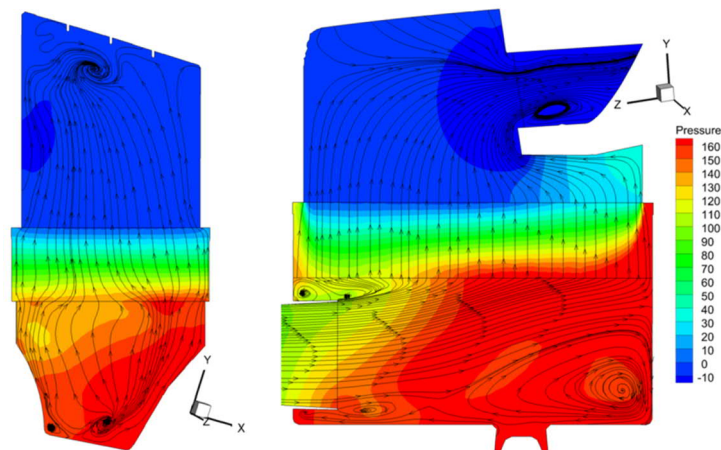


MIÉRT KELL LÉGSZŰRŐ?

A légszűrő alkalmazásának elsődleges célja, hogy az égéshez szükséges, a motor által beszívott levegőt megszűrjük a különböző szennyező, ill. kopást okozó részecskéktől. (Afrikai kivétel légszűrőháza pl. további ciklon előszűrőt is tartalmaz a papírszűrő előtt, a nagyobb szemcsék leválasztásához.)

A légszűrők alkalmazásának elsődleges feladata, hogy a teljes motor fordulatszám-tartományban a leválasztandó d_p porszemcse mérettől függő minél nagyobb, ún. $\eta(d_p)$ frakció leválasztási hatásfokkal tisztítsa a levegőt.

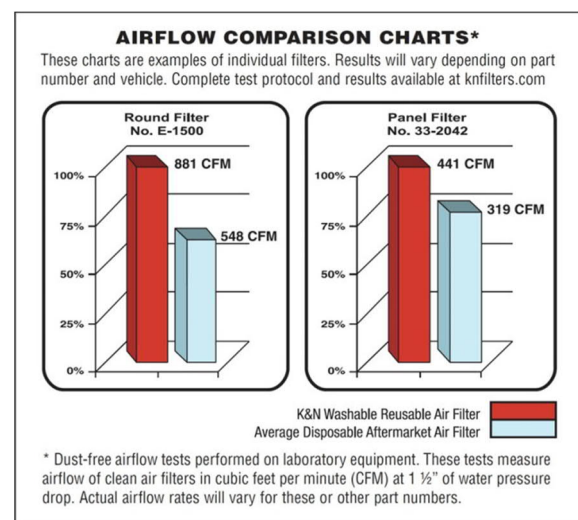
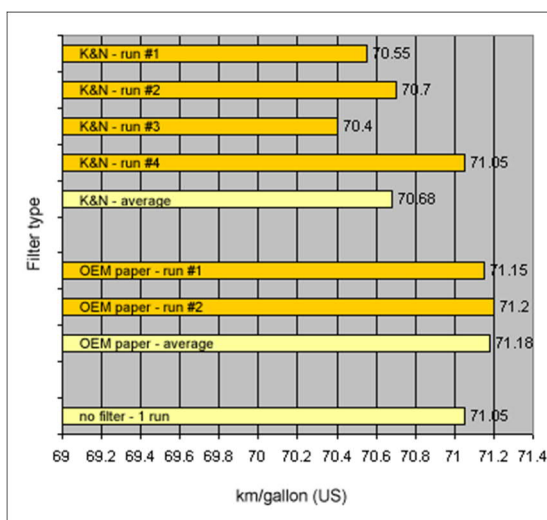
Másodsorban a veszteségteljesítmény ($P_{F,veszt}[W]$) minimalizálása miatt olyan légszűrőt célszerű alkalmazni, amely minél kisebb fojtást okoz a motor szívóoldalán.



Nyomáseloszlás és áramvonalak a légszűrőház közép-síkmetszeteiben (CFD eredmény)

Tehát általánosan az a jobb légszűrő, amely jobb leválasztási hatásfokot és kisebb Δp_F nyomásvesztés árán valósít meg adott térfogatáramon.

Fenti (nyomásvesztés, veszteségteljesítmény és leválasztási hatásfok) paramétereket a legritkább esetben közli a vásárlóval a légszűrő gyártója, többnyire konkurencia által kimért jellegű görbékől vagy a sportlégszűrők saját termékeikre vonatkozó reklámjaiból informálódhatunk (ld. alábbi diagramok).



A laikus felhasználó számára többnyire a légszűrő ára a döntő, de ezen túlmenően az élettartama, visszatisztíthatósága, alkalmazási területe (személyautó normál üzem,

motorsport) stb. sok más paraméterek is befolyásolják az adott személyautóra megfelelő légszűrő kiválasztását.

KÖVETKEZMÉNY:

A légszűrő $\Delta p_F'$ nyomásvesztése az áramlás irányban előtt ill. után mérhető össznyomás különbsége, amely jelen esetben a szűr előtti és utáni statikus nyomások különbsége. A nyomásvesztés következtében a $P_{\text{motor}}[\text{W}]$ motorteljesítmény egy része azon elvész: a légszűrő $P_{\text{veszt},F}$ veszteségteljesítménye a mérés alapján kiszámítható a jelleggörbe minden pontjában:

$$P_{\text{veszt},F} = \Delta p_F' \cdot q_v$$

A motorfordulatszám-függő $P_{\text{motor}} = f(n)$ teljesítménygörbe az adott személyautóra ismert (ld. később: a beszkenelt teljesítmény görbe rendelkezésre áll). A szűrő veszteségteljesítményét jellemezhetjük a relatív veszteségteljesítménnyel:

$$P_{\text{rel}} = P_{\text{veszt},F} / P_{\text{motor}}$$

Minden légszűrő $P_{\text{rel}} = f(n)$ fordulatszámtól függő értékekből álló jelleggörbéje (pl. %-ban).

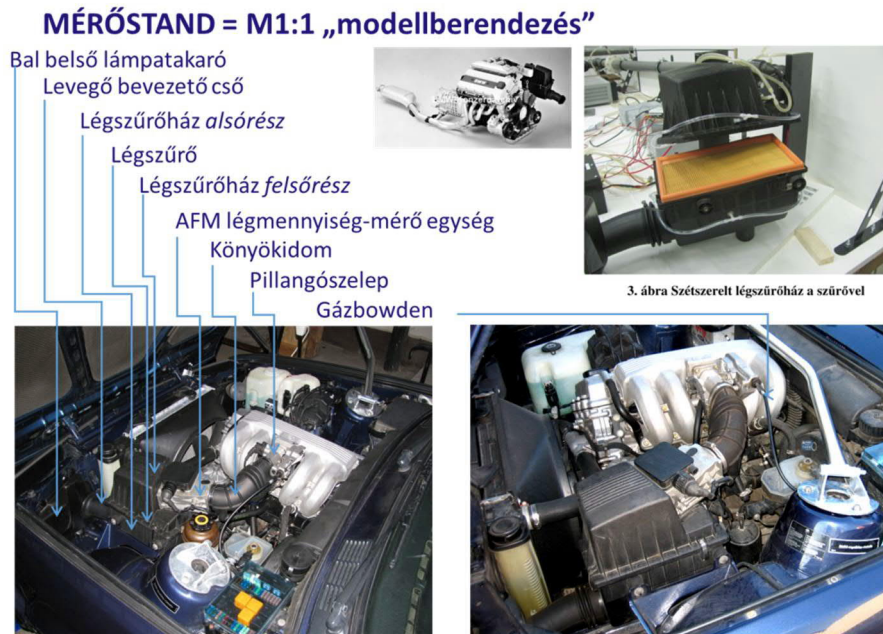
Az $n_{\text{alapjárat}} \leq n \leq n_{\text{tiltás}}$ közötti üzemi motor fordulatszám-tartománya meghatározza a szűrőn átáramló levegő térfogatáramát, tehát különböző n -hez kimérhető a q_v és $\Delta p_F'$, melyek meghatározása a mérési feladat.

Megjegyzés 1.: Alapjárat fordulatszám ($n_{\text{alapjárat}}$) alatti fordulatszám tartománynak megfelelő térfogatáram-tartományra kevésbé érdekes a szűrő veszteség teljesítménye, hiszen alapjárat fordulatszám alatt nem igen üzemeltetjük autónkat.

Megjegyzés 2.: A sport légszűrő paraméterei viszont a tiltási fordulatszám környékén lehetnek érdekesebbek, hiszen sportlégszűrőt általában versenykörülmények között használnak.

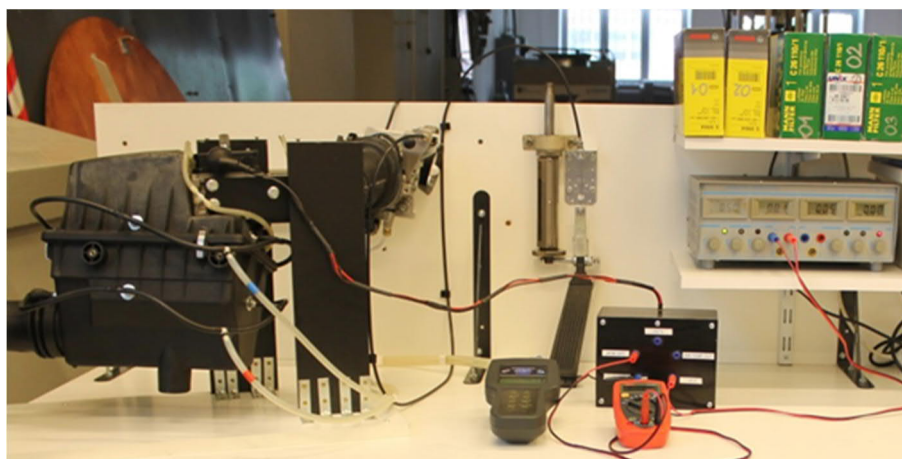
A MÉRŐBERENDEZÉS LEÍRÁSA

A mérőberendezésünk a valóság M1:1 méretarányú mása. **(Kérjük, hogy a mérés során vigyázzanak a mérőberendezés részegységekre és légszűrőkre!)** A mérőberendezés a személyautóban (ld. alábbi fotó) is meglévő, azokkal azonos gyári részegységekből áll. Egyedül a motort „helyettesíti” egy radiális ventilátor, amellyel a kívánt mennyiségű levegő átszívható a rendszeren.



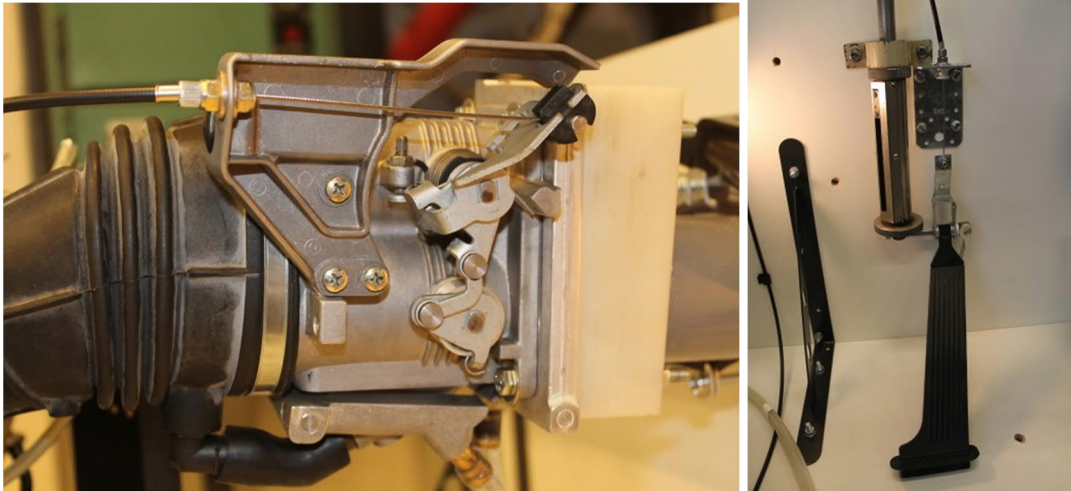
Az alábbi ábrán látható a mérőberendezésről készült fénykép. A baloldalon látható a légszűrő ház (alsó + felső légszűrőház részek), amelybe – 4db kapcsos rögzítés oldása után a légszűrők behelyezhetők. A normál légszűrők az alsó, a sport légszűrő a felső légszűrőházba illesztendő először a megfelelő tömítettség érdekében. Kérjük, a szűrők ki/beszerelésekor ügyeljenek az alsó/felső házrészeket összekapcsoló fémkapcsokra és a szűrő előtt/utáni statikus nyomás megcsapolások / körvezetékek épségére!

A radiális ventilátor szívóoldalára csatlakoztatott rendszer részei (ld. még a 2. oldali gyári ábrát is): a szabadból a levegő áramlásirányban a baloldali belső lámpatakaró burkolaton, gumi idomon, a légszűrőházon (benn a légszűrőn) áramlik keresztül, majd az ún. torlólapos légmennyiségmérő eszközön a torlólapot légmennyiségtől függően elfordítva egy gumi könyökidom után a dupla pillangószelepen keresztül jut a hozzá csatlakoztatott csővezetékén keresztül a motort helyettesítő radiális ventilátor szívócsonkjáig.



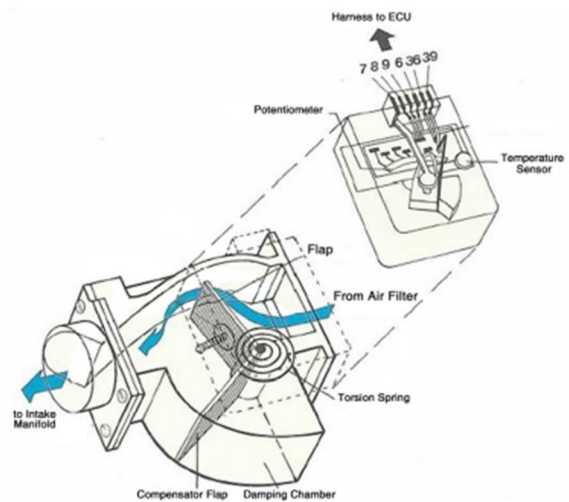
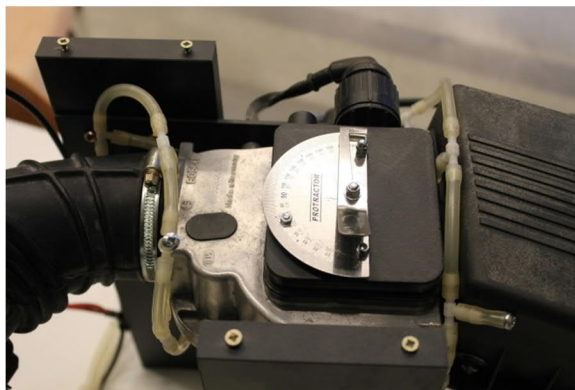
Légszűrő mérőberendezés

A laboratórium udvarán elhelyezett radiális ventilátor bekapcsolása után a szűrőn átáramló levegő mennyisége (ahogy a valóságban is) a gázpedálhoz csatlakoztatott gázbowden által teljes zárás és teljes nyitás között mozgatott dupla pillangószeleppel változtatható. A dupla pillangószelep alapállása zárt, ekkor a bekapcsolt, maximális fordulatszámon járó radiális ventilátorral a rendszer minimális résvesztését is figyelembe véve közel zérus a légszűrőn átáramló levegő térfogatárama.



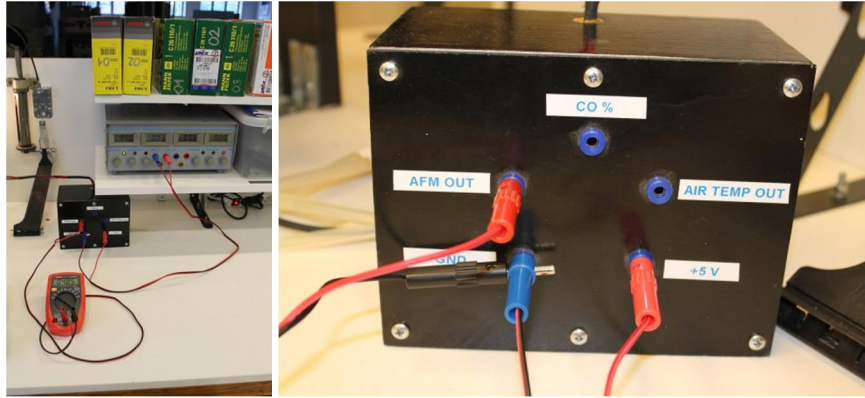
Dupla pillangószelep (bal) és gázpedál kézi bowden mozgató szerkezettel

A szűrőn átáramló térfogatárama a Bosch gyártmányú, egyedi kialakítású ún. torlólapos légmennyiségmérő nyomáskülönbség hatására elforduló torlólapjának szögállásával arányos.



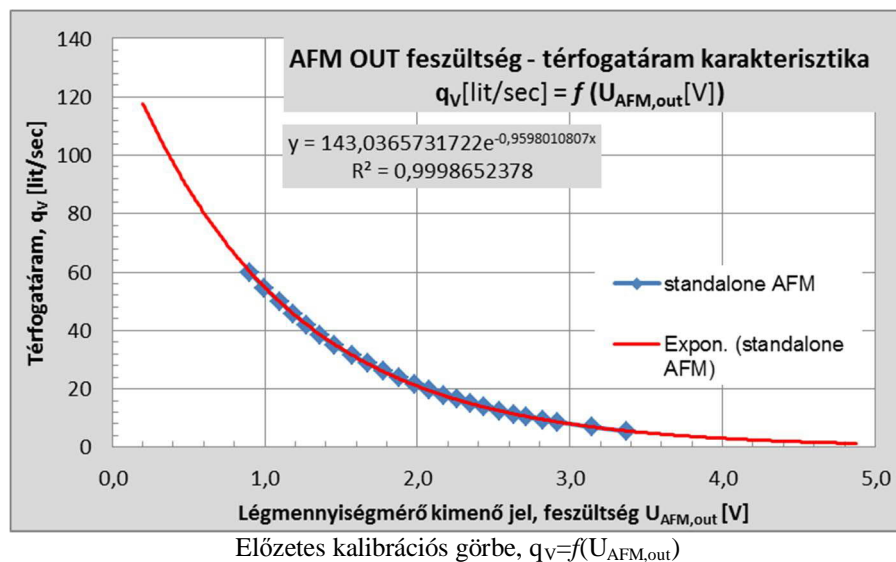
Torlólapos légmennyiségmérő, szögállás mutatóval

A légmennyiségmérőt – hasonlóan a személyautóban meglévő rendszerhez – állandó 5V feszültséggel tápláljuk a labor tápegységgel. A légmennyiség függvényében elforduló torlólap szögállása (α) egy, a torlólap tengelyére szerelt és felülre kivezetett mutatóról szemmel is leolvasható, de pontosabb, ha a mérőegység $U_{AFM,out}=0.000-5.000V$ közötti kimenő jelét jegyezzük fel a kimenő jel vezetékekre kapcsolt multiméterről. A mérés során mind a torlólap α szögállása, mind az $U_{AFM,out}$ kimenő feszültség jel leolvasandó, mért mennyiség. **(A szögmutatóhoz TILOS kézzel hozzáúlni!)**

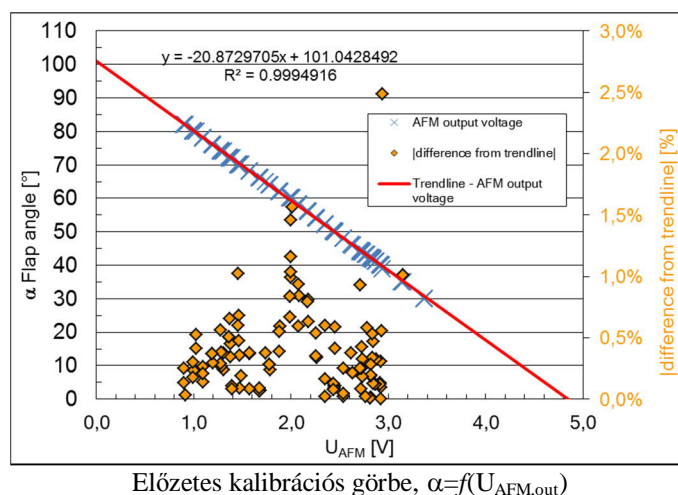


Légmennyiségmérő tápfeszültség („+5V”; „ground”) és kimenő jel („U_{AFM,out}”) csatlakozó doboz

A légmennyiségmérőt előzetesen egy szabványos átfolyó mérőperemhez kalibráltuk, így az alábbi kalibrációs görbe alapján akár α , akár U_{AFM,out} jel alapján kiszámítható a térfogatáram.



A légmennyiségmérő U_{AFM,out}[V] kimenő feszültségjele alapján a q_v [liter/sec] térfogatáramra való átszámítás a mérési pontokra illesztett trendvonal (ld. diagram) egyenletével számítható: Ábrázolandó még a légmennyiségmérő torlólapjának szemre leolvasott szögelfordulása is a kimenő feszültségjel függvényében: $\alpha[^\circ] = f(U_{\text{AFM,out}})$. Az $\alpha=0^\circ$ jelenti a zárt állapot. Korábban kimért adatokkal (ld. alábbi diagram) össze kell hasonlítani a saját méréseket.



LÉGMENNYISÉG és MOTOR FORDULATSZÁM KAPCSOLATA

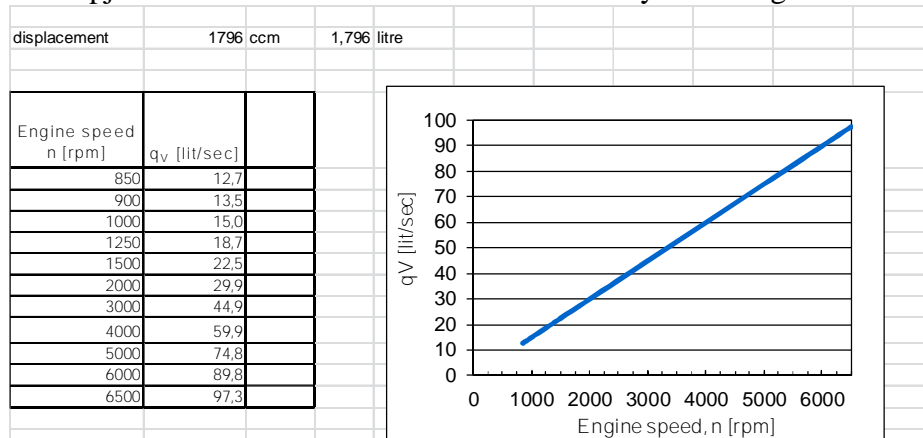
Tudni szeretnénk, hogy az adott beszívott levegőmennyiség milyen motor főtengely fordulatszámhoz tartozik. A motor volumetrikus hatásfokát 100%-nak tekintve a motoradatok (DOHC, 4 henger, 16szelep, $V=1796 \text{ cm}^3 = 1,796 \text{ liter}$) alapján a légmennyiség kiszámítható:

$$q_v \text{ [liter/sec]} = 0,5 \cdot V \text{ [liter]} \cdot (1/60) \cdot n \text{ [ford/min]}$$

Kérem, ügyeljenek a képletben alkalmazott mértékegységekre!

q_v : [liter/sec]; V : [liter]; n : [ford/min].

Ábrázoltuk az alapjáratú és maximális fordulatszám tartományra a térfogatáramot.



MOTORTELJESÍTMÉNY

A motorra jellemző, fordulatszám-függő teljesítménygörbe a vizsgált autóra sajnos csak képként ismert.

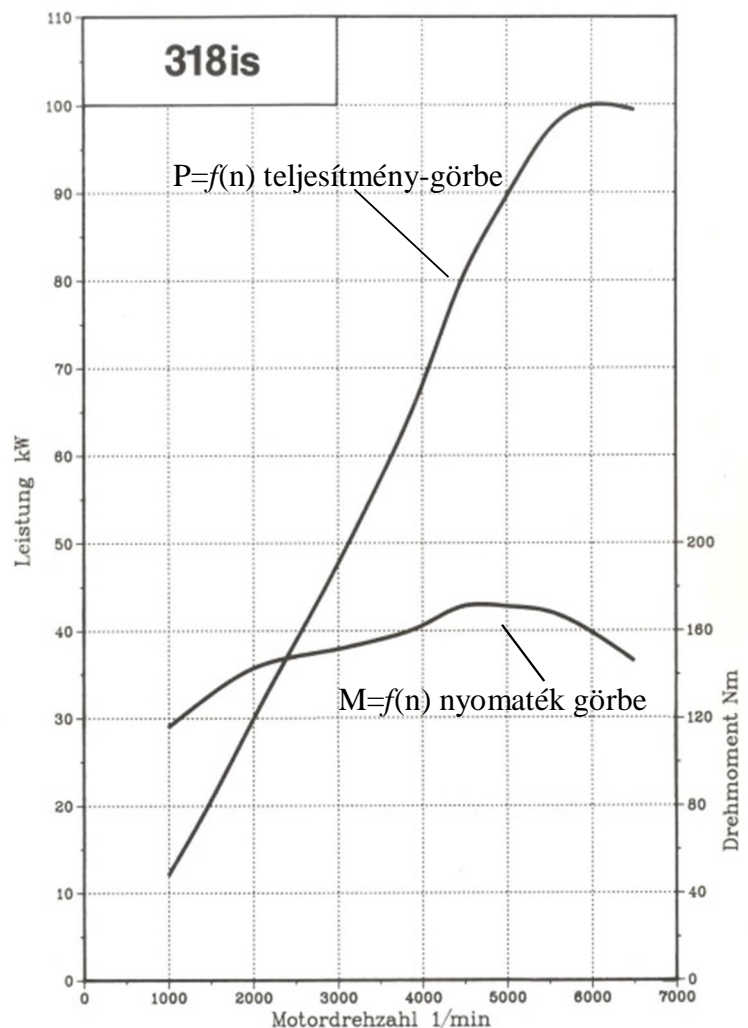
$$P_{\text{motor}} [\text{kW}] = f(n [\text{ford/min}])$$

A képről adott n [rpm] fordulatszám esetén leolvasott P [kW] teljesítményérték alapján ki lehet számolni, hogy a légszűrő veszteségteljesítménye az aktuális motorteljesítménynek épp hány százalékát emésztí fel:

$$P_{\text{rel}} = P_{\text{veszt},F} / P_{\text{motor}} \quad [\%]$$

A teljesítménygörbe a könnyebb kezelhetőség miatt egyenessel is közelíthető.

A mérőberendezés radiális ventilátora csak a motor üzemi tartomány alsó felének megfelelő légmennyiséget képes átszívni a rendszeren, így a teljes szűrő karakterisztika nem mérhető ki, de extrapolálható.



A MÉRÉSHEZ HASZNÁLT ESZKÖZÖK

Légszűrők: Az eredeti „gyári”, a BMW márkakereskedésekben vásárolható légszűrő (bruttó ~10ezer forint). Tudvalevő, hogy a BMW GmbH maga nem gyárt légszűrőt. Emellett természetesen igen sokféle egyéb más gyártmányú „utángyártott” légszűrője kapható (ld. alábbi táblázat árakkal), melyek mind a gyári helyre beépíthetők.

A „Melyik szűrőt választanom?” kérdésre a



felhasználó általában nehezen tud válaszolni, mert árban és kialakításban (akár tömegükben, vagy minőség-érzetben) is igen eltérőek ezek a szűrők. A méréshez összesen 7 kül. gyártmányú légszűrőből 2-2db áll rendelkezésre. A mérés során ezek közül három különböző gyártó légszűrőjét kell kiválasztani és lemérni az adott mérőcsoportnak, melyekből egy az ún. sportlégszűrő (K&N) legyen. A szűrők minden geometriai paraméterét, típusát, gyári számát stb. fel kell jegyezni, a szűrők dobozán lévő sorszámmal együtt. Választható gyártók, típusok:

A RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ (kék színnel jelzett) és EGYÉB SZŰRŐK ADATAI ÁRAKKAL (2016.04.13.):

NORMÁL légszűrők:

NÉV	SZÁMJELZET	ÁR
BMW „gyári”	13721715881	7846.-Ft + ÁFA
Mann	C26110/1	5565.-Ft + ÁFA
Bosch	1457429964	3260.-Ft + ÁFA
Mahle Knecht	LX105	3631.-Ft + ÁFA
Racer	R3152	2135.-Ft + ÁFA
Tecneco FM	AR334PM	1988.-Ft + ÁFA
Unix	P161 H13-02-2564	1186.-Ft + ÁFA
SPORT LÉGSZŰRŐ:		
K&N	33-2059	19678.-Ft + ÁFA
K&N Cleaning Kit (spray)	99-5000EU	3894.-Ft + ÁFA

Fenti táblázatban nem szereplő további kapható légszűrők:

Egyéb NORMÁL légszűrők:

NÉV	SZÁMJELZET	ÁR
Champion	U527	1932.-Ft + ÁFA
SOFIMA	S 1420-A	1813.-Ft + ÁFA
VALEO	585140	2224.-Ft + ÁFA
Muller	PA334	1730.-Ft + ÁFA

Egyéb SPORT LÉGSZŰRŐ:

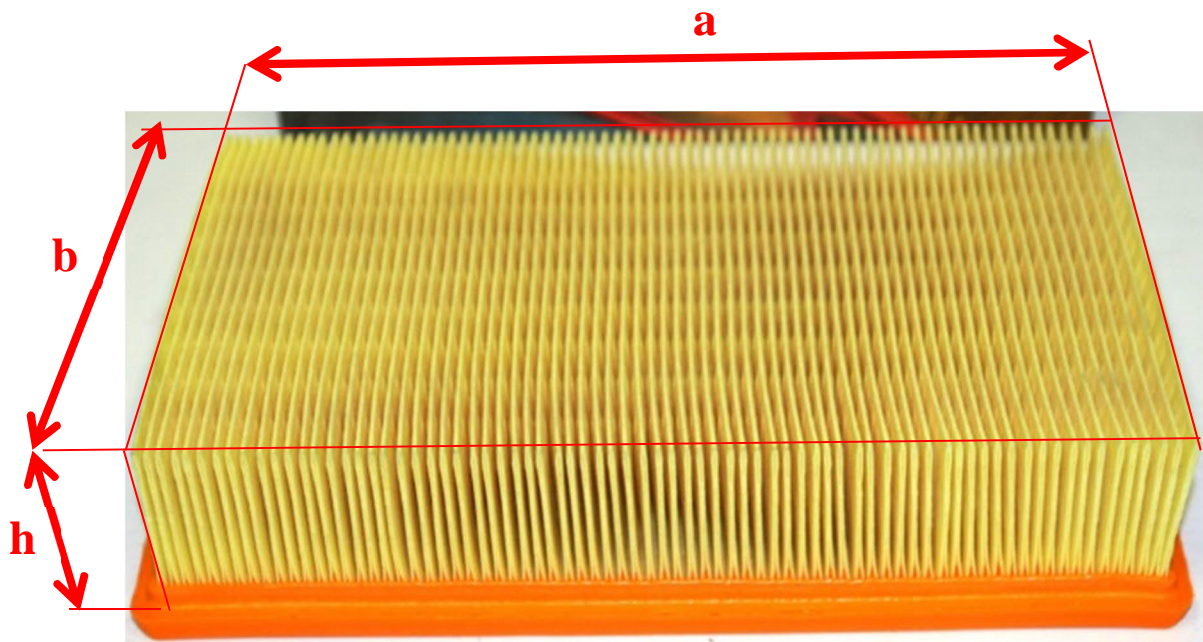
BMC	FB117/01	18599.-Ft + ÁFA
-----	----------	-----------------

Szűrőfelület (papír lamellák) adatai: *

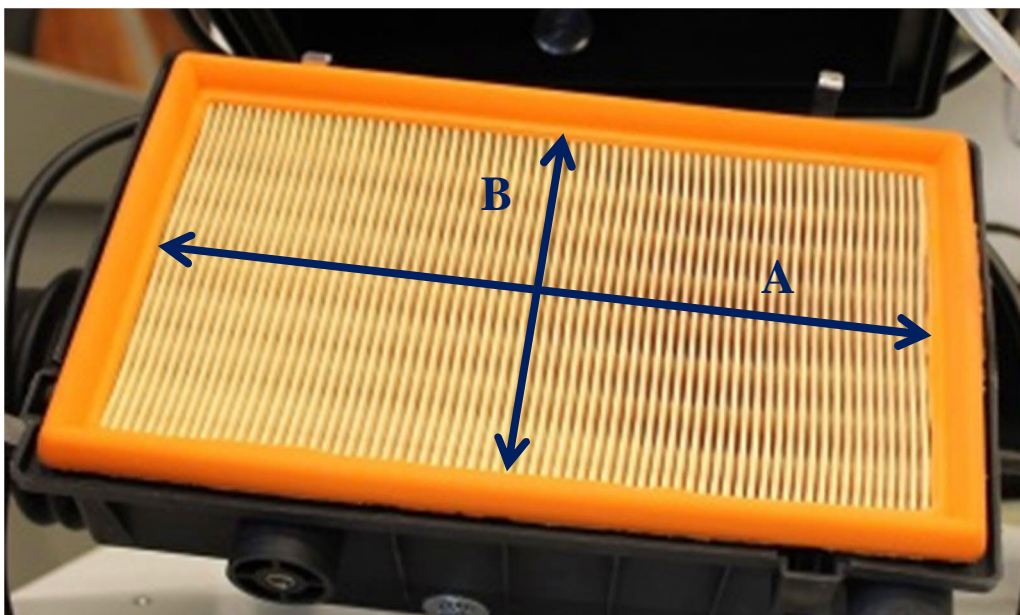
	Név	Cikkszám	hosszúság a [mm]	szélesség b [mm]	magasság h [mm]	lamella pár n _{lam} [db]
1	Mann Filter	C26110/1	245	137	48	86
2	Bosch	1457429964	243	137	47	75
3	Mahle Knecht	LX105	240	137	47	75
4	Racer	R3152	243	138	48	88
5	Tecneco	AR334PM	240	137	48	92
6	Unix	P161 H13-02-2564	240	137	46	74
7	K&N	33-2059	118	232	19,4	19

***FIGYELEM!** A méreteket és lamella számokat tartalmazó táblázatban lévő adatokat kérjük a mérés során saját kezűleg lemérni, ellenőrizni!

A_F : A normál légszűrő összfelülete $A_F=2 \cdot n \cdot (h \times b)$ téglalap $(h \times b)$ alakú lamellákkal, a sportlégszűrő A_F összfelülete téglalap + félhengerekből álló lamella alakú közelíthető. (ld. alábbi ábra)



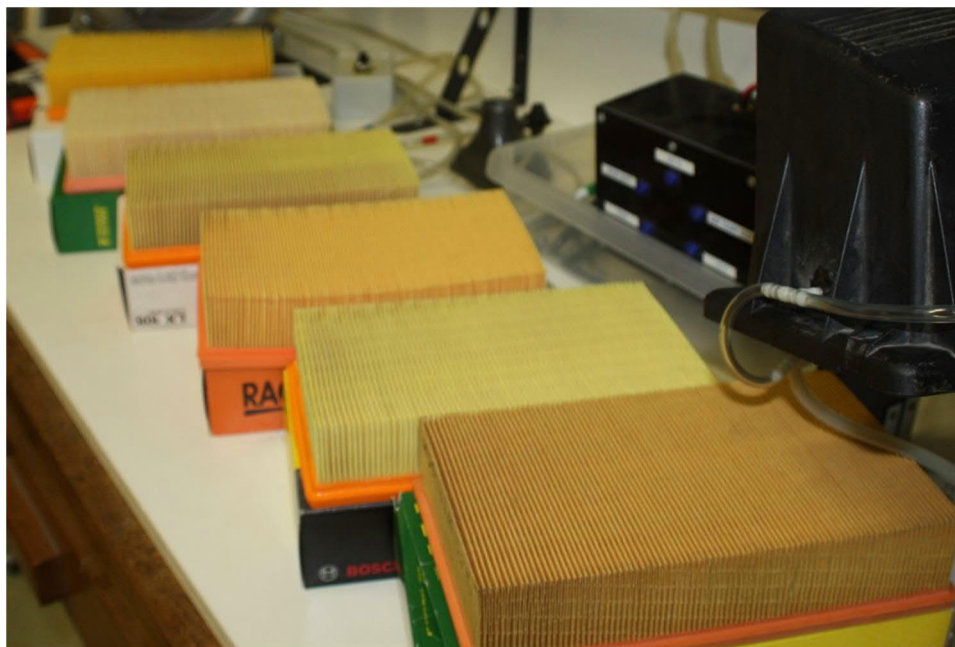
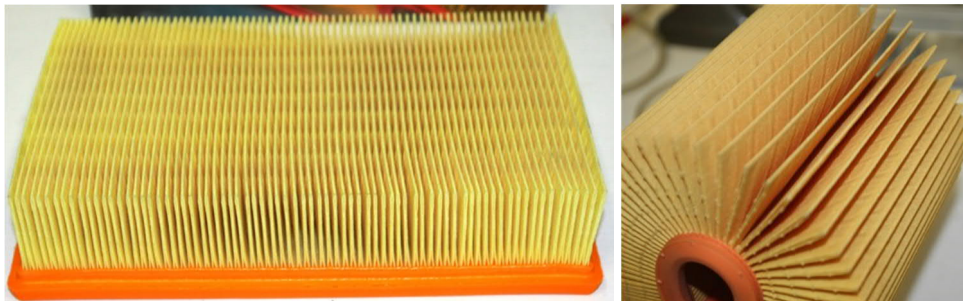
A_{REF} : Ezekon kívül lemérendő az $A_{REF}=A \times B$ a szűrő effektív (szabad áramlást biztosító) téglalappal közelíthető alakú referencia vetület keresztmetszete, ahol A[m] szélesség és B[m] hosszúság méretek, a tömítésre szolgáló oldal él perforációk közötti szabad szűrő vetület keresztmetszete, a téglalap oldalhosszúságai. (ld. alábbi ábra)



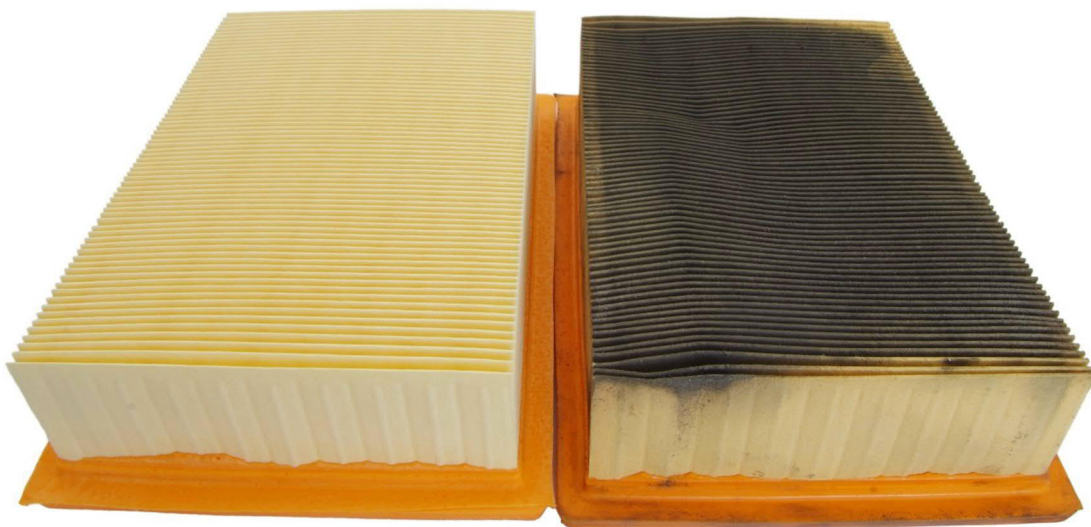
NORMÁL („PANEL”) LÉGSZŰRŐK:

Rendelkezésre álló típusok:

„BOSCH”; „MANN”; „MAHLE-KNECHT”; „UNIX”; „TECNECO”; „RACER”



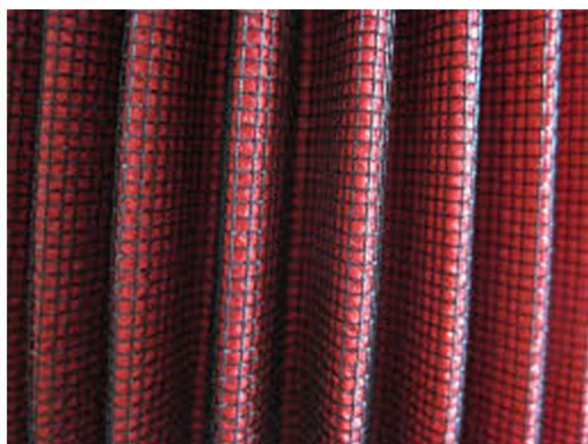
Normál (ún. panel) papír légszűrők kialakítása, szűrőfelület részletei



Tiszta(bal) és használt(jobb) normál (ún. panel) papír légszűrő

SPORT LÉGSZŰRŐK:

Rendelkezésre álló típus(ok):
„K&N”



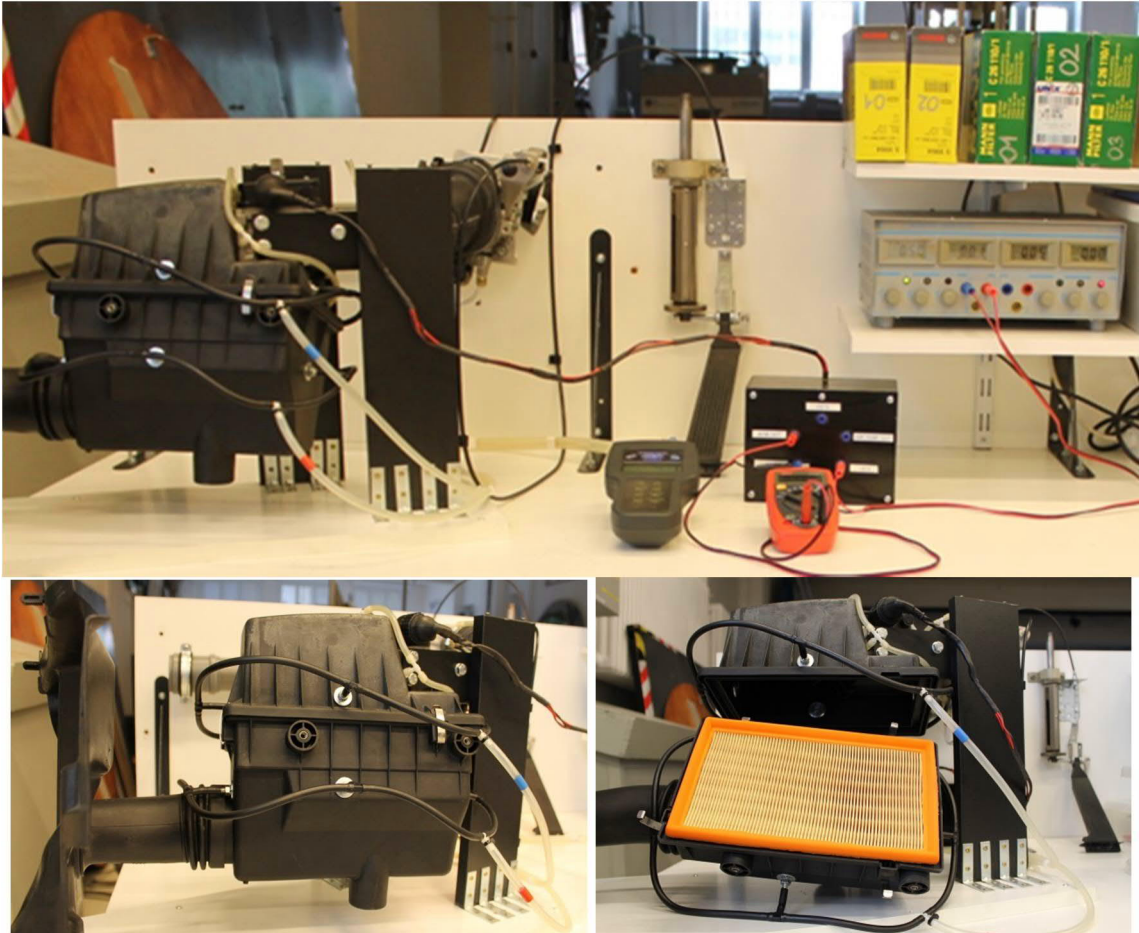
Sportlégszűrő kialakítása, szűrőfelület/szalak részletei



Használt(bal), visszatisztított(közép) és beolajozott(jobb) sport légszűrő

Nyomásmérő: EMB-001 típusú kézi digitális nyomásmérő a légszűrő előtti és utáni nyomás különbségének méréséhez. -A légszűrő nyomáskülönbsége a légszűrő házon a szűrő előtti, ill. utáni szűrőház oldalfalakon kialakított 4db - 4db statikus nyomásmérő pontokra kapcsolt (alábbi képen piros, ill. kék jelzetű) nyomásközlő szilikon körvezetékekkel mérhető. A körvezetéseket az EMB-001 típusú kézi digitális nyomásmérő megfelelő (+, -) nyomásatlakozóira kell kapcsolni.

(Kérem, írják fel a használt nyomásmérő típusát, és sorszámát!)



Labor tápegység: állandó 5.0V tápfeszültség biztosítása a légmennyiségmérő számára
(Kérem, írják fel a használt eszköz típusát, számát stb.!)

Multiméter: a légmennyiségmérő egység 0.000-5.000V kimenő feszültségjelének mérésére szolgál. Az összes kijelzett számértéket rögzíteni kell a jegyzőkönyv számára.
(Kérem, írják fel a használt eszköz típusát, számát stb.!)

Közeg adatok mérése: a labor p_0 légnyomás és t_0 hőmérséklet a labor számítógép monitorján kijelzett és leolvasott érték, hacsak a mérésvezető oktató mást nem mond.

A MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYVBEN ÁBRÁZOLANDÓ és KIÉRTÉKELENDŐ DIAGRAMOK

A mérést vezető oktató eltérhet az alábbiaktól!

A diagramok szöveges kiértékelésével értékelje a kimért szűrő jelleggörbét, hasonlítsa össze azokat! („Melyiket válasszam?” kérdésre adjon választ indoklással)

NYOMÁSVESZTESÉG JELLEGGÖRBÉK

- | | |
|--|-----------------------|
| 1) Nyomásveszteség a térfogatáram függvényében
Δp_F [Pa]; q_V [m ³ /s] | $\Delta p_F = f(q_V)$ |
| 2) Nyomásveszteség a szűrési sebesség függvényében
ahol $v_F = q_V/A$, ahol A_F [m ²] a szűrőlamellák összfelülete | $\Delta p_F = f(v_F)$ |

VESZTESÉGTÉNYEZŐ JELLEGGÖRBÉK

- | | |
|---|------------------|
| 3) Veszteségtényező a térfogatáram függvényében | $\xi_F = f(q_V)$ |
| 4) Veszteségtényező a szűrési sebesség függvényében | $\xi_F = f(v_F)$ |

SZŰRŐRE HATÓ ERŐ JELLEGGÖRBÉK

- | | |
|--|----------------|
| 5) Szűrőre ható F_F [N] erő a térfogatáram függvényében
$F_F = \Delta p_F \cdot A_{REF}$
ahol $A_{REF} = A \times B$ a szűrő effektív vetületkeresztmetszete | $F_F = f(q_V)$ |
| 6) Szűrőre ható erő a szűrési sebesség függvényében | $F_F = f(v_F)$ |

VESZTESÉGTELJESÍTMÉNY JELLEGGÖRBÉK

- | | |
|---|------------------------|
| 7) Szűrő veszteségteljesítménye a térfogatáram függvényében
$P_{veszt,F} [W] = \Delta p_F \cdot q_V$ | $P_{veszt,F} = f(q_V)$ |
| 8) Szűrő veszteségteljesítménye a szűrési sebesség függvényében | $P_{veszt,F} = f(v_F)$ |
| 9) Szűrő veszteségteljesítménye a fordulatszám függvényében | $P_{veszt,F} = f(n)$ |

RELATÍV VESZTESÉGTELJESÍTMÉNY JELLEGGÖRBÉK

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| 10) Térfogatáram függvényében | $P_{rel} [\%] = f(q_V)$ |
| 11) Szűrési sebesség függvényében | $P_{rel} [\%] = f(v_F)$ |
| 12) Fordulatszám függvényében | $P_{rel} [\%] = f(n)$ |

TOVÁBBÁ, CSAK MSc MÉRÉSEKHEZ: A SZŰRŐ, MINT PORÓZUS ZÓNA CFD MODELLEZÉSHEZ SZÜKSÉGES PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA

- | | |
|---|-------------------|
| 13) α permeabilitás a szűrési sebesség függvényében | $\alpha = f(v_F)$ |
| 14) C_2 tehetetlenségi ellenállás a szűrési sebesség függvényében | $C_2 = f(v_F)$ |

A mérési eredményekből (jelleggörbék) meghatározandó a szűrők nyomásveszteségére vonatkozó pl. az ANSYS Fluent CFD (Computational Fluid Dynamics) szoftver által használt, a porózus réteg nyomáskülönbség kiszámítására használt

$$\Delta p = - \left(\frac{\mu}{\alpha} v_f + C_2 \frac{1}{2} \rho v_f^2 \right) \Delta m$$

képletben szereplő α (permeabilitás/permeability) és a C_2 (tehetetlenségi ellenállás / inertial resistance factor)

paraméterek. A Δp a szűrőn eső nyomás (a mért Δp_F nyomáskülönbség). A Δm vastagságú szűrőn átáramló közeg nyomása áramlási irányban csökken. A szűrőanyag vastagsága megközelítően $\Delta m = 1 \text{ mm}$ -nek vehető mindegyik légszűrőre. A képletben szerepel a közeg (levegő) μ dinamikai viszkozitása, ρ sűrűsége, a $v_f (=v_F)$ szűrési sebesség és a Δm szűrőanyag vastagság. Az α és C_2 értékei a v_F szűrési sebesség függvényében ábrázolt jelleggörbék $\Delta p = A \cdot v_F + B \cdot v_F^2$ alakra hozott karakterisztikából számíthatók.

A MÉRÉS KIÉRTÉKELÉSE:

A mérési jegyzőkönyvnek az alábbi mennyiségeket kell tartalmaznia táblázatos formában:

- kimért légszűrők adatai (név, típus, gyártó, termékszám, Nr., főméretek: A; B; a;b;h;n)		
- légmennyiségmérő torlólap szögállás	α	[°]
- légmennyiségmérő kimenő feszültségjel	$U_{AFM,out}$	[V]
- légszűrő nyomáskülönbség	$\Delta p'_F$	[Pa]
- a gázbowden-hossz manuális beállítón leolvasott pozíciója	l	[mm]

A kiértékelés során a mért mennyiségekből számolt értékeket is **táblázatos** formában meg kell adni, mindenhol a számításhoz alkalmazott összefüggéssel. A mért ill. számított eredmények kiértékelését **diagramok** formájában kell elkészíteni. Közös diagramban kell ábrázolni a valamennyi kimért légszűrő mérési eredményeit, hogy azok összehasonlító elemzését megkönnyítsük.

HIBASZÁMÍTÁS

A mérési jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell mérési **hibaszámítást**. Ehhez megadjuk az X_i mért mennyiségeket és azok δX_i bizonytalanságait, melyek ismeretében alkalmazni tudják a hibaterjedés ismert összefüggését.

(A mérést vezető oktató eltérhet az alábbiaktól!)

$X_1 = \Delta p'_F$	a digitális manométer nyomásmérési bizonytalansága	$\delta \Delta p'_F = \pm 2$	Pa
$X_2 = U_{AFM,out}$	a multiméter feszültségmérési bizonytalansága	$\delta U_{AFM,out} = \pm 0,001$	V
$X_3 = p_0$	a környezeti nyomásmérés bizonytalansága	$\delta p_0 = \pm 100$	Pa
$X_4 = T_0$	a környezeti hőmérsékletmérési bizonytalansága	$\delta T_0 = \pm 0,1$	K
$X_5 = \alpha$	légmennyiségmérő torlólap szögállás	$\delta \alpha = \pm 0,5$	°
$X_6 = l$	gázbowden-hossz	$\delta l = \pm 0,5$	mm

A hibaszámítás eredményét adatpontonként meg kell adni a közölt táblázatokban, és diagramokban is jelölni kell. Az eredmények szöveges kiértékelésében kérem, térjenek ki a hibaszámítás eredményeire és az ebből levonható következtetésekre.

A mérés során nem szabad megfélekedni

- A mérőberendezés bekapcsolása előtt, illetve általában a mérőberendezés üzeme során mindig meg kell győződni a balesetmentes használat feltételeinek teljesüléséről. A bekapcsolásról, illetve a mérés közben végrehajtott változtatásokról a berendezés környezetében dolgozókat figyelmeztetni kell.
- Minden mérési alkalommal a légköri nyomás és teremhőmérséklet feljegyzéséről a mérés előtt és után is!
- A felhasznált mérőműszerekről leolvasott értékek mértékegységének és a vonatkozó egyéb tényezők feljegyzéséről.
- A felhasznált mérőműszerek típusának, gyártási számának feljegyzéséről!
- A mérőműszerről leolvasott mennyiségek és a további számításoknál felhasznált mennyiségek mértékegységének egyeztetéséről.
- A nyomásmérő bekötésénél figyelmesen kell eljárni a csatlakozók "+" illetve "-" ágának és a méréshatár kiválasztásánál. Általában mindegyik (folyadékkal töltött ill. digitális) manométer típusnál, de kiemelten a ferdecsovés manométernél, figyelni kell arra, hogy a nyomásmérő csatlakozó csomkjaira a szilikon csövet óvatosan, "ráközelítve", a mérőfolyadék szál viselkedését figyelemmel kísérve kell felhelyezni. Ha bekötőcsövek tömör rögzítése előtt a mérőfolyadék szál kitérése megközelíti a maximális kitérést, akkor méréshatárt kell változtatni a műszeren. Ha ez nem lehetséges, akkor nagyobb nyomások mérésére alkalmas műszert kell választani a méréshez. Ellenkező esetben a mérőfolyadék egy része a bekötőcsöbe áramlik, meghamisítva esetleg teljesen lehetetlenné téve a mérést.
- A nyomásközlő szilikon csöveket mérés előtt, esetleg közben is célszerű ellenőrizni, nehogy repedés, szakadás legyen rajtuk, mert lyukas mérőcső esetén az összes addigi mérési eredmény kárba vész. Az ellenőrzést szemrevételezéssel, vagy nyomástartási próbával végezhetjük el. A hallgatói mérések intenzív használata miatt a csövek kritikus pontjai a műszerekre ill. a nyomáskivezetésekre történő csatlakoztatás helyei.

Irodalom

- Lajos T.: Az áramlástan alapjai (2015) vonatkozó fejezetei: 6. Áramlástan mérések, 10. Hidraulika
- A légszűrő gyártók, BMW gyári és utángyártott autóalkatrész kereskedések honlapjai
- ANSYS Fluent User's Manual (porózus rétegen való átáramlás CFD modellezése, Darcy törvény)