



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Gépészmérnök Szak

Kipufogógáz elemző készülék vezérlési folyamatának tervezése

Belső konzulens:	Dr. Kiss Péter egyetemi tanár
Külső konzulens:	Bíró Norbert tesztmérnök, Ibiden Hungary Kft.
Készítette:	Lajtos Ágoston István XGDF0A levelező tagozat
Intézet/Tanszék:	Műszaki Intézet, Járműtechnika Tanszék

Gödöllő

2023

MŰSZAKI INTÉZET GÉPÉSZMÉRNÖK MESTERSZAK
Mechatronika specializáció

DIPLOMAMUNKA
feladatlap

Lajos Ágoston István (XGDFDA)

részére

A diplomamunka címe:

Kipufogógáz elemző készülék vezérlési folyamatának tervezése

Feladatkiírás:

Foglalja össze és értékelje a kipufogógáz károsanyag kibocsátás mérési folyamatokról szóló szakirodalmat. Modellezzen előszűrő egységet, mely javítja a rendszer hosszútávú működését! Válassza ki a feladat végrehajtásához szükséges alkatrészeket! Módosítsa a kipufogógáz vizsgáló berendezés sematikus ábráját! Készítsen 3D modellezési környezetben modellt a mérő berendezés módosított részéről! Készítse el a hő, nyomás és áramlási szimulációját a tervezett részegységnek! Értékelje ki a módosítás mérőrendszerre gyakorolt hatásait!

Közreműködő tanszék: Járműtechnika Tanszék

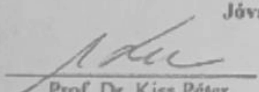
Külső konzulens: Bíró Norbert, tesztemérnök, Ibsiden Hungary Kft.

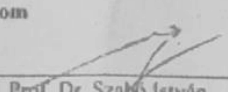
Belső konzulens: Dr. Kiss Péter, egyetemi tanár, MATE, Műszaki Intézet, Járműtechnika Tanszék

Beadási határidő: 2023. november 6. (hétfő) 12.00 óra

Gödöllő, 2023. június 15.

Jóváhagyom


Prof. Dr. Kiss Péter
tanszékvezető

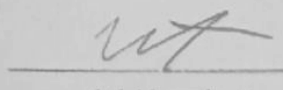

Prof. Dr. Szabó István
szakfelelős

Átvettem


Lajos Ágoston István
hallgató

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozik arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2023. 11 hó 05 nap


(külső konzulens)

Tartalom

1. Bevezetés, célkitűzés	1
2. Károsanyag kibocsátás mérés szakirodalmi áttekintése	3
2.1. Kipufogógázok összetétele.....	3
2.2. Kipufogógáz kibocsátás határértékek az EU-ban személygépjárművekre.....	3
2.3. Aeroszol.....	6
2.4. Kipufogógázok élettani hatása	7
2.5. Kipufogógáz mérési módszerek	8
2.5.1. Nem diszperzív infravörös spektroszkópia	8
2.5.2. Nem diszperzív ultraibolya spektroszkópia	11
2.5.3. Hangolható infravörös dióda lézer abszorpciós spektrométerek (TIDLAS)	13
2.5.4. Hordozható kibocsátásmérő rendszerek (PEMS)	16
2.5.5. Részecskemérési program (PMP)	19
2.5.6. Aranyrészecske mérőrendszer	20
2.5.7. Tényleges emissziós vizsgálati eljárás (RDE).....	23
3. Kipufogógáz elemző készülék vezérlési folyamatának tervezése	25
3.1. APCplus AVL részecskaszámláló mérési elve.....	25
3.2. Kondenzációs részecskeszámláló működése.....	27
3.3. Kipufogógáz elemző készülék problémájának kifejtése.....	28
3.4. Módosítás ötletének kifejtése	29
3.5. Rendszer eredeti folyamatábrája.....	30
3.6. Módosítandó rendszer ismert hőmérséklet és nyomás értékei.....	31
3.7. Alkatrész kiválasztás szempontjai voltak	31
3.8. Ezen szempontok alapján választott alkatrészek a rendszerhez és főbb ismertetőik.....	33
3.9. Módosított folyamatábra a kiválasztott alkatrészek felhasználásával	35
3.10. Áramlások numerikus modellezése.....	36
3.11. Solid Edge modellezés	36
3.12. Ansys CFD elemzés	38
3.12.1. Geometriai modell előállítás	38
3.12.2. Hálógenerálás	39
3.12.3. Peremfeltételi zónák kijelölése	39
3.12.4. Fizikai modell kiválasztása, anyagjellemzők megadása	40
3.12.5. Eredmények értékelése	40
3.12.6. Diagram értelmezéséhez	41
3.12.7. Korábban választott membrán szivattyú működtetése.....	42
3.13. Eredmények kiértékelése	43
3.13.1. Peremfeltételek	43
3.14. Fejlesztési javaslatok.....	45
3.14.1. Rendszeren való javítási javaslatok	45
3.14.2. Walker Filtration magas hőmérsékletű szűrő.....	466

3.14.3. ANPTGHT Silicone Tubing 5mm (3/16") ID x 8mm cső	47
4. Összefoglalás	48
5. Summary	49
6. Nyilatkozatok.....	50
7. Fogalomtár	52
8. Irodalomjegyzék	54

1. Bevezetés, célkitűzés

Hazánkban is, csak úgy, mint az egész világon egyre komolyabb figyelmet kell fordítanunk ökológiai lábnyomunk környezetre gyakorolt hatására, mely veszélyezteteti hosszútávú élőhelyünket. Meg kell húznunk a határokat a károsanyag kibocsátásban és meg kell teremtenünk az ezen kibocsátások mérésére alkalmas eszközöket, gépeket.

Egy ezek közül az APCplus kipufogógáz vizsgáló berendezése, mely pontos adatokat képes szolgáltatni adott dízelüzemű jármű kipufogórendszere megfelel-e az EU-s károsanyagkibocsátással kapcsolatos előírásoknak. Gyakori kipufogógáz mérési folyamatok során az APCplus mérőrendszer részecskeszámlálójánál lerakódnak a nagyobb szennyeződések, melyek meggátolják a további mérések elvégzését a karbantartásig.

Munkám során PhD-s konzulensem Bíró Norbert fejlesztése alapján egy APCplus kipufogógáz károsanyag kibocsátás mérő rendszerhez modellezek előkészítő egységet. Ez az egység elősegíti a mérőrendszer hosszabb működését két karbantartás között. Általa meggátoljuk, hogy a nagyobb lerakódásokért felelős nedvesség a rendszerbe kerülhessenek, miközben elhanyagolható hatást gyakorolnak a mérések eredményére! Az előkészítő egység a következőkből áll:

1. Kondenzvíz lecsapoló egységből: még a kezdeti állapotban elvonjuk a gáz nedvesség tartalmát.
2. Hűtőventilátor: a kondenzvíz lecsapoló egység hűtésére szolgál
3. HEPA szűrő: 0,3 μ -nál nagyobb részecskék kiszűrésére szolgál (karbantartási tervezet szükséges).
4. Membrán szivattyú: állandó nyomáson tartáshoz (nagy nyomásesés esetén se álljon le a mérés).
5. Összekötő csőszakaszok: szükséges a behelyezett alkatrészek rendszerbe történő kapcsolásához.

Modellezésem során a hő és nyomás viszonyokat vizsgálom a rendszerben, illetve, ellenőrzöm, hogy az elhelyezett extra szivattyú képes-e meggátolni a mérésem leállítását nagyobb nyomásesés esetén. A szilárd részecskék előszűrését a HEPA szűrő végzi majd, mely leválasztja a nagyobb szennyeződések a kipufogógázból! Rendelkezésemre álló információk alapján modellezem a rendszer módosított részét.

Szimulációs munkám végeztével képet kapunk a rendszerben történő hő, áramlás és nyomásviszonyokról, továbbá becsléssel meghatározom, hogy ezzel a megoldással milyen gazdaságossági előnyök érhetők el mind időben, mind gazdaságilag.

2. Károsanyag kibocsátás mérés szakirodalmi áttekintése

2.1. Kipufogógázok összetétele

A dízel kipufogógázok részecske- és gázfázisú, főként szén tartalmú szennyező anyagok összetett keveréke. A jól belélegezhető részecskék szén tartalmú magból és adszorbeált szerves vegyületekből állnak. A szénmagot elemi szénként és az adszorbeált szerves anyagot pedig szerves szénként definiálják. A teljes szén mennyiség ezen frakciók összegéből adódik. Ilyen adszorbeált szerves anyagok az n-alkánok és a PAH vegyületek, melyek igen súlyos egészségkárosító hatásuk van. A gázfázisú komponensek (pl. SO_2) részecske reakcióba léphetnek és másodlagos részecskéket képezhetnek (Wheatley & Sadhra 2004).

A belső égésű motoroknál a nitrogén-oxidok, a szén-monoxid és az illékony szerves vegyületek alkotják a kibocsátott kipufogógáz jelentős részét. A dízelmotorok emellett jelentős mennyiségű részecskéket termelnek, valamint a nagyobb dízelmotorok termelnek kén-dioxidot is (Breeze 2019).

Ahogy olvasható rengeteg szennyezőanyag található a kipufogógázokban ezeknek a részecskéknek a mérésére optikai detektálás használnak leggyakrabban részecskeszámláló formájában.

2.2. Kipufogógáz kibocsátás határértékek az EU-ban személygépjárművekre

Az 1. táblázatban az Euro 1-6 károsanyagkibocsátási normák láthatók. Az idő előrehaladtával a kibocsátási határérték szigorítását figyelhetjük meg. Ennek okai a fokozott légszennyezés és egyre erősödő gépjárműforgalom lehetnek.

1. EU kibocsátási szabványok személygépkocsikra [Forrás: Internet: <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>]

Fokozat	Dátum	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM	PN
		g/km					#/km
Külső gyújtás (Gázolaj)							
Euro1 †	1992.07	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	-	-
Euro2	1996.01	2,2	-	0,5	-	-	-
Euro3	2000.01	2,30	0,20	-	0,15	-	-
Euro4	2005.01	1,0	0,10	-	0,08	-	-
Euro5	2009.09 ^b	1,0	0,10 ^d	-	0,06	0,005 ^{e,f}	-
Euro6	2014.09	1,0	0,10 ^d	-	0,06	0,005 ^{e,f}	6,0x10 ¹¹ e,g
Kompressziós gyújtás (Dízel)							
Euro1 †	1992.07	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	0,14 (0,18)	-
Euro2, IDI	1996.01	1,0	-	0,7	-	0,08	-
Euro2, DI	1996.01 ^a	1,0	-	0,9	-	0,10	-
Euro3	2000.01	0,64	-	0,56	0,50	0,05	-
Euro4	2005.01	0,50	-	0,30	0,25	0,025	-
Euro5	2009.09 ^b	0,50	-	0,23	0,18	0,005 ^f	-
Euro5b	2009.09 ^c	0,50	-	0,23	0,18	0,005 ^f	6,0x10 ¹¹
Euro6	2014.09	0,50	-	0,17	0,08	0,005 ^f	6,0x10 ¹¹

Rövidítések, jelölések:

CO: Szén-monoxid

HC: Szénhidrogén

NO: Nitrogén-oxid

PM: Részecskék a levegőben, amik főként szulfát, nitrát, ammónium, tengeri só, ásványi por, szerves vegyületek és fekete vagy elemi szén.

† A zárójelben lévő értékek a gyártásmegfelelőségi (COP) határértékek

a. 1999.09.30-ig (ez után a dátum után a DI motoroknak meg kell felelniük az IDI határértékeknek)

b. 2011.01 minden modellhez

c. 2013.01 minden modellhez

d. és NMHC = 0,068 g/km

e. csak a DI motorral rendelkező járművekre vonatkozik

f. 0,0045 g/km a PMP mérési eljárással

g. $6,0 \times 10^{12}$ 1/km az Euro 6 hatálybalépésétől számított első három éven belül

PM szám, ami fontos része a vizsgált berendezésnek, hiszen ennek meghatározására hivatott, hogy általa megvizsgálva a személygépjármű megfelel-e az EU-s előírásoknak. Fenti táblázatban az Euro6-os adatok 2014-es rendeletig szerepelnek és vannak ennél frissebb rendeletek is, de a táblázatban szereplő értékek a 2014-es módosítás óta nem változtak, csak a mérési módszer újult meg.

Az Euro 6 szabvány 2023-tól tovább szigorodik az Európai Unióban. Az Euro 6d-norma még szigorúbb határértékeket állapít meg a károsanyag-kibocsátásra, mint az eddigi Euro 6 szabványok.

Az Euro 6d-norma két részből áll: az Euro 6d-TEMP és az Euro 6d teljesítik az új határértékeket. Az Euro 6d-TEMP csak ideiglenes időszakra vonatkozik, az Euro 6d viszont a hosszú távú megoldás. Az Euro 6d-TEMP az alacsonyabb károsanyag-kibocsátásértékeket csak korlátozott időre írja elő, amíg az autógyártók az Euro 6d szabvány követelményeinek teljesítéséhez megfelelő technológiákat nem vezetnek be.

Az Euro 6d-norma további szigorításokat jelent a dízelüzemű járművek kibocsátására vonatkozóan, valamint bevezeti a részecskeszám (PN) határértékét a benzinüzemű járművekre is. Az új szabványok értelmében az NO_x-kibocsátás nem haladhatja meg a 80 mg/km értéket dízelüzemű járművek esetében, és 60 mg/km értéket kell teljesíteni azon a részecskeszámra vonatkozóan, amelyet a benzinüzemű járművek bocsátanak ki.

Az Euro 6d szabvány bevezetése további beruházásokat jelent az autógyártók számára, és növeli a járművek árát is, mivel a károsanyag-kibocsátást csökkentő technológiák további költségekkel járnak. Azonban az Európai Unió szabályozásai és büntetései arra ösztönzik az autógyártókat, hogy fejlesszék az Euro 6d szabványnak megfelelő járműveket, és ezáltal hozzájáruljanak a környezetvédelemhez és a jobb levegőminőséghez.

2025-ben várható Euro7, majd nagyobb változást fog jelenteni, ami nem csak a mérési folyamatot változtatja meg hanem szigorúbb határértékeket fog tartalmazni a fenti (1. táblázat) adatainál.

<https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>

2.3. Aeroszol

Aeroszolloknak nevezzük a levegőben szálló szilárd vagy folyékony nanométertől mikrométerig terjedő mérettartományú részecskéket, amelyeknek kiemelt jelentőségük van a légkör kémiai és fizikájában, a bioszférában, az éghajlatban, valamint közegészségügyi szempontból is. A légkörtudományban azonban az aeroszol kifejezés hagyományosan olyan lebegő részecskéket jelent, amelyek nagy arányban tartalmaznak kondenzált anyagot. Befolyásolják a Föld energiamérlegét, a hidrológiai körforgást, a légkör keringését, valamint az üvegházhatású és reaktív nyomgázok bőségét. Valamint fontos szerepet játszik a biológiai szervezetek szaporodásában is. Az egyes aeroszol részecskéket koncentrációjuk, méretük, szerkezetük és kémiai összetételük szerint csoportosíthatjuk. A légköri aeroszol részecskék sokféle természetes (pl. vulkánkitörés) és antropogén (pl. kipufogógáz) forrásból származnak. Az elsődleges részecskék közvetlenül folyékony vagy szilárd anyagként bocsátódnak ki olyan forrásokból, mint a biomassza elégetése, a fosszilis tüzelőanyagok tökéletlen elégetése, vulkánkitörések, valamint az út, a talaj és az ásványi por, a tengeri só és a biológiai anyagok szél által vezérelt vagy

közlekedési eredetű szuszpenziója (növényi töredékek, mikroorganizmusok, pollen stb.). A másodlagos részecskék viszont a légkörben részecskeátalakulás útján jönnek létre (új részecskék képződése a gáznemű prekursorok nukleációjával és kondenzációjával). Az aeroszol tulajdonságaitól és a meteorológiai körülményektől függően az aeroszol részecskék jellemző tartózkodási ideje (életideje) a légkörben óráktól hetekig terjed. Általánosságban elmondható, hogy a fő kémiai összetevői a levegőben lévő részecskék (PM) a szulfát, nitrát, ammónium, tengeri só, ásványi por, szerves vegyületek és fekete vagy elemi szén. Az aeroszolak eltávolítása a légkörből történhet természetes (pl. kiülepedés, esőzés stb.) vagy mesterséges (pl. szűrés, elektrosztatikus leválasztás (száraz és nedves) stb.) (Pöschel 2005).

A kipufogógáz elemző berendezésekben ilyen aeroszol anyag áramlik keresztül dúsítást, hevítést és hűtést követve, melyek során leválik róla a páratartalom jelentős része.

2.4. Kipufogógázok élettani hatása

A kipufogógázban lévő nitrogén-oxidok reakcióba léphetnek a PAH-okkal, és erősen rákkeltő nitro-PAH-okat képezhetnek. Ezek az anyagok a belégzést követően erős akut és krónikus légzőszervi megbetegedéseket okozhatnak, emiatt az IARC a dízel kipufogógázokat 2A osztályú karcinogén vegyületeknek minősítette (Wheatley és Sadhra 2004).

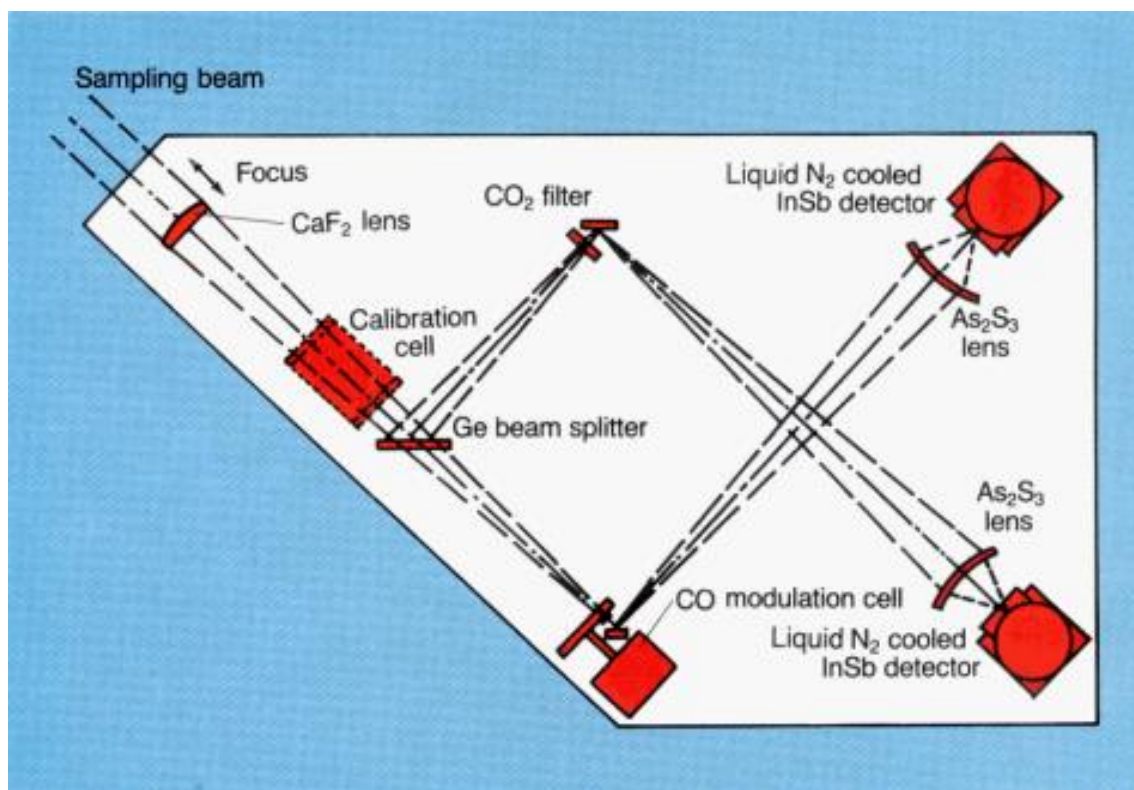
A kipufogógáz által kibocsátott szénhidrogének (HC-k), nitrogén-oxidok (NO_x , amely a NO és NO_2 összegét jelöli) és a szén-monoxid (CO) központi szerepet játszanak a városi légszennyezés problémájában. Ide tartozik a fotokémiai szmog, a savasesők és a CO szabályozási korlát túllépése. Napsugárzás jelenlétében a NO_x reakcióba lép a HC-vel és azok oxidációs termékeivel, hidroxil gyököket érintő reakciók során, erősen oxidáló vegyületeket hozva létre, és növelve az ózon koncentrációját. Egyéb nemkívánatos hatások közé tartozik a láthatóság romlása (részecskék nitrátok miatt), a tüdő károsodása (NO_2 által) és a növények károsodása. Ezen káros hatások miatt nélkülözhetetlen a gépjárművek kipufogógázának összetevőinek gyors és megbízható mérése. A pontos mérésekre pedig szükség van a távérzékelési technológia fejlesztésére, amely a későbbiekben segítséget tud nyújtani a környezetszennyezés csökkentésére irányuló stratégiák kidolgozásához (Zhang 1996), (Jimenez 1999).

2.5. Kipufogógáz mérési módszerek

2.5.1. Nem diszperzív infravörös spektroszkópia

Az 1970-es években kiadott levegő védelméről szóló törvény a légszennyező anyagok kibocsátásának mérséklésére és a levegő minőségének javítására irányult. Ennek eredményeként megszületett az autók kipufogógáz mérésével foglalkozó iparág. Megnőtt az igény a gyakorlatban is használható, reprodukálható, gyors és olcsó kipufogógáz mérésre irányuló módszerek kifejlesztésére. Ezen kritériumok figyelembevételével fejlődtek ki az infravörös spektroszkópián alapuló kipufogógáz mérési módszerek. Az 1. ábrán látható a rendszer működési elve. A Denvery Egyetem műszere három egységből áll: a forrásból egy detektorból és egy számítógépből. Az infravörös adszorpciót az elhaladó autó által kibocsátott szén-monoxid (CO) és szén-dioxid (CO₂) mennyiségi meghatározására használják. Az infravörös fényforrás az úttest egyik oldalán helyezkedik el és kollimált sugarat küld egy gázszűrős radiométerbe, amely két folyékony nitrogénnel hűtött indium antimonid fotovoltaius detektorhoz van erősítve. Egy sávszűrő izolálja a CO₂ spektrális tartományt, egy szűrő pedig a CO régiót. A CO régiót izoláló nyaláb egy forgó gázszűrő keréken halad át, amelynek egyik fele CO és H₂ keveréket tartalmaz, a másik fele pedig N₂. A forgó kerék modulálja a jelet, és referenciacsatornát és CO adatcsatornát is biztosít. A rendszer úgy működik, hogy egy egysávos autópályára van kihelyezve 25,4 cm-rel az úttest felett. Amint egy autó belép az optikai útra, akkor a referenciafeszültség csökkenése jelzi a jármű jelenlétét. A három jelcsatorna (CO, CO₂ és referencia) mindegyikéből származó feszültségeket azelőtt veszik fel, hogy az autó belép a nyaládba, és minden csatornához nulla korrekciós feszültséget kap, miközben az autó teljesen blokkolja a sugarat. Amennyiben a jármű kilép a nyalábból, akkor 1 mp-es feszültség/idő jelet kapunk mindhárom csatornáról. Ha viszont egy másik autó belép a sugárba a mérés közben, ezzel megszakítva azt, a szoftver újra hasznosítja és elvégzi a mérést az új járművet az első autó elől kapott feszítávértékek felhasználásával. Az emissziós eredményeket úgy kapjuk meg, hogy kiszámítjuk a CO és CO₂ feszültségek és a referenciafeszültségek arányát, és ezeket a tetszőleges egységeket kalibrált CO és CO₂ értékekre skálázzuk a laboratóriumban meghatározott kalibrációs görbék segítségével. Az adatokat ezt követően a legkisebb négyzet módszerével elemezzük, amely meghatározza a

CO/CO₂ arányt. Viszont amennyiben a lineáris legkisebb négyzet módszer használatakor a függő és független változói egyaránt hibásak, akkor az eredmények is hibásak lesznek. A magas arány a nagy szennyezőanyagoknak, az alacsony pedig a tisztán égő járműnek felel meg. A számítógépes algoritmus minimális mennyiségű CO₂ határnál működik megbízhatóan. (Bishop 1989).



1. ábra: A detektorok és az optikai rendszer felépítése (Bishop 1989)

Ezt a mérési ötletet 1994-ben továbbfejlesztették azért, hogy a módszer ugyancsak tudott bizonyos távolságon belül CO és CO₂ mérésre, de itt még szénhidrogén kibocsátásának mérését is lehetővé tette, valamint szükségteenné vált a folyékony-nitrogén detektorok alkalmazása. Ezen kívül még további javulást értek el az általános jel-zaj viszony javításában. Nagyszabású változások történtek az érzékelőkben, az optikában és a kapcsolódó elektronikában. Ez a mérési módszer már négy Peltier-hűtésű ólomszelenid (PbSe) detektort használ. Egyet a referencia, másikat a CO, harmadikat a CO₂, negyediket pedig a HC mérésére. Felépítését a 2. ábra mutatja. Az elektromos hűtés alkalmazása a folyékony nitrogént szükségteenné teszi. Az optikai rendszer a reflektív előnyöket használja a fénytörő optika helyett, és motorizált 12 oldalú tükröt alkalmaz a sugárostók helyett. A sugárostók megszüntetésével lehetővé vált, hogy a jelek csupán egy részét

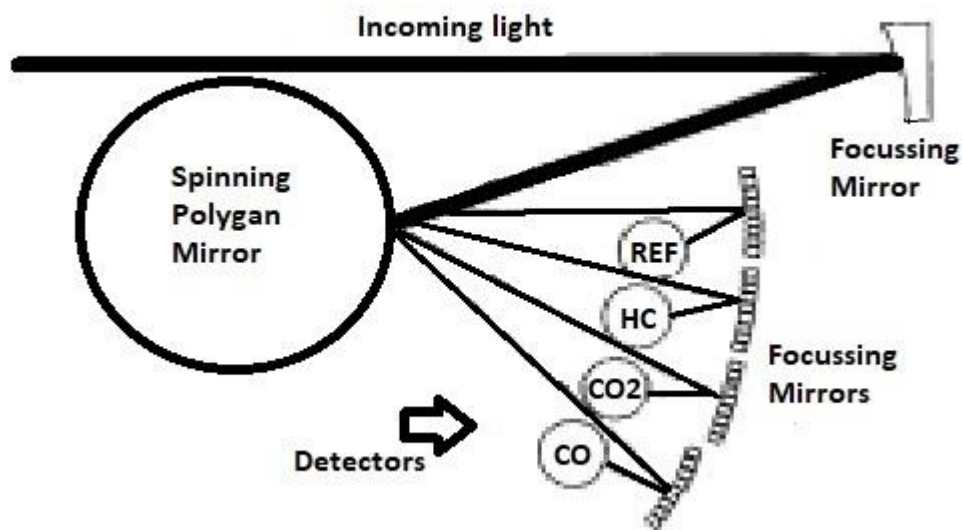
érzékeljék a detektorok. Egy gömb alakú, 2 hüvelyk átmérőjű f/6 tükör gyűjti össze a bejövő infravörös fényt. Az infravörös sugár egy 1Z oldalú sokszögű tükör felületére fókuszál, amely 12000 fordulat/perc fordulatszámmal forog, és hatékonyan fenntartja a 2400 Hz-es vágási frekvenciát. Egymás után négy gömbtükör (2 hüvelyk átmérőjű f/0,64) gyűjti össze a forgó tükör távoluló sugarát. A pásztázó sugarat a négy Peltier-hűtésű PbSe fotorezisztív detektorra fókuszálják. Az érzékelő és a szűrő hőmérsékletét visszacsatoló vezérléssel körülbelül -15 °C-on tartják. Ez a hőmérséklet a leghidegebb hőmérsékletet jelenti, amelyhez a detektor környezetét akár 38 °C-ig terjedő környezeti hőmérsékleten is szabályozni lehet.

A módszer következő lépése a kalibrációs görbe elkészítése. Olyan görbe kialakítására van szükség, amely leírja a kérdéses gáz ismert optikai mélységéből megfigyelt abszorpciókat. Ehhez egy 8 cm-es úthosszúságú infravörös cellához csatolt tömegáram szabályozókra volt szükség a CO, CO₂ és N₂ hígított propán koncentrációjának szabályozására. A kalibrációs méréseket 10 különböző koncentrációnál végezték.

A harmadik lépés a szénhidrogének abszorbancia mérése volt spektrofotométerrel. A műszer referenciadetektorának választott sávot 2577 cm-ben helyezték el, mert azt várták, hogy a légkörben vagy a motor kipufogógázában egyetlen részecske sem abszorbeál ebben a tartományban. A célja az volt, hogy a mérési eredmények reprodukálhatóak legyenek, ez azonban problémába ütközött azáltal, hogy az üzemanyagban és a kipufogógázban jelenlévő molekulák sokfélesége és változatos abszorpciós spektruma miatt azonban egyetlen hullámhossz sem képes pontosan reprezentálni a jármű kipufogógázában lévő összes molekulát, vagy akár a teljes széntartalmat. A lángionizációs detektorokat a gépjárművek tanúsítási vizsgálataihoz használják; ezek azonban hozzávetőlegesen szénszámlálók, és nem érzékelik a reakcióképességet vagy a toxicitást. Így még ha sikerül is találni egy olyan hullámhosszt, amely pontosan egy lángionizációs detektornak megfelelő mérési eredményeket ad, az adatok nem jósolják meg megfelelően az ózonképződést vagy az úgynevezett „levegő mérgező hatásokat”, mivel a különböző kipufogógáz-molekulák szénatomonkénti reakcióképessége és toxicitása változó. Továbbá a vízgőz okozta interferencia pozitív irányú kilengést okoz a mérési eredményekben (Geunther 1995).

Jól látható, hogy ez a fajta mérési forma sajnos nem képes stabil és reprodukálható eredményeket biztosítani, függ a környezeti hatásoktól és a kipufogógáz

károsanyagtartalmánál jelentkező páratartalom befolyásolja a mérés végeredményét. Feltehetően nem a legmegfelelőbb az egyes személygépjárművek károsanyag kibocsátását a környezetben mérni, ennél lényegesen pontosabb eredményeket kap az ember, a jármű kibocsátását laboratóriumi körülmények között vizsgálja és a mérés szempontjából nem kívánatos környezeti hatásokat szűri.

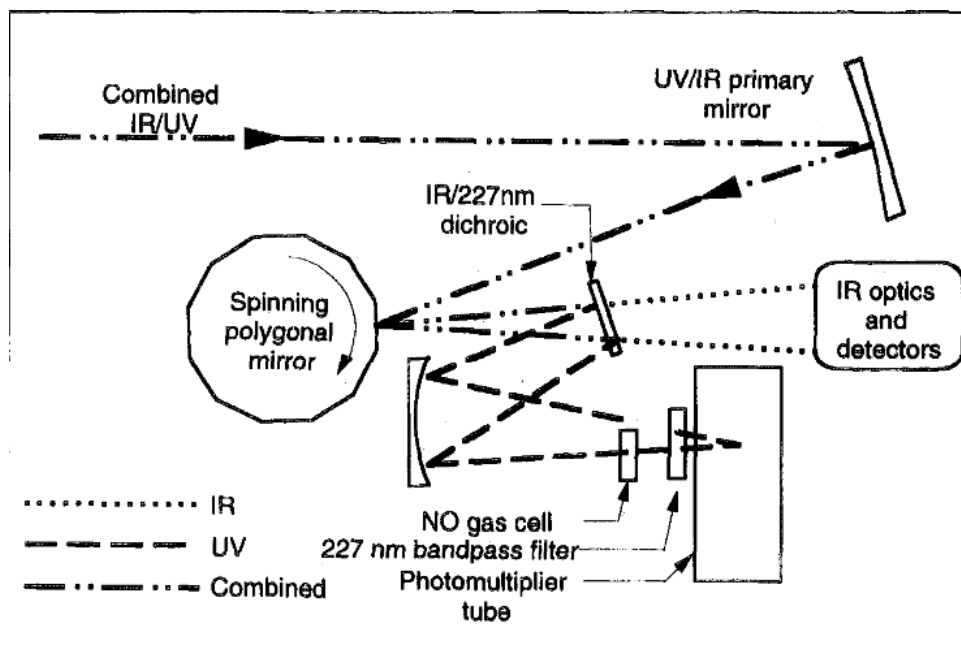


2. ábra: A FEAT (University of Denver CO távérzékelője mozaikszóval) HC-csatornát tartalmazó optikai komponenseinek ábrája. (Geunther 1995)

2.5.2. Nem diszperzív ultraibolya spektroszkópia

Az 1990-es évek második felében további kutatásokat végeztek. A Denveri Egyetem által kifejlesztett CO, HC távérzékelő rendszerbe integráltak egy Nitrogén-monoxid (NO) detektort is. Az NO távérzékelésére ultraibolya (UV) forrás és detektor beépítésével vált lehetségessé. A kipufogócsőben lévő vízgőz interferenciájának kiküszöbölésére olyan UV-abszorpciós csúcsot választottak ki, amellyel ez elkerülhetővé vált (227 nm). Mivel a kipufogógáz nagyrészen NO-ból áll, így gyakorlatilag megkapjuk a NO_x értéket, amennyiben a NO_2 -t elhanyagolhatónak tekintjük. A NO detektorral ellátott rendszer sematikus felépítésének vázlatát a 3. ábra mutatja. A deutériumlámpa UV-sugarát egy sugárosztó egyesíti az infravörös sugárral, így kollimált IR-UV sugarat állítanak elő. Ezt követően a párhuzamos IR és UV fény a tizenkét oldalú tükörre fókuszál, amely 12000

fordulat/perc sebességgel forog, és 2400 Hz-es vágási frekvenciával dolgozik. A forgó sokszögű tükör irányítja a fényt a négy infravörös csatornán és a két UV-csatornán (jel és referencia) keresztül. Ezzel lehetővé teszi, hogy minden detektor az idő egy részében teljes erősségű jelet kapjon. Az UV-csatorna felé irányuló fényt egy dikroikus tükör 227 nm-en az UV-fényt visszaveri, az infravöröset pedig továbbítja. Így elválasztva az UV-fényt az IR-től. Az UV-fényt ezután tükrön keresztül irányul úgy, hogy a sugár egy része egy 3,2 mm-es, lezárt kvarc referenciacellán halad át, míg a sugár egy másik része megkerüli a cellát. Ezért az NO-ra egy referenciajelet és egy mérési jelet is érzékel. A referenciacella ismert NO-koncentrációt tartalmaz, amely sokkal magasabb, mint a jármű kipufogógázának lehetséges koncentrációja. A referenciacella feladata kettős célt szolgál. Az egyik az UV-fényforrás instabilitásából és a műszervibrációból eredő zaj csökkentése, a másik pedig a 227 nm-hez közeli hullámhosszon elnyelt kipufogógáz aromás szénhidrogének olyan interferenciáinak kiküszöbölése, amelyeket egyébként a detektor a fényforrás miatt felfogna. A fény ezután egy interferenciaszűrőn át a fotomultiplier csőre (PMT) jut. Az NO detektálására használt szoftver a mért jelet NO optikai mélységgé konvertálja egy laboratóriumi kalibrációs egyenlet segítségével. A NO és a CO₂ optikai mélysége közötti korreláció az idő függvényében lehetővé teszi a NO/CO₂ arány meghatározását. Az arányt ezután a kipufogógáz NO-koncentrációjára konvertálják, a vízre és a levegőfeleslegre korrigálva. A szoftveralgoritmus által használt NO-kalibrációs egyenletet úgy határozták meg, hogy megmérték a NO-abszorpciós jelet a NO-koncentráció függvényében egy 8 cm hosszú és 5 cm átmérőjű áramlási cellában. Az NO és az N₂ hígítóanyag áramlását tömegáram-szabályozóval állították be. Az egyenlet lineáris a jármű kipufogógázára jellemző 1-5000 ppm (rész/millió) tartományban. A helyszíni kalibrálást lezárt cellával vagy hitelesített gázpalackkal lehet elvégezni, amely ismert CO, CO₂/propán és NO koncentrációkat tartalmaz (Zhang 1996).



3. ábra: A nitrogén-monoxid távérzékelő optikai útja (Zhang 1996)

Korábbi verzió továbbfejlesztett változataként ugyan nagy előrelépést tett a mérések pontossága és a kalibrációs problémák megoldása felé. Végre megtörténtek a lépések a páratartalom mérés szempontjából károsan befolyásoló jellegének kizorítására a mérésekből.

2.5.3. Hangolható infravörös dióda lézer abszorpciós spektrométerek (TIDLAS)

Még az ezredforduló előtt kifejlesztettek egy olyan kiváló érzékenységgel és 3 ppmv (térfogat milliomod rész) mérési pontossággal rendelkező ideális körülmények közötti kipufogógáz szennyezőanyagainak mérésére használható módszert, amely képes a NO, N₂O, NO₂, CO, NH₃, H₂CO, CH₃OH és más kisebb molekulák detektálására is. Ez a hangolható infravörös lézer differenciáelnyelés spektrométer (röviden TILDAS) elnevezést kapta. A rendszer forrás-detektor platformot és fényvisszaverőt használ. Gyakorlati alkalmazásában fény derült arra is, hogy képes mérni az egyes járművek károsanyagkibocsátását országúti sebességnél.

A TILDAS távérzékelő műszer úgy méri a járművek szennyezőanyag-kibocsátását, hogy két egymást átfedő infravörös lézersugarat küld ki a kipufogócsövekhez. A lézerek egyidejűleg mérik a NO- és CO₂-kibocsátást magas érzékelési érzékenységgel és nagy

időbeli felbontással. A kétszínű spektrométer sugárosztó segítségével két dióda lézersugarat társít. A két nyaláb ezért ugyanazt az utat járja be, és a kipufogócsóva azonos részeiből veszi a mintákat. Mindkét lézert ugyanaz a detektor figyeli, amikor visszatér az optikai asztalhoz. Jeleiket a lézerek gyors időbeli multiplexelése különbözteti meg, így egy adott pillanatban csak egy lézer kapcsol be. A CO₂ referenciagázként történő felhasználása lehetővé teszi a kipufogógáz-fajták mennyiségi mérését a kipufogógáz helyének vagy a hígítás mértékének ismerete nélkül. Mivel a kipufogócsőben lévő összes gáz turbulens diffúzióval együtt szállítódik, a mért NO és CO₂ oszlopsűrűség aránya a NO emissziós indexét adja meg. Az emissziós index egyszerűen az NO-molekulák száma CO₂-molekulánként a kipufogócsőben. Ez a műszer által mért alapvető mennyiség. A mért emissziós index segítségével meghatározhatjuk a közúti járművek kipufogógázában lévő NO koncentrációját. Mivel a benzin teljes égése ismert CO₂-koncentrációt eredményez, a jármű kipufogógázának NO-koncentrációja (rész per millió méterben vagy ppm-m-ben) a következő módon határozható meg:

$$[NO] = \frac{NO \text{ (ppm - m)}}{CO_2 \text{ (ppm - m)}} \cdot [CO_2]$$

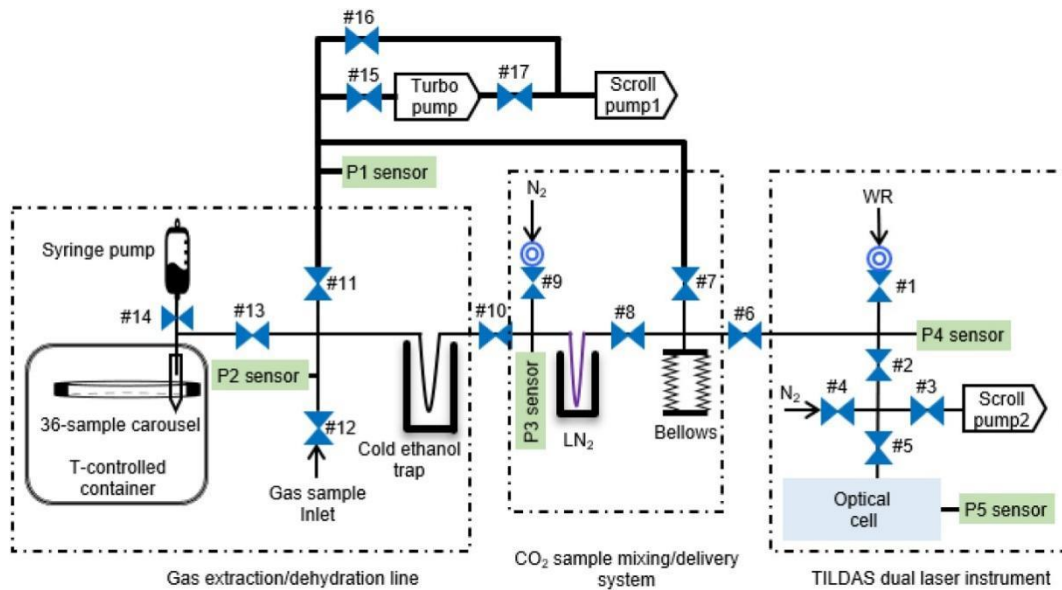
1. Képlet: NO koncentráció

ahol [CO₂] a benzin sztöchiometrikus elégetése során keletkező szén-dioxid koncentrációja. Az emissziós index könnyen átváltható gramm NO egység üzemanyag egységre, ami felhasználható az üzemanyagalapú kibocsátási leltáraknál. Ha egy hordozó nagy koncentrációban termel CO-t, a fenti kifejezés túlbecsüli az NO-koncentrációt. Ez általában nem jelent jelentős problémát, de ha a CO-koncentrációt is megmérnénk, akkor az emissziós indexet ehhez lehetne korrigálni. Az Aerodyne Researchnél fejlesztés alatt álló négy lézeres TILDAS műszer legalább négy fajta anyag egyidejű mérését teszi lehetővé, és ezért kiküszöböli ezt a nehézséget a NO, a CO₂ és a CO egyidejű monitorozásával.

A műszer optikai modulja az 4. ábrán látható. Kompakt kialakítású, a kialakítást megkönnyíti a két lézerdiodát és a két detektordiodát tartalmazó folyékony-nitrogén dewar alkalmazása. Ez a dewar kiváló alternatívát kínál a különálló dewar detektorral és hélium hűtőfejjel rendelkező rendszerek számára, különösen terepi alkalmazásokhoz. A Dewarban lévő lézerdiodák mindegyikéből származó infravörös fényt visszaverő mikroszkópobjektív (15×) gyűjti össze, és egy 200 µm-es tülyukra fókuszálja, amely meghatározza a bemeneti

apertúrát. Ezt a túlyukat csak az igazítás során használják, ezért eltávolítható, kinematikailag indexelt alapra van ráerősítve. A mikroszkóp objektív X-Y-Z fordítóra van felszerelve, hogy lehetővé tegye a pontos fókuszálást a rögzített rekesznyílásba. A bemeneti nyílásokon túl a két infravörös sugár kollimálódik és kombinálódik a fősugárosztón. A sugárosztó egyik szárát (a „referencia láb”) egy gázkalibrációs cellán keresztül egy detektorra irányítják. Az ezen a cellán áthaladó fény erős abszorpciós jellemzőkkel rendelkezik, amelyeket a spektrális vonalak helyzetének azonosítására és rögzítésére használnak. A referencialáb egy rácsos monokromátoron is áthalad, mielőtt a detektorra fókuszálna. A monokromátor hasznos a dióda hullámhosszának azonosítására a műszer beállítása során. A „jelzőláb” egy pár lapos tükörre és egy nagy, kardángyűrűre szerelt kormánytükörre irányul, amely a sugarat az asztalról és az úttesten át egy sarokkockás fény visszaverőhöz irányítja. A visszatérő sugarat a nagy kormánytükör és egy hasonló átmérőjű görbe tükör összegyűjti, több lapos tükörön is átengedi, végül a jelsugár detektorra fókuszálja. Egy okulár a visszatérő sugár útjába ejthető, így megfigyelhető és optimalizálható a kimenő jelsugár iránya. Miközben ezen a szemén keresztül néz, a kezelő egyidejűleg beállíthatja a kardántengelyre szerelt kormánytükört, hogy a sarokkocka képe az okulár hajszálkeresztjére kerüljön. Számos körülmény között a HeNe „nyomlézer” szórt fénye látható a sarokkocka arany felületén, amely megmutatja az optikai sugár pontos helyét a sarokkockánál. Az igazításhoz és beállításhoz párhuzamos látható optikai rendszert alkalmaznak. A vörös HeNe „nyomkövető” lézersugár áthalad egy dikroikus sugárosztón, és egybeesik az infravörös sugárral. Az összhangot a sugár bemeneti nyíláson keresztül történő fókuszálása garantálja. A nyomnyaláb nélkülözhetetlen segédeszköz az optikai rendszer beállításához. Ezenkívül a nyomnyaláb a monokromátor pontos kalibrálására szolgál magasabb rendű diffrakción keresztül. A dikroikus sugárosztó negyedik portja a lézerdióda látható megfigyelésére használható. A túlyukhoz konjugált pozícióba szerelt lencse hatékony mikroszkópot alkot a lézerdióda megtekintésére (Nelson 1998).

Ez a mérőrendszer már nagy előrelépést jelentett azzal, hogy több anyag egyidejű mérésére is alkalmas volt ezáltal gyors képet kapva a kibocsátott káros anyagokról a pipufogó csőből. Azzal egyetérttek, hogy pontosabb a párhuzamos időben való mérésével, azonban a környezeti áramló pára továbbra is a mérés pontatlanságához vezethet.



4. ábra: A kettős lézeres TILDAS optikai elrendezése (Nelson 1998)

2.5.4. Hordozható kibocsátásmérő rendszerek (PEMS)

A hordozható kibocsátásmérő rendszer képes teljes és pontos valós idejű monitorozásra a motorok által kibocsátott környezetszennyező anyagokról (THC, CO, CO₂, NO_x és PM). Valós közúti és terephasználati körülmények között is üzemel. A legtöbb ilyen rendszer egyik jelentős hátránya, hogy a nagy teljesítményű dízelmotorok károsanyag-kibocsátásának mérését célozták meg utókezelés nélkül (pl. a kipufogógáz katalitikus kezelése). Kérdéses, hogy ezek a rendszerek alkalmasak lennének-e olyan könnyű és közepes teljesítményű dízeljárművek kibocsátásának mérésére, amelyek már rendelkeznek vagy hamarosan lesznek oxidációs katalizátorrendszerekkel és dízel részecskeszűrőkkel. A SemtechD a dízel emisszió mérési folyamat egyedi igényeire lett optimalizálva. Fűtött mintavevő vezeték és beépített fűtött részecskeszűrőt, fűtött lángionizációs detektort (FID) és környezeti hőmérsékletű (száraz) gázelemzést használ a szén-monoxid (CO), szén-dioxid (CO₂) és NO_x mérésére. A SemtechD szabadalmaztatott nem diszperzív infravörös (NDIR) gázelemző detektort használ a CO és CO₂ mérésére, valamint egy szabadalmaztatott UV abszorbancia detektorrendszert a nitrogén-monoxid (NO) és a nitrogén-dioxid (NO₂) mérésére. A teljes rendszer független 12 V-os egyenáramú táprendszeren működik. A rendszer saját belső FID tüzelőanyag-ellátással rendelkezik, és a pontosság érdekében nullázást és megfelelő gázokkal történő feszítést igényel. A fedélzeti GPS-vevő másodpercről másodpercre képes meghatározni a jármű helyzetét, és a környezeti időjárás adatok is gyűjthetők páratartalom-, nyomás- és hőmérsékletszondák

segítségével. Az összes adatot egy cserélhető kompakt kártyára gyűjtik vesszővel tagolt ASCII formátumban, hogy importálják őket Excelbe vagy más táblázatkezelő programokba. A SemtechD nyers kimenete 1 Hz-es THC, CO, NO_x, CO₂, O₂ koncentrációadatok és további (felhasználó által választható) adatok. Az egyes analizátorok tényleges adatgyűjtési sebessége változó; a CO és CO₂ NDIR mérése 1,2 másodpercenként történik, az UV NO_x mérések névlegesen 1 Hz-esek, és a FID adatokat 10 Hz-en gyűjtik, majd szoftveres algoritmussal interpolálják 1 Hz-re. A SemtechD szoftvere felhasználhatja a kipufogógáz-mérő rendszer adatait vagy a felhasználó által biztosított motorleképezési adatokat (sebesség/terhelési görbe) tömegalapú (gramm/sec vagy gramm/mi) vagy motorterhelésspecifikus kibocsátási adatok előállításához (gramm/bhp·óra). Az üzemanyagfogyasztás és az egyéb üzemi változók is kiszámíthatók a program segítségével. Ehhez a teszteléshez csak koncentráció-kimeneti adatokat használtak (Dearth 2005).

A nehézgépjárművekre jelenleg hatályos homologizációs jogszabályok (Euro VI). Az erre, valamint más járműcsoportokra vonatkozó jövőbeni vizsgálati eljárásokra vonatkozó beharangozott javaslat tartalmazta a tényleges vezetési körülmények között végzett vizsgálatok alkalmazását. Az ilyen típusú kutatásokhoz azonban technológiailag fejlett berendezésekre (PEMS) van szükség, amelyet egyre gyakrabban ajánlanak portfóliójukban az autóiipari mérőeszközök gyártói (AVL List GmbH, Horiba Ltd. és Sensors Inc.). Az ilyen típusú berendezések különböző üzemanyagokkal, például benzinnel, dízelüzemanyaggal, CNG-vel, LPG-vel vagy oxigéntartalmú üzemanyagokkal üzemelő gépek és járművek tesztelésére használhatók. Ehhez speciális szűrők vagy kipufogógáz-hígítók alkalmazása is szükséges. Emellett a tárgyalt berendezést magas mintavételi frekvencia jellemzi – minimum 1 Hz és eléri az 500 Hz-et pl. nagy sebességű kipufogógáz áramlásmérő (EFM-HS). A tényleges üzemi körülmények között gyorsan változó motorparaméterek és az utókezelő rendszerek fejlődése miatt a berendezést nagy mérési pontossággal kell jellemezni. A környezeti feltételek (nyomás, hőmérséklet, páratartalom) rögzítése is szükséges, mivel ezek nagy hatással vannak a mért értékekre, emiatt további korrekciós számítások szükségesek. Ezért az említett mérőberendezések gyakran tartalmazznak ilyen eljárásokat végrehajtó megoldásokat (érzékelőket, algoritmusokat). Ráadásul a berendezést alacsony energiafogyasztással, kis tömeggel és mérettel kell jellemezni, nem beszélve a nagy megbízhatóságról. Az adott típusú hajtásláncok és a városi buszok mozgási paramétereinek környezeti mutatókra gyakorolt hatásának teljes körű elemzéséhez a következőket használtuk: SEMTECH DS (kipufogó

komponens koncentráció, oxigéntartalom kipufogógáz tömegáram), valamint AVL. MSS (a PM koncentrációjának meghatározására szolgál). Ez a mérőberendezés egy egyedülálló elemzőkészlet, amely lehetővé teszi a járművek energiafogyasztásának és környezeti teljesítményének meghatározását a tényleges üzemi körülmények között:

- SEMTECH DS – gázhalmazállapotú kipufogógáz-komponensek tesztelésére tervezték: NDIR: CO [%], CO₂ [%]; FID: THC [ppm]; NDUV: NO [ppm], NO₂ [ppm] és elektrokémiai O₂ [%];
- AVL MSS (Micro Soot Sensor) – a PM [mg/m³] koncentrációjának fotoakusztikus módszerrel történő kiszámítására szolgál;
- TSI 3090 EEPSTM (Engine Exhaust Particle SizerTM spektrométer) – lehetővé teszi a PM [nm] méreteloszlásának meghatározását;
- SEMTECH ECOSTAR (3. ábra) – lehetővé teszi mind a gáz-halmazállapotú összetevők, mind a részecskék mérését (tömeg és szám);
- AVL OTR (On The Road) FÜGGÉSMÉRŐ – a kipufogógáz átlátszatlanságának [%] tesztelésére szolgál; és
- SEMTECH LASAR – lehetővé teszi a kipufogógáz tartalmának meghatározását, beleértve az NH₃, N₂O, CH₄ [ppm] mennyiségét. A kiegészítő elemzők a következők: SEMTECH PPMD, SEMTECH LAM, AVL M.O.V.E., SEMTECH NMHC, AVL Részecskeszámláló, TEXA NAVIGATOR TXT és AVL INDIMICRO. (Merkisz 2018)

2.5.5. Részecskemérési program (PMP)

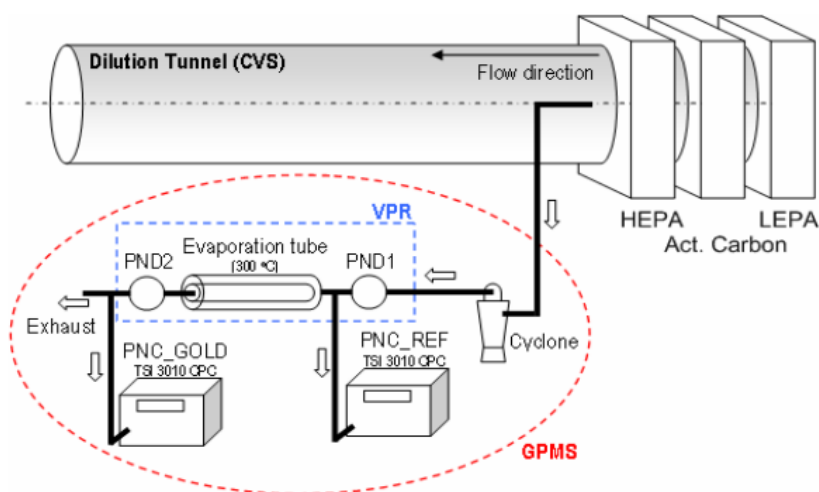
A PMP laboratóriumok közötti korrelációs gyakorlatait úgy alakították ki, hogy lehetővé tegyék a PMP 1. és 2. fázisú vizsgálatok után javasolt rendszerekkel végzett részecskeszám- és tömegmérések megismételhetőségének és reprodukálhatóságának értékelését. A kis teljesítményű gyakorlat magában foglalja a tesztprotokoll tervezet (DR83) robusztusságának értékelését, valamint több, a DR83 mérési rendszer követelményei szerint kifejlesztett és megépített alternatív mérési rendszer értékelését is. A típus-jóváhagyási szabványok szerint vizsgált tranziens ciklusok során legalább 5 ismételt mérést végeztek minden egyes vizsgált járművön minden laboratóriumban. Referenciaként az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontjának (JRC) az olaszországi Isprában található laboratóriumai végezték el az első, egy közbenső készletet és az utolsó vizsgálatot a laboratóriumok sorrendjében. A JRC-vel együtt 9 különböző laboratórium vett részt 11 mérési sorozatban. Egy referencia „Golden Vehicle”-t használtak „átadási szabványként”: egy Peugeot 407 2.0 HDi dízelautót, amely OEM dízelrészecskeszűrővel (DPF) és aktív regenerációs rendszerrel, valamint „arany részecskemérő rendszerrel” (GPMS) van felszerelve. A Laboratóriumok közötti korrelációs gyakorlatot a Laboratóriumok közötti útmutató LD_ILG előírásai szerint végezték. Tartalmazza a szűrő alapú részecsketömeg-méréseket és a valós idejű részecskeszám-méréseket is, amelyeket párhuzamosan kell végrehajtani könnyű tehergépjárműveken tranziens körülmények között, futóműdinamométeren. A használt vezetési ciklus az új európai vezetési ciklus (NEDC) volt. A szabályozott gáz-halmazállapotú kibocsátások mérése a részecske- és részecskekibocsátással egy időben történt, a bevett szabályozási mérési technikák alkalmazásával. Egy teljes áramlású elsődleges alagútból álló, állandó térfogatú mintavevővel (CVS) rendelkező módosított szabványos kipufogógáz-hígítórendszert használnak kiindulási pontként a vizsgálatok során mind a tömeg-, mind a darabszám-mintavételhez. A kipufogógáz elsődleges hígításához használt hígítólevegőt a CVS-ben szénnel átmoszák, majd egy másodlagos szűrőn (HEPA típusú) engedik át, hogy eltávolítsák a részecskéket és a részecskeprekurzorokat, és biztosítsák a nagyon alacsony háttérrel, amely szükséges a nagyon alacsony kibocsátás méréséhez. DPF-fel szerelt dízel járművek. Előkondicionálási protokollokat alkalmaznak annak biztosítására, hogy a vizsgálatból a vizsgálatba és a járműről a járműre történő átviteli hatások minimálisra csökkenjenek (Andersson 2007).

2.5.6. Aranyrészecske mérőrendszer

Az ILCE_LD-n belül alkalmazott részecskeszám-mérő rendszert Golden Particle Measurement System (GPMS) néven ismerik. A Golden Vehicle-hez és a Golden Engineer-hez hasonlóan a rendszert is csak annyiban írják Goldennek, hogy belső szabványt képvisel, amely kapcsolatot teremt a különböző laboratóriumokban végzett vizsgálatok között, és folyamatosságot biztosít a tesztprogramon belül. A DR83 leírja a mérőrendszer javasolt teljesítményét a szabályozási mérésekhez. Az ILCE_LD kezdetekor, és az LD_ILG-ben is megjegyezték. Várható volt, hogy a GPMS teljesítménye esetleg nem felel meg a DR83 teljes követelményének, és hogy az ILCE_LD elindítása után kifejlesztett egyéb mérési rendszerek megegyezhetnek a GPMS-sel vagy meghaladhatják azt a teljesítményt. Mindazonáltal a GPMS bebizonyította, hogy gyakorlatilag az összes DR83 követelménynek eleget tesz, és hosszú ideig sikeresen tesztelték a járműtechnológiák széles skáláját. (Andersson 2007).

A részecskeszám-mérő rendszer fejlesztési filozófiája az volt, hogy lehetővé tegye egy jól meghatározott részecskék pontos, ismételhető és reprodukálható mintavételét egy nagyon alacsony háttérkörnyezet. Kíváncsún tartották továbbá a jelenlegi típus-jóváhagyási létesítmények szükséges változtatásainak minimalizálását, egy érthető mérőszám alkalmazását és a rendszer egyszerű működtetését. A rendszert a lehető legalacsonyabb részecskeveszteség elérése érdekében fejlesztették ki, hogy elkerüljék a korrekciós tényezők esetleges követelményét. (Andersson 2007).

A mintavételi rendszer felépítésének vázlata az 5. ábrán látható.



5. ábra: Az aranyrészecske-mérőrendszer vázlata (Andersson 2007)

A mintavételi rendszer a következőket tartalmazza:

Hatékony hígítólevegő-szűrés:

Szabványos teljes áramlású CVS, amely rendkívül hatékony hígítólevegő-szűrőkkel van felszerelve részecskék és szénhidrogének számára, amely közel nullára csökkenti a hígítólevegő részecske-hozzájárulását

Előzetes mérés/besorolás:

Mintavevő szonda és ciklon előosztályozó, amely megvédi az alsó rendszer elemeket a részecskeszennyeződéstől, és a részecskeméret névleges felső mérethatárát 2,5 µm-ben határozza meg.

Forró hígítás:

Első részecskeszámú hígító (PND1), amely a minta aeroszolt 150°C-ra melegíti fel hígítás közben az illékony részecskék elpárologtatása és a gázfázisú részecskék parciális nyomásának csökkentése érdekében, hogy megakadályozza a visszacsapódást a hígító kimeneténél.

Bepárlás és hideghígítás:

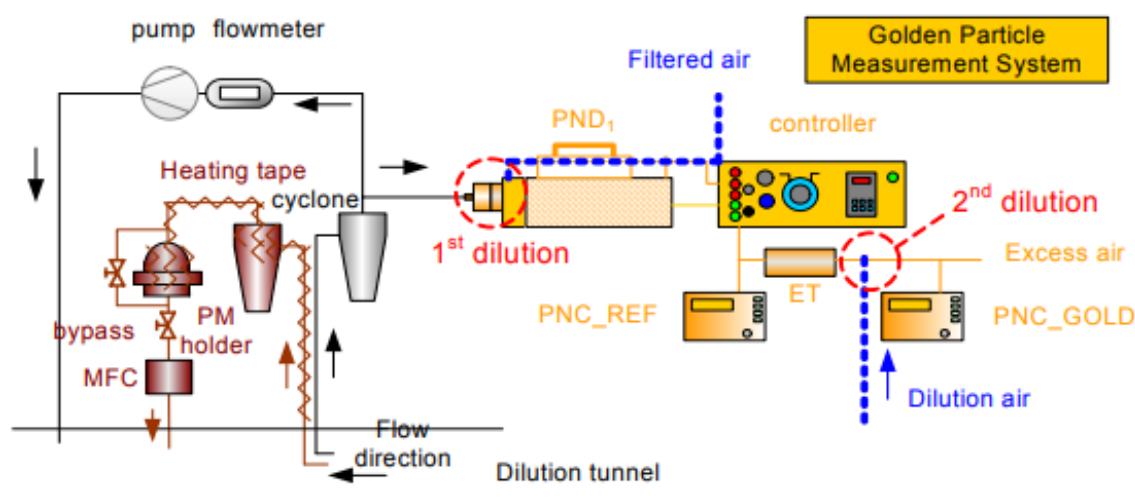
Alacsony részecskeveszteségű, külsőleg fűtött bepárló cső (ET), amelyben a mintát 300°C-ra melegítik és kb. 0,2 másodpercig tartják, miközben a félig illékony részecskéket elpárologtatják. Az aeroszolban e pont után visszamaradt részecskék „szilárd” részecskéknek minősülnek. A „szilárd” részecskék definíciója analóg a szabályozott gázhalmazállapotú szénhidrogének meghatározásával: olyan anyagokként határozzák meg, amelyek lángionizációs detektorral (FID) mérve a 192 °C-ra melegített szűrő után.

Közvetlenül az ET-ből való kilépés után a minta egy második részecskeszám-hígítóba (PND2) kerül, ahol hígítással hűtik: a gázfázis - 8 - parciális nyomását tovább csökkentik, hogy megakadályozzák a rekondenzációt, a jelenlévő részecskék koncentrációja szabályozható, pl. hogy 104 cm³ alattiak és a termoforetikus veszteségek minimálisak.

Részecskeszám számolás:

Egy részecskeszám-számláló (PNC_GOLD) szigorúan ellenőrzött számlálási hatékonysági görbével fogadja a mintát, amint az kilép a PND2-ből. Ez ~23nm névleges

alsó határt állít be a mért mérettartományhoz. A szigorúan ellenőrzött számlálási hatékonysági görbe szükségesnek tekinthető, hogy kizárja a mérési adatok esetleges összezavarását az alacsony illékonyságú szénhidrogének miatt, amelyek 20 nm alatti gócképződési módban nyilvánulnak meg, miközben figyelembe veszi a ~20 nm-es elsődleges szénagglomerátum méretét. Az ILCE_LD esetében egy második, névlegesen azonos részecskeszámlálót (PNC_REF) helyeztek el a PND1 és az ET között. Az ebből a műszerből származó adatok vizsgálata lehetővé teszi az ET funkciójának értékelését. A PNC_GOLD és a PNC_REF összehasonlítása lehetővé teszi mindkét PNC egység érvényes működésének megerősítését. A GPMS és a leggyakrabban tesztelt tömegmérő rendszer további vázlatát a 6. ábrán látható. Megjegyzendő, hogy bár ezen az ábrán a PM mintavevő szondát a számszonda után kell elhelyezni, ezek valójában párhuzamosan helyezkedtek el.



6. ábra: GPMS és tömegrendszerek komponensei (Andersson 2007)

A transzfer és mintavételi komponensek mérőrendszerrel együtt történő szállításával elkerülhetőek voltak a GPMS teljesítményének esetleges eltérései a tesztlaboratóriumokban a telepítési különbségek miatt. Emiatt a mintavevő szonda és a szonda és a PND1 közötti átviteli távolság az egyetlen valódi különbség a laboratóriumok telepítései között (Andersson 2007).

2.5.7. Tényleges emissziós vizsgálati eljárás (RDE)

A könnyű járművek (LDV) emissziós tanúsításához világszerte különféle menetciklusokat és típus-jóváhagyási vizsgálati eljárásokat alkalmaznak. Például Európában a New European Driving Cycle-t (NEDC) használják a tanúsításhoz, míg a JC 08 ciklust Japánban. A meglévő vezetési ciklusok reprezentativitásukban és teljességükben különböznek egymástól, vagy más szóval abban, hogy képesek statisztikailag reprezentálni a valós viszonyokat és sokféleséget. Az NEDC egy hidegindításos vezetési ciklus, amelyet az összes Euro 3-as és későbbi LDV-k emissziós típusjóváhagyására használnak Európában, és azért kritizálták, mert nem reprezentálja a járművek valós működését.

A JC 08 zsúfolt városi forgalomban való vezetést reprezentálja, beleértve az alapjáratú időszakokat és a gyakran váltakozó gyorsításokat és lassításokat, de nem vonatkozik az autópályás vezetési viselkedésre. Számos tanulmány kimutatta, hogy a tényleges közúti károsanyag-kibocsátás és üzemanyag-fogyasztás lényegesen magasabb lehet, mint a hitelesített vizsgálólaboratóriumokban végzett alvázfékpadon végzett típus-jóváhagyási vizsgálatok során jelentett értékek. A CADC (Common Artemis Driving Cycle) egy valós szimulációs vezetési ciklus, amely célja, hogy az átlagos európai vezetési viszonyokat képviselje. Tanulmányok kimutatták, hogy nagyobb dinamikája az NEDC-hez képest magasabb károsanyag-kibocsátást is eredményezett. Ezenkívül a személygépkocsik kibocsátása az újonnan kifejlesztett Worldwide Motorcycle Test Cycle (WMTC) során mérve közelebb állt a valós vezetési kibocsátáshoz. Hordozható kibocsátásmérő rendszereket (PEMS) is kifejlesztettek és használtak az előre kiválasztott útvonalakon való valós vezetés közbeni kibocsátások mérésére. Ezek a közúti kibocsátási tesztek azt mutatták, hogy a jelenlegi laboratóriumi kibocsátási vizsgálatok nem képesek megbízhatóan rögzíteni a közúti kibocsátást, különösen a nitrogén-oxidok (NO_x) esetében. Ezért a világ számos országában növekvő érdeklődés egy új vezetési ciklus és vizsgálati eljárás kidolgozása iránt, amely jobban reprezentálja a valós vezetési körülményeket és a károsanyag-kibocsátást. Az ENSZ Európai Gazdasági Bizottságának (UNECE) Járműszabályok Harmonizációs Világfóruma (WP. 29) a környezetszennyezéssel és energiával foglalkozó munkacsoportján (GRPE) keresztül 2009-ben projektet indított azzal a céllal, hogy világszerte harmonizált kis teljesítményű tesztciklus (WLTC) és vizsgálati eljárás (WLTP). Két munkacsoportot hoztak létre; az első csoport a harmonizált ciklus (DHC) fejlesztéséért, a második csoport pedig a vizsgálati eljárások (DTP) fejlesztéséért felelős.

A JRC mindkét csoportban mélyen részt vett, a *Tutuianu és munkatársai* által részletesen leírt új tesztciklus tervezésében, validálásában és felülvizsgálatában, valamint az új vizsgálati eljárások fejlesztésében, tesztelésében és beállításában. Ebben az időszakban, 2010 és 2015 között, a JRC számos olyan járművön tesztelte az új tesztciklus és vizsgálati eljárás különböző változatait, amelyeket szintén NEDC-körülmények között teszteltek. Az eredmény egy figyelemre méltó mennyiségű kísérleti adat a szabályozott gáz-halmazállapotú szennyező anyagok és üzemanyag-fogyasztás tekintetében több mint 20 járműben. A kísérleti kampány során rendszeresen végeztek részecscketömeg (PM) méréseket, azonban semmi említésre méltót nem találtak, mivel a dízeljárművek többsége Euro 5-ös volt, így dízel részecskeszűrővel (DPF) felszereltek. Eddig nagyon korlátozott számú kísérleti eredmény jelent meg, amelyek a WLTP bevezetésének a gáz-halmazállapotú kibocsátásra gyakorolt hatását értékelik, és ezek a vizsgálatok többnyire a CO₂-kibocsátásra irányultak (Moratta 2015).

3. Kipufogógáz elemző készülék vezérlési folyamatának tervezése

3.1. APCplus AVL részecskaszámláló mérési elve

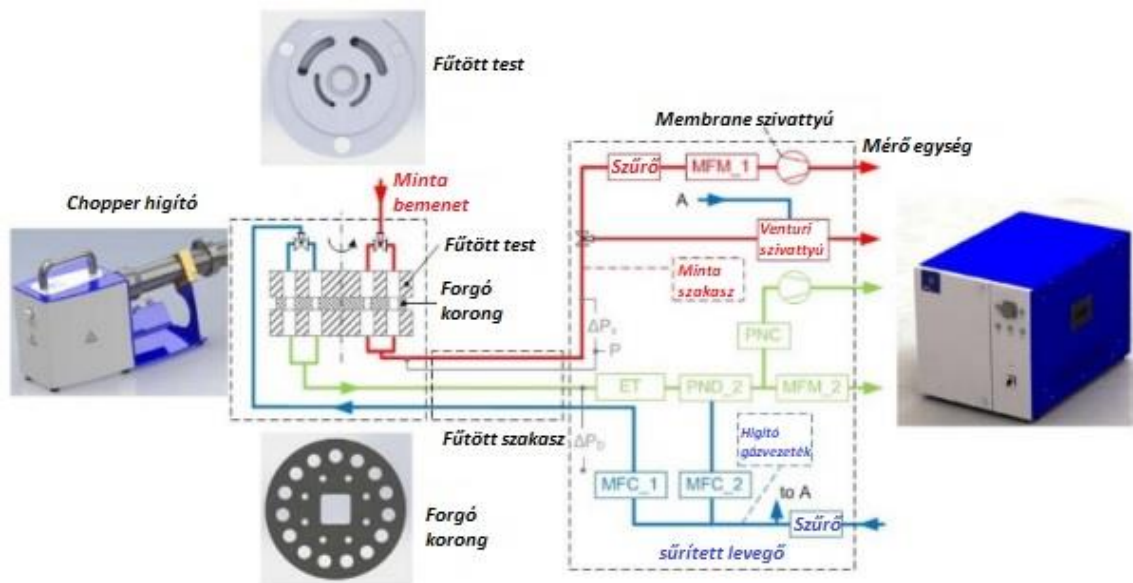
APCplus kipufogógáz vizsgáló berendezés képes arra, hogy pontos adatokat szolgáltatson adott dízelüzemű jármű kipufogórendszeréről. Ezen adatok alapján eldönthető, hogy a rendszer megfelel-e az EU-s károsanyagkibocsátással kapcsolatos előírásoknak.

A rendszerbe áramló kipufogógázt először HEPA szűrővel megszűrt sűrített levegővel hígítja (7. és 8. ábra) a berendezés elsődleges hígító része, majd az elpárolgató csőbe jut. Ebben a csőben a hígított kipufogógáz olyan mértékben felmelegszik, hogy az illékony emissziós komponensek elpárolognak és csak szilárd részecskék maradnak hátra. Következő lépésben ezt a gázt porózus csöves hígítóval ismét felhígítják és a részecskeszámlálóba juttatják. Itt butanolt kondenzálnak a kipufogógázban lévő részecskékre ezzel megnagyobbítva méretüket azok vizuálisan észlelhetővé válnak optikai mérőeszközzel. Ezután megtörténik a megnagyobbodott részecskék számlálása szórt fényimpulzusok alapján, melyek akkor keletkeznek mikor a részecskék áthaladnak az optikai mérő eszköz által kibocsátott lézersugáron. Ezzel a megoldással lehetővé válik a részecskék számának meghatározása.



7. ábra: A gép általam készített CAD modellje

Az alábbi ábrán a rendszer egyszerűsített folyamatábrája látható:



8. ábra: AVL folyamatábra (APCplus 2018)

Mintavételező: (Sample inlet)

Kipufogó gáz beáramlásának helye.

Forgó tárcsa: (Rotaring disc)

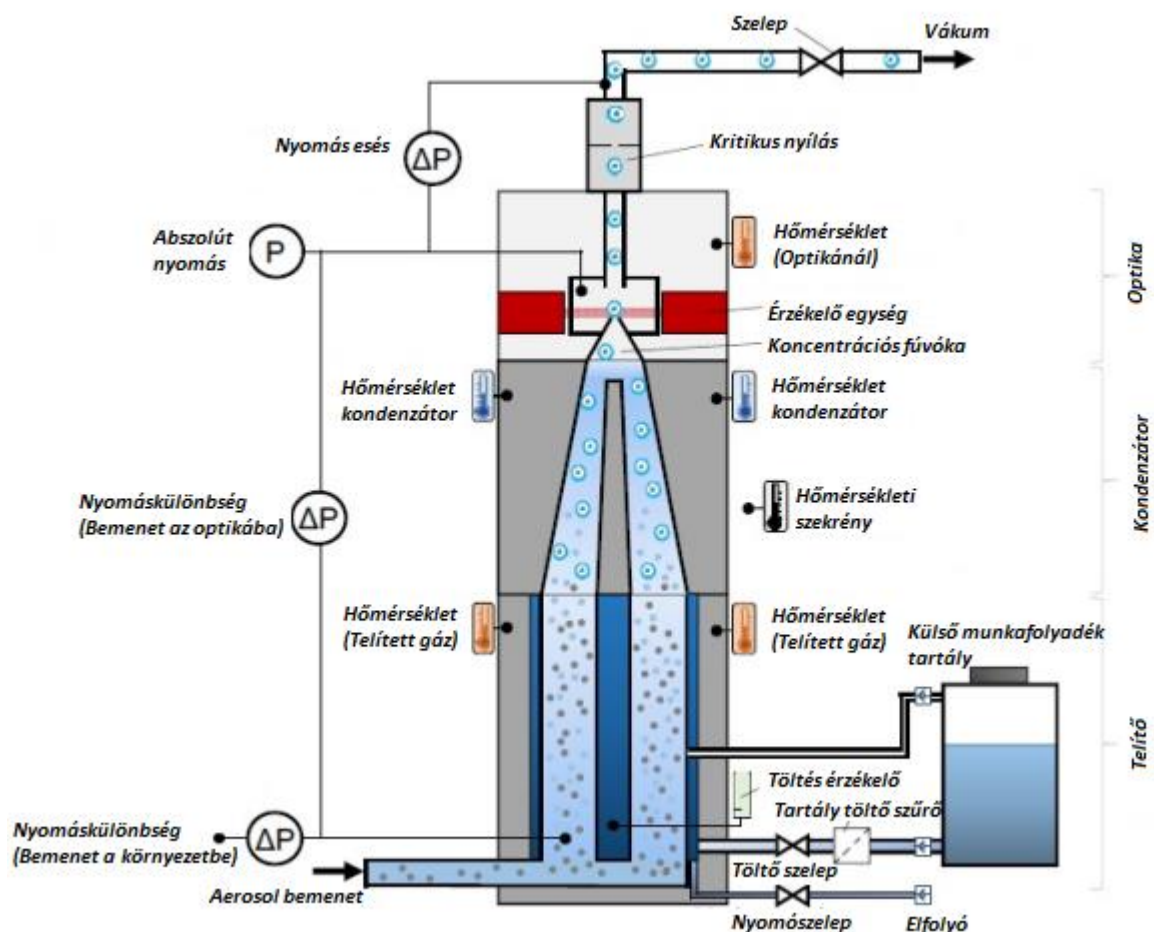
Kis mennyiségű kipufogógázt enged át és kever nagy mennyiségű tisztított levegővel a kívánt hígítás eléréséhez.

Aprító hígító: (Chopper diluter)

HEPA filterrel előszűrt beáramló hígításhoz használni kívánt sűrített levegő és a kipufogógáz áramlik bele, majd ezt a forgótárcsa keveri. A hígítás a következőktől függ: lyukak tárfogata a tárcsán, lyukak száma, forgási sebesség, hígító hőmérséklete, minta hőmérséklete és a mintanyomás.

A beáramló tisztított hígító levegőt és a mintavételezett kipufogógázt 150°C kell felmelegíteni (Heated body). Ezt követően a keverék egy 2 méteres csövön keresztül eljut a párologtató csőbe (EP) ami hozzávetőlegesen 350°C-os, majd bekerül egy speciális perforált csőbe (PND2) ahol további hígítás történik. Ez a környezeti levegővel történő hígítás és a PNC-hez vezető tömlő hűtése biztosítja és a hígított kipufogógáz véghőmérséklete nem haladja meg a 35°C (legnagyobb megengedett bemeneti hőmérséklet a PNC-be) A részecskekoncentrációt ezután a részecskeszámlálóval (PNC) határozzuk meg.

3.2. Kondenzációs részecskeszámláló működése



9. ábra: Kondenzációs részecskeszámláló (APCplus 2018)

A képen (9. ábra) látható módon a hígított kipufogógáz a részecskeszámláló bemenetén (Aerosol Inlet) áramlik be és összekeveredik az elpárolgott gőz állapotú butanollal. Ezen butanollal kondenzált részecskék egy fúvókán keresztül jutnak be az optikai számláló részhez. Ez a számláló egy lézer diódából, egy fókuszáló lencséből, egy gyűjtőlencséből és egy fotodetektorból áll. Pontosan a fúvóka feletti pontra fókuszál a lézersugár, így mikor a részecske bejut a fúvókán keresztül a lézerfény szétszóródik felületéről és ezt a változást észleli a gyűjtőlencse majd a fotodetektorra fókuszálja.

Fontos, hogy az optika hőmérséklete magasabb legyen működés közben, mint az áramoltatott gőz, ezzel meggátolva a lencsékre történő lecsapódást.

3.3. Kipufogógáz elemző készülék problémájának kifejtése

Bár a folyamat során többször is felmelegítik és megpróbálják leválasztani a kipufogógázzal az illékony anyagokat, sajnos ez a gyakorlati tapasztalatok alapján nem elég hatékony. A részecskeszámláló gyakori előre nem tervezhető karbantartási igénnyel rendelkezik a gázzal együtt beáramló folyadék részecskék miatt, melyek letapadnak és lerakódásként jelentkeznek a részecskeszámlálóban ezzel elzárva a beáramlást a számláló detektáló egységébe. Ilyen esetekben a gép nem képes további mérések elvégzésére és azonnali karbantartást igényel a tervszerű karbantartásokon felül. Gyakorisága miatt komoly problémát jelent mind időben mind pedig emberi erőforrás igényében. Tehát muszáj valamiféle megoldás találni erre a problémára még ha teljesen nem is küszöbölhető ki, de a karbantartások között eltelt idő növelésével már nagy előrelépés tehető.

2. táblázat: A gyártó által megadott karbantartási idők a gép részegységeire nézve:

Karbantartás gyakorisága	előírt	Alkatrész/művelet	Karbantartás
Napi karbantartás igény		Szivárgás ellenőrzése	Ellenőrizze!
Napi karbantartás igény		Funkció vizsgálat	Ellenőrizze!
Minden újra töltésnél / kiürítésnél a butanol tartály esetén		Vizuális szivárgás ellenőrzés	
Kettő-négy hetente		Butanol	Cserélje ki!
Havi karbantartás igény		Szűrő	Ellenőrizze / cserélje ki!
Havi karbantartás igény		PNC	Ellenőrizze!
Havi karbantartás igény		Túlnyomásos szivárgás ellenőrzés	Ellenőrizze!
Havi karbantartás igény		Venturi szűrő	Ellenőrizze / cserélje ki!
Fél évente		Venturi szivattyú	Tisztítsa!

Fél évente	Gáz ellenőrzése	Ellenőrizze!
Fél évente	PNC kanóc	Cserélje ki!
Évente	Szűrő szivacsok	Cserélje ki!
Évente	Katalitikus sztripperelő	Cserélje ki!
Évente	Kalibráció	Ellenőrizze!
Évente	HEPA szűrő	Cserélje ki!
Két évente	PNC szivattyú	Ellenőrizze / cserélje ki!

Fenti (2. táblázat) táblázatból leolvasható, hogy a részecskeszámláló PNC karbantartási igénye havi rendszerességre van előírva. Sajnos azonban a gyakorlatban rendszeres nagy kihasználtság mellett ez gyakrabban sokszor 2-3 naponta is előfordulhat. Konzulensem Bíró Norbert egy gyakorlatban megvalósított megoldást dolgozott ki a problémára, mely elősegítette hosszabb idők elteltét két karbantartás között, ami a korábbi 2-3 napról akár 2 hónapra növelte a nem tervszerű karbantartás igényt. Ez a korábbi eredményekhez képest nagy előrelépés volt és ezt a módosítást modelleztem és vizsgáltam, illetve további fejlesztési javaslatot tettem, amivel a gép még kevesebb beavatkozással és előre jelezhető karbantartási igénnyel rendelkezik.

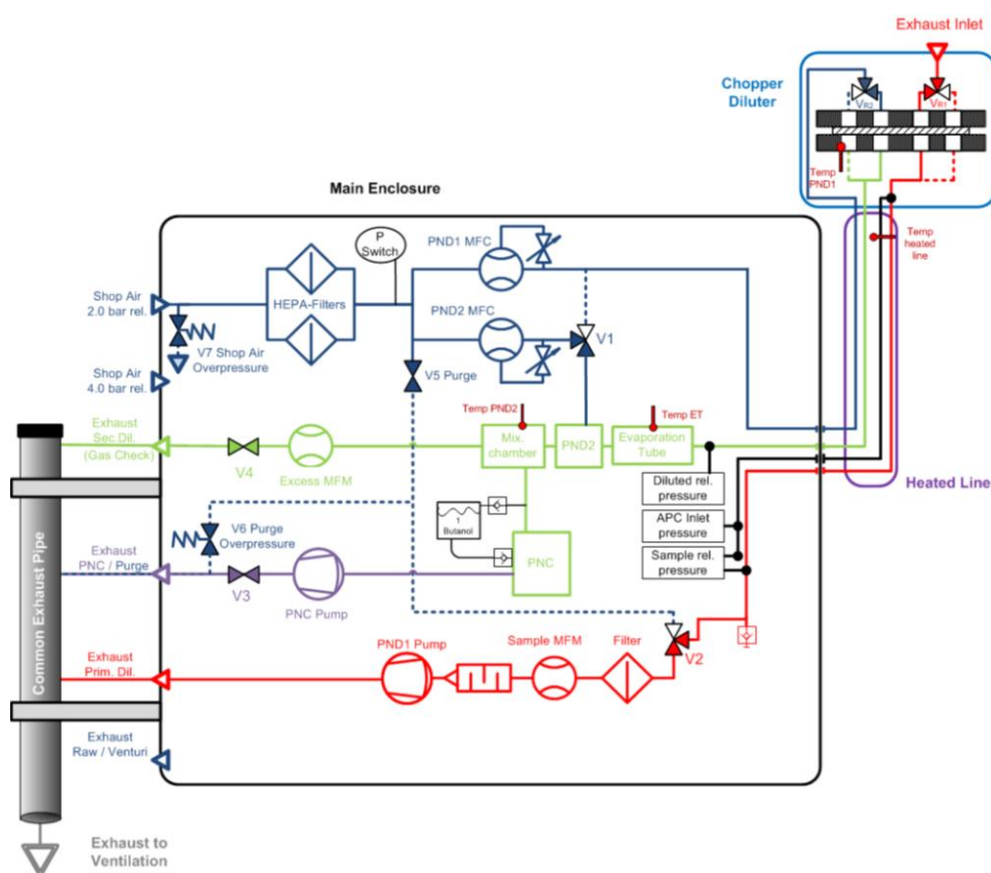
3.4. Módosítás ötletének kifejtése

Megoldásként a feladatra egy plusz még a részecskeszámláló és illékony anyag leválasztó része elé történő előszűrő egység kialakítását kellett megterveznem. Ez az egység két kondenzvíz lecsapoló egységből, egy HEPA szűrőből és egy membrán szivattyúból állt. Két nedvesség leválasztó egység a korai magasabb hőmérsékleten áramló párát hivatott leválasztani, majd a HEPA szűrő a tisztán 0,3 mikronnál nagyobb szennyeződések megszüntetésére került a rendszerbe. A membrán szivattyúval az előzőekben említett két alkatrészben történő nyomás csökkenést küszöbölhettük ki, mivel a rendszerben történő nyomáscsökkenések oly mértékben lassíthatják az aerosol áramlását, hogy a mérést a részecskeszámláló gép leállítja. Ezzel a szivattyú beépítéssel viszont lehetőség is

nyílt rá, hogy akár tovább is bővítsük a rendszert, hiszen egy tápegységgel és egy potenciométerrel összekötve akár manuálisan is változtatható a nyomásérték. A gázáram ki és beáramlását a rendszerbe már ismertem, így elegendő volt a plusz vezérlés beépítése a rendszerbe a szivattyúhoz és nem volt szükség szabályozás megvalósítására.

3.5. Rendszer eredeti folyamatábrája

A 10. folyamatábrán a módosítandó rész a zölddel jelölt szakaszon közvetlenül a "Heated Line" után található. Ezen a részen áramlik be a kipufogógáz és történik meg mindenfajta folyadék leválasztása a kipufogógáztól és ezen a ponton jelent gondot az átjutó nagyobb mennyiségű pára, illetve szennyeződés.



10. ábra: Eredeti folyamat ábra (APCplus 2018)

Heated Line előtt látható a Chopper Diluter, amiben egy tárcsa van melynek egyik oldalán a hígító levegő halad át, másik oldalán pedig a hígítani kívánt kipufogógáz. Tárcsa forgási sebességével változik a hígítás mértéke, mely jellemzően 1:2000 illetve 1:20000 kipufogógáz/levegő arányt eredményez és ezt a keveréket nevezzük aerosolnak.

3.6. Módosítandó rendszer ismert hőmérséklet és nyomás értékei

Az alábbi táblázat tartalmazza a jelenleg rendszerben lévő hőmérséklet és nyomás értékeket a számunkra fontos be és kiáramlási pontoknál:

3. táblázat: gyakorlati értékek

	Módosított rész bemenetén	Módosított rész kimenetén
Hőmérséklet [°C]	142,4	102,8
Nyomás [mbar]	203,1	-3,4 (szivattyú nélkül)

Ezen értékeket a jelenleg is üzemelő rendszerről kaptam, mely értékeket a szimuláció során megközelítőleg vissza vártam.

3.7. Alkatrész kiválasztás szempontjai voltak

Az általam modellezett rész alkatrészeinek kiválasztása a következő szempontok szerint történt:

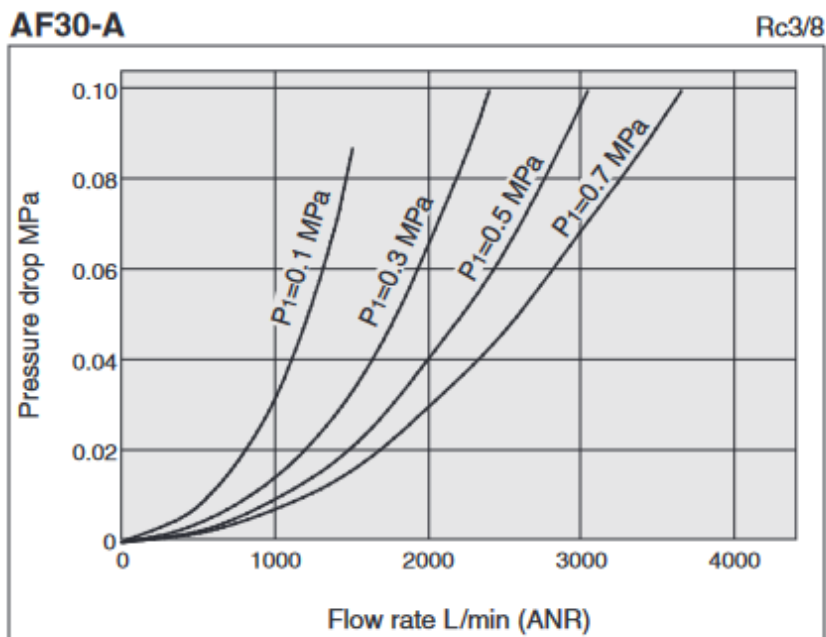
- Páraleválasztó/kondenzvíz leválasztó egység:
 - ne igényeljen gyakori karbantartást,
 - könnyen cserélhető legyen,
 - csak a pára leválasztása a cél, a gép által végzett mérések tárgyát (környezet károsító anyag) nem befolyásolhatom olyan mértékben, hogy a rendszer fals eredményt produkáljon. Ezt a gyakorlatban történő többszöri összehasonlító méréssel károsanyag kibocsátást tekintve ellenőrizni kell!

- HEPA szűrő:
 - lényege a nagy $0,3\mu$ -nál nagyobb szennyeződések leválasztása a rendszerből már a folyamat elején, melyek méréseink során nem mérvadók, azonban a rendszer stabilitását bejutásuk nagyban befolyásolja.
 - könnyen cserélhető legyen.
- Szivattyú:
 - ne igényeljen gyakori karbantartást,
 - könnyen cserélhető legyen,
 - időegység alatt átáramló aerosol mennyisége állítható legyen,
 - állítható/vezérelhető legyen,
 - ellenálljon a káros anyagoknak, amiket az aerosollal áramoltat a rendszerben.
- Összekötő csőszakaszok:
 - könnyen cserélhető legyen,
 - megfelelő keresztmetszet szükséges a kipufogógáz problémamentes áramoltatása érdekében,
 - ellenálljon a káros anyagoknak, amiket a rajta átáramló aerosol hordoz magával.

3.8. Ezen szempontok alapján választott alkatrészek a rendszerhez és főbb ismertetőik

AF30-03-A levegő szűrő:

- megfelelő ki és beáramlási keresztmetszet, (3/8")
- kedvező ár (25,3\$) és könnyű szerelhetőség,
- alkalmas a gázból való folyadék leválasztására,
- bírja a rá eső nyomásértékeket.



11. ábra: AF30-A nyomás ugrások:

https://www.smc-pneumatics.com/pdfs/AC_A

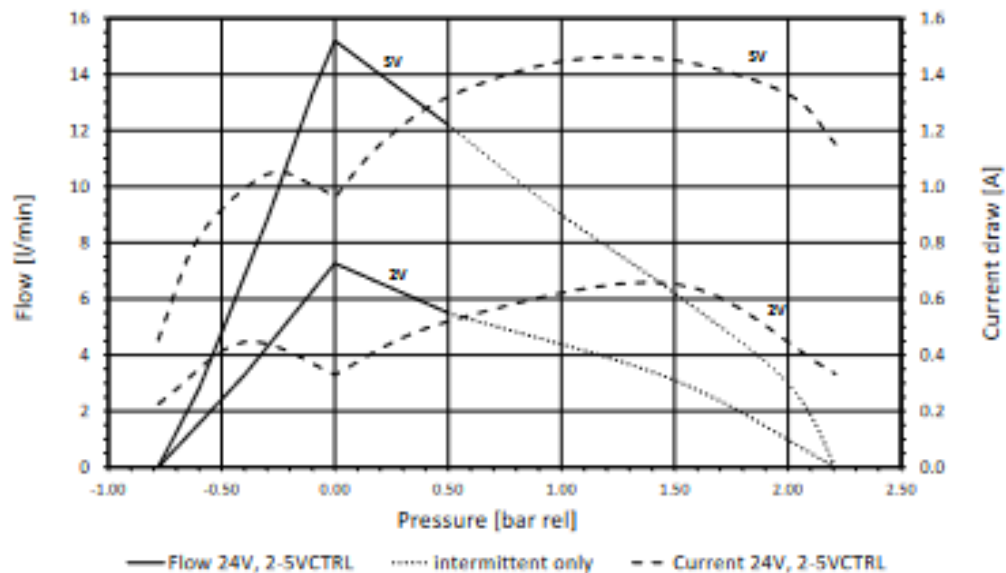
ZFC Suction filter w/fitting ZFC75-B szűrő:

- megfelelő átáramlás biztosítása, maximum 100liter/perc,
- kedvező ár és könnyű szerelhetőség,
- alkalmas a 0,3μ-nál nagyobb részecskék leválasztására,
- bírja a rendszerből rá eső nyomást.

NMP850.1.2 HP két kamrás membrán szivattyú:

- 16 liter/perc átáramlás,
- maximálisan elérhető nyomásérték 2,2 bar,
- maximálisan elérhető vákuum 220 mbar,

- korábbi jó tapasztalatok és rendelkezésre állás a szivattyút illetően,
- ellenálló a kipufogógázzal szállított (hígított) károsanyag mennyiséggel szemben,
- könnyen karbantartható/cserélhető és kedvező árú.



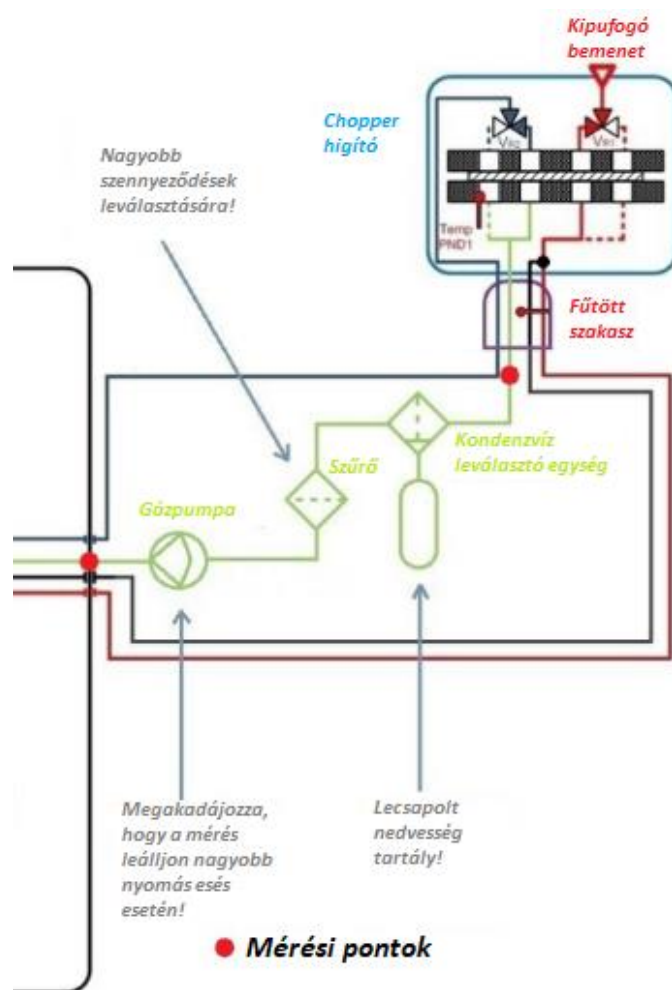
12. ábra: NMP850.1.2 HP nyomás és áráramlás

https://knf.com/fileadmin/Global_files/

Sárga összekötő cső adatai:

- falvastagság 1,5875mm, külső átmérő 8mm,
- hőmérséklet ellenálló képesség 74 C° -tól -35 C° -ig,
- alapanyaga F4040-A, üzemanyag áramoltatására alkalmas,
- rendszer kiegészítéséhez szükséges új cső hossz 3500mm.

3.9. Módosított folyamatábra a kiválasztott alkatrészek felhasználásával



13. ábra: Módosított rész folyamat ábrája

3.10. Áramlások numerikus modellezése

Napjaink gépészeti numerikus modellezési feladataira egyik leggyakrabban alkalmazott program az Ansys. ezen belül is munkámhoz elengedhetetlen része az Ansys Fluent felhasználása mellyel áramlások numerikus modellezését (továbbiakban CFD) végeztem az áramlás, nyomás és hőmérséklet viszonyok vizsgálatához. A program alkalmas arra, hogy feltárjam a rendszer kritikus pontjait, illetve általa ellenőrizsem munkám. Fontos, hogy a rendszerbe a megfelelő geometriai paramétereket vigyem be a modellem által, így a kapott eredmény pontosabb lesz. Hátránya viszont a programnak, hogy minél pontosabban készítem el a modellt annál nagyobb az erőforrás igénye, ami ez esetben problémát jelent. A rendelkezésemre álló hardveres háttérre és az Ansys Fluent diákverzió nyújtotta lehetőségeken belül kellett dolgoznom munkám során, azonban úgy gondolom így is kellő pontossággal tudtam modellezni a módosított részegységet.

Ansys program megismeréséhez néhány alapvető fogalmat és számítási módszert érdemes tisztáznunk. Kezdve a végeselem módszerrel, esetünkben véges térfogat módszerrel, melynek alapja a vizsgált térfogat kis elemeire bontása és őket leíró függvényekkel való közelítése. Az egész lényege az áramlásokat leíró egyenletek megoldása közelítő módszerrel.

3.11. Solid Edge modellezés

Mint minden modellezési feladat itt is először információkat kellett gyűjtenem a rendszerről, hogy mely alkatrészek és hogyan szerepelnek benne pontosan. A korábban kapott adatok alapján az alkatrészek cikkszámait/típusait már ismertek, így ezek alapján kellett felkutatnom a megfelelő modelleket és méreteket a 3D szilárd test modellezés megkezdéséhez. Kezdve az AF30-03A folyadékleválasztó szűrő méreteivel, melynek az SMC Hungary oldalán letölthető tartalomként szerepelt a modell külső méreteivel. Ez azonban nekem sajnos nem elegendő, hiszen jó közelítésnek, de minket a belső felépítése érdekel a vizsgálat szempontjából. Dokumentációkból kiderül, hogy a benne lévő szűrőnek mekkora az áteresztő képessége, illetve, hogy mekkora nyomásesést idézhet elő a beépítésével. Találtam műhelyrajzokat a folyadékleválasztóról és mivel rendelkezésemre állt fizikailag is belőle, így a maradék méretet tolómérővel lemértem a szétszedett alkatrészen. Ezután már modellezhetővé vált az egész egység és egyetlen nagyon fontos dologra kellett odafigyelnem még, ami a modellezésemet jelentősen megnehezítette, hogy

1 darab alkatrészként kellett szerepelnie, nem pedig szerelésként. Amennyiben lehetőségünk van szerelést készíteni úgy 1-1 alkatrészt lemodellezünk majd össze illesztjük őket később a megfelelő pozícióba. Most viszont mint a szobrászoknál egyetlen testből kellett "kifaragni" a folyadék leválasztó egységet, hogy a diákverziós Ansys-nál egyszerűen csak a bementi és a kimeneti pontot kelljen megválasztanom a mesh-es leképezéshez. Majd a többi alkatrésszel hasonló módon jártam el a rendszer modellezése során, kivéve a membrán szivattyút, ott ugyanis mivel azzal nem tudok számolni az Ansys vizsgálat során, így annak a modelljébe csak a kamrákat tettem bele, ahol az aeroszol továbbításra kerül.

Alábbi ábrákon láthatók az egyes alkatrészek, melyeket készítettem:



14. ábra: Elkészített Solid Edge modellek

Illetve itt látható maga a teljes előkészítő rendszer (15. ábra) a közbe iktatott szabványos csőszakaszokkal és bekötésekkel:

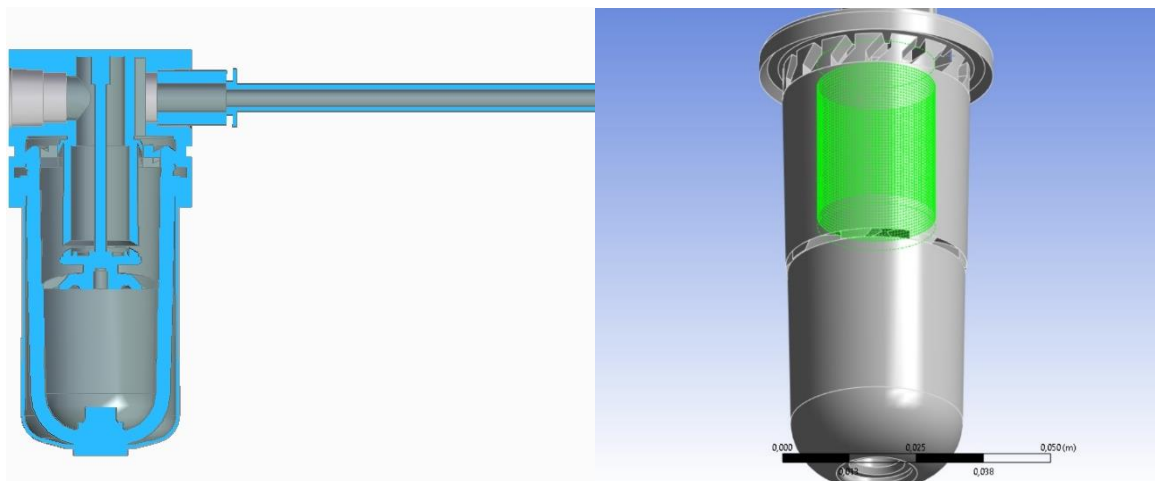


15. ábra: Solid Edge szerelés

3.12. Ansys CFD elemzés

3.12.1. Geometriai modell előállítása

Modellemet Solid Edge modellezési környezetben készítettem az alkatrészekről gyűjtött geometriai információk alapján meglakottam egy közelítő 3D szerelést. Modellezés során erőforrás management figyelembevételével dolgoztam tehát a részletesség és vizsgálat terén optimális utat kerestem és találtam is. Ez különösen lényeges volt az olyan helyeken, ahol szűrők helyezkedtek el. Akár csak a HEPA szűrő 3mikronos filterét tekintve a benne lévő filter nagyítása szükségessé vált, hogy a rendelkezésemre álló hardveres háttérrel modellezni tudjam a rendszert.



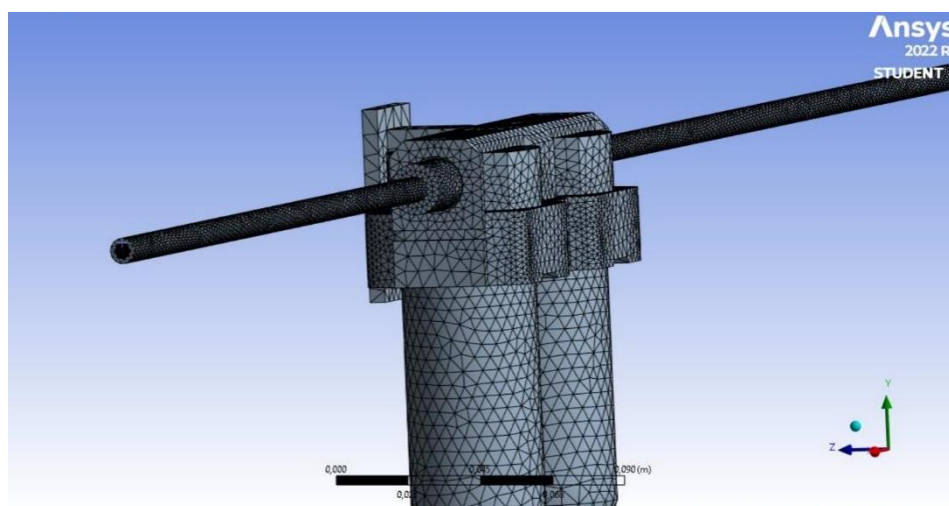
16. ábra: Folyadékleválasztó egység szimulációhoz

Sold Edge modellezésem után egyszerűen step fájlként elmentettem a modellt és egyszerűen át tudtam importálni az Ansys CFD környezetébe, ami egy komplex mérnöki szimulációs szoftver. Mérnökök és tudósok használják számos iparágban, mivel képes szimulálni összetett valós körülményeket rendkívül nagy pontossággal. Nagy hátránya

azonban, hogy bár rendkívül hatékony és pontos, nagyon komoly hardveres hátteret igényel egy-egy komolyabb szimuláció elkészítése. Ezért voltam kénytelen munkám során „közelítő” modellt alkalmazni.

3.12.2. Hálógenerálás

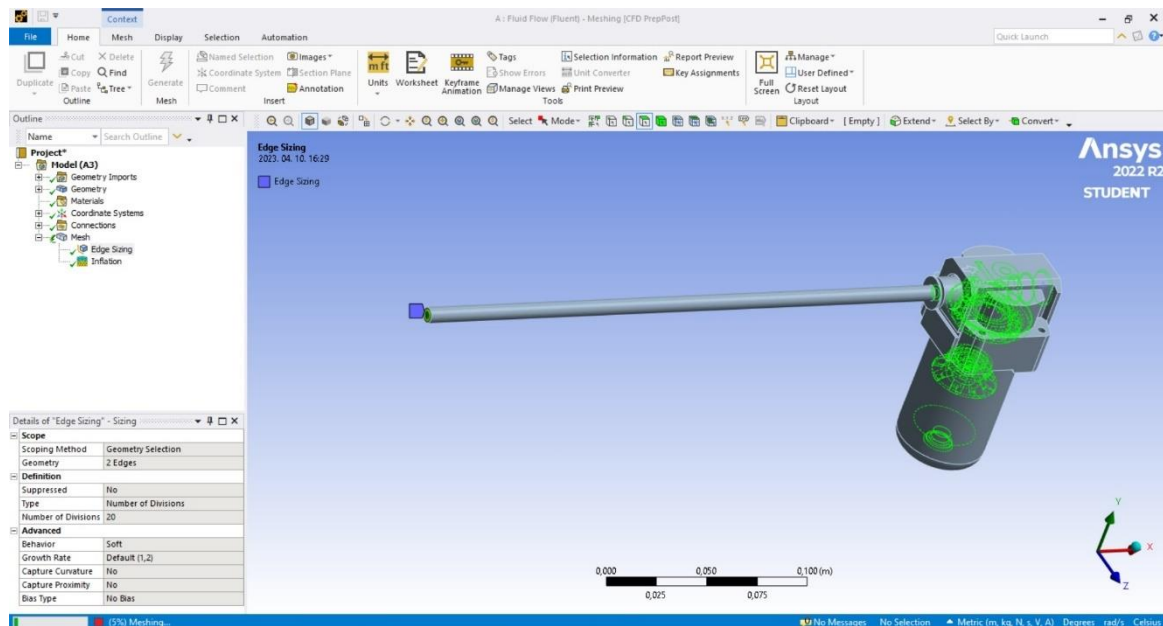
Itt beállítottam a végeselemes számítások végzéséhez szükséges részletességet/pontosságot, mely alapján a program a továbbiakban számolhatott. Minél nagyobb felbontást állítok be a modellnek annál kisebb részekre bontja a modellt annál sűrűbb lesz adott részen a térháló, amit a program generál rá. (17. ábra) Diákverzióban ez a funkció felülről korlátos, hogy hány kisebb részre bontható a modellem.



17. ábra: Hálógenerálás

3.12.3. Peremfeltételi zónák kijelölése

Hálógenerálás után felvettem a megfelelő peremfeltételeket, úgy, hogy megjelöltem a vizsgálni kívánt rész befoglaló felületeit. Megadtam a rendszerben történő ki- és beáramlás irányait (18. ábra) melyek alapján a szimulációt lefuttattam.



18. ábra: Szimulációs határok kiválasztása

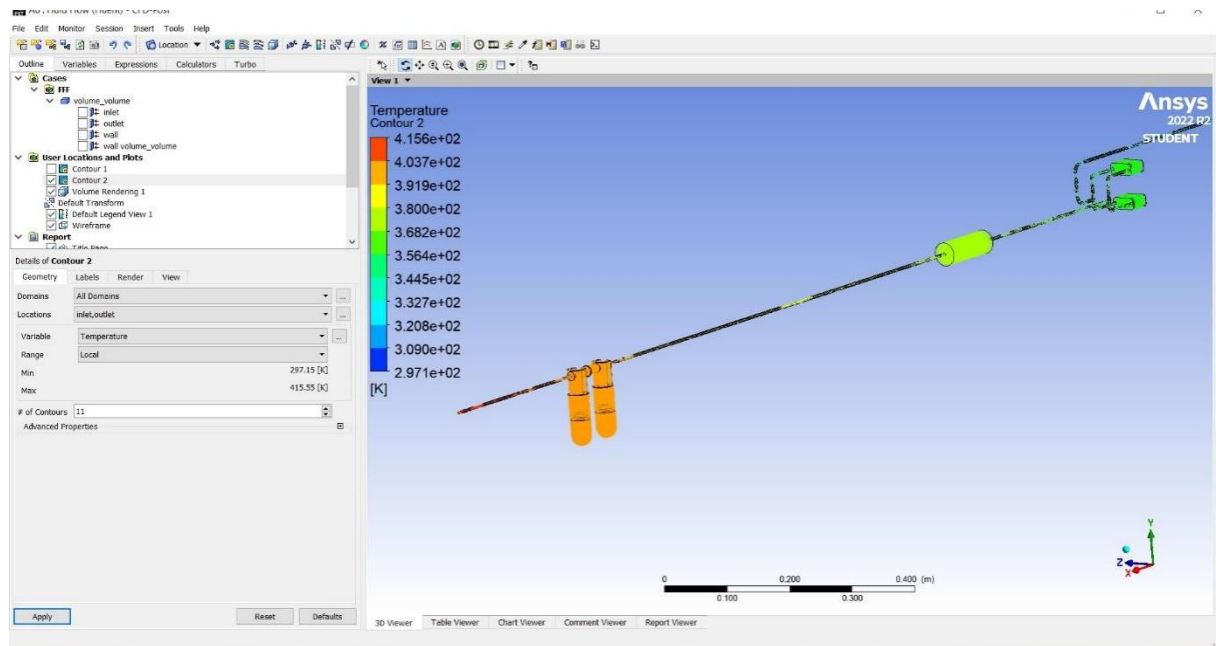
3.12.4. Fizikai modell kiválasztása, anyagjellemzők megadása

Mivel az alkatrészek a rendszerben javarészt polimerből állnak és szobahőmérsékleten vannak alap esetben, így egy anyagként kezeltem a modellt és 23 C°-ra állítottam be a rendszer körül ölelő felület hőmérsékletét.

3.12.5. Eredmények értékelése

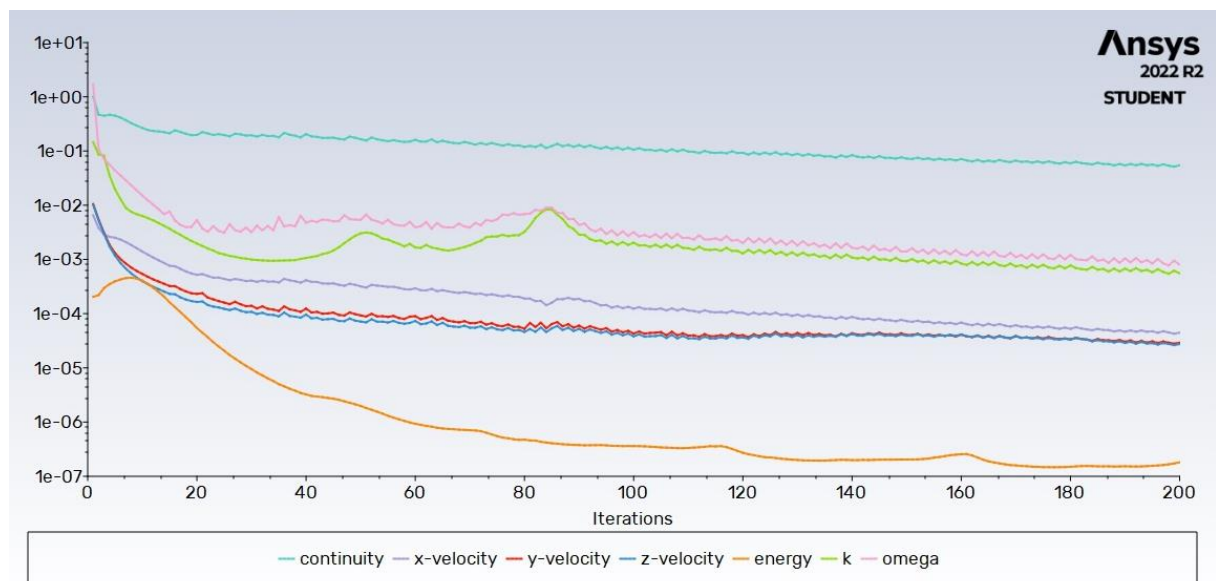
Beállított paraméterek alapján lefuttathatom a szimulációt és a kapott eredményeket vizsgálhatom. Esetemben a hőmérsékletértékeket állíthatom be, hogy milyen határértékek között jelenítse meg az eredményeket, illetve, hogy melyik felület eredményeit szeretném látni.

Ugyanez érhető el, ha a nyomás értékeket szeretném megnézni. Alapvetően modellezésem lényege a kiáramló közeg, hogy az a valósággal teljesen, vagy maximum 10% eltéréssel megegyezzen. Eredményeimet a programon belül könnyedén megjeleníthetem és összehasonlíthatom. Leglátványosabb része a vizsgálatnak a vizualizáció, melyhez a 19. ábra ábrát készítettem.



19. ábra: Vizualizáció

3.12.6. Diagram értelmezéséhez



20. ábra: Energia eloszlás diagram

4. Táblázat: diagram értékek magyarázatukkal

Egyenlet	f	
kontinuitás	1	Rendszerben történő folytonosság, adott állapot fenntartása
x-impulzus	u	x irányú dinamikus erőhatások

y-impulzus	v	y irányú dinamikus erőhatások
z-impulzus	w	z irányú dinamikus erőhatások
fajlagos energia	e	Egy kiválasztott nedvesített szelvényen átfolyó víztömeg energiáját, egységnyi tömegre és egy meghatározott, de tetszőleges hasonló síkra vonatkoztatva, a szelvény E_f fajlagos energiájának nevezzük.

3.12.7. Korábban választott membrán szivattyú működtetése

Egyszerű tápegység és manuális potenciométeres vezérlés:

Potenciometer egy olyan elektronikai komponens, amely egy állítható ellenállásból áll, amelynek értéke a potméternek nevezett forgó gomb elforgatásával változtatható. A potméteres vezérlés a potméter használatával történő vezérlést jelenti, ami lehetővé teszi az elektronikai áramkörökben lévő feszültség vagy áram mennyiségének változtatását.

A potméteres vezérlés használata meglehetősen egyszerű. Az áramkörben elhelyezett potméter vezetékeit csatlakoztatjuk a kapcsolókhoz, amelyek befolyásolják az áramkörben lévő feszültséget vagy áramot. Amikor a potméter elforgatásra kerül, az állítható ellenállás értéke változik, ami befolyásolja az áramkör teljesítményét.

Kapcsolás:

Jelenlegi rendszerben a kapcsolási mód a potméter használata, mint feszültségosztó. Ebben az esetben a potméter egyik végpontját a feszültségforráshoz, a másik végpontját pedig az áramkör földeléséhez csatlakoztatjuk. A potméter középső lábát pedig az áramkör bemenetéhez vagy kimenetéhez kapcsoljuk.

Karbantartás:

Az eszközt leválasztjuk a rendszerről, majd feszültség alatt teszteljük a rajta átáramló mennyiségeket egy multiméter segítségével. Ezzel a módszerrel kimérhetjük és megállapíthatjuk az eszköz alkalmasságát betöltött feladatának ellátására.

3.13. Eredmények kiértékelése

3.13.1. Peremfeltételek

Áramló anyag minőség:

- Ideális gáz választott értéke Ansys-ban: Air Data, Calorically Perfect Ideal Gases

Sebesség: A sebesség a leggyakoribb peremfeltétel, amely meghatározza az áramlás kezdősebességét a szimulációban.

- Beáramló ideális gáz sebessége: 10m/s

Nyomás: A nyomás szintén fontos peremfeltétel, amely meghatározza az áramlás kezdőnyomását a szimulációban.

- Beáramló ideális gáz nyomása: 203,1 mbar

Hőmérséklet: Az áramlás hőmérséklete a hőmérsékleti peremfeltételekkel határozható meg.

- Beáramló ideális gáz hőmérséklete: 142,4°C

Vízszintes vagy függőleges sebességkomponens: Az áramlásirányt a vízszintes és függőleges sebességkomponensek peremfeltételeinek meghatározásával lehet meghatározni.

- Gravitációs gyorsulás: 9,81 m/s²

Örvényintenzitás: Az örvényintenzitás azt jelzi, hogy mennyi forgási mozgás van az áramlásban.

- turbulens: 5%

Falfelületi peremfeltételek: A falfelületi peremfeltételek meghatározzák az áramlásra ható határfeltételeket a falakra.

- fal hőmérséklete: 23°C
- általános falvastagság érték: 1,5mm

5. Táblázat: Kapott eredmények

	Módosított rész bemenetén (adott)	Módosított rész kimenetén
Hőmérséklet [°C]	142,4	109,3
Nyomás [mbar]	203,1	3,1

6. Táblázat: Várt és kapott eredmények összevetése

	Módosított rész kimenetén várt eredmény	Módosított rész kimenetén kapott eredmény
Hőmérséklet [°C]	102,8	109,3
Nyomás [mbar]	-3,4 (szivattyú nélkül)	3,1

Következtetések:

A kapott eredmények az előre meghatározott hibahatáron belül vannak a várt eredményekhez és a kiindulási értékekhez viszonyítva. Természetesen a jelenlegi esetben is látható eltérés várható volt egy ideális esetben történő szimuláció és egy fizikailag megvalósult aerosol gáz áramoltatása során egy adott rendszerben. Továbbá a hőmérséklet érték valós értéktől alacsonyabb eredményét a rendszert laborban ért folyamatos leszellőzés okozhatta, mellyel ezen szimuláció során nem számolhattunk a program és hardveres korlátoltság miatt. Nyomás különbségben való eltérésre pedig a rendszer adott esetben való "tisztasága" adhat választ, hogy éppen mikor voltak cserélve a szűrőbetétek és csőszakaszok, tehát, hogy mennyire szennyeződött a rendszer. Összességében a korábbi felvetés, miszerint a membrán szivattyú képes-e ellátni a nagyobb nyomás esések kialakulásának meggátolására szolgáló funkciót, a válasz igen. A kapott adatok alapján a szimulációs eredmények is alátámasztják, hogy a szivattyú alkalmas betölteni szerepét a rendszerben.

3.14. Fejlesztési javaslatok

3.14.1. Rendszeren való javítási javaslatok

Vizsgálataim után látható, hogy a rendszeren való aerosol közeg áramlása milyen úton terjed, illetve, hogy hőmérsékleti és nyomás értékek a valóságtól történő 10%-os eltéréseken belül vannak. Kimutatható, hogy keletkeznek kritikus nyomás és hőmérséklet „góc”-pontok egyetlen vizsgálni kívánt aerosol „töltet” átáramlása esetén. Ami azonban a modellezés-ben nem látható egyértelműen, hogy a korábban már fizikailag módosított rendszerben az alkatrészek az előírthoz képest akár 2x-es hő túlterhelésnek vannak kitéve az előírt üzemi hőmérsékleten felül. Ebben az esetben nő a tervszerű karbantartási idő gyakorisága. Tehát itt további lehetőség adódik a rendszer hosszútávú működésének fejlesztésére, amivel szeretnék is élni a következőkben. De először is bemutatom milyen következményei vannak egy ilyen hőmérséklet szempontjából alul méretezett rendszernek.

Ezen polimer alkatrészeket ért magasabb hőhatás:

- az anyag üvegesedéséhez és kikeményedéséhez vezet
- a rendszerbe kerülhetnek addig nem kívánatos/káros anyagok is az alkatrészből
- gyorsabb előregedés jellemzi a rendszert, mivel dinamikusán időszakosan van az előírtnál nagyobb hőterhelésnek kitéve

Fent említettek alapján még stabilabb működés és karbantartási idők közt eltelt idők növelése érdekében más alkatrészek kiválasztását javaslom! Következőkben kitérek rá mely alternatívákkal lehet javítani a rendszer élettartamán a jelenleg használatban lévőkkel szemben.

3.14.2. Walker Filtration magas hőmérsékletű szűrő

Ezeket a típusú szűrőket magas hőmérsékletű levegő/gáz átáramlására tervezték kedvezően alacsony átáramlás közbeni nyomásesések mellett. A magas hőmérsékletű ipari szűrőket főként az autóiparban, az élelmiszer- és italiparban, valamint a gyógyszeriparban használják.



21. ábra: Magas hőmérsékletű szűrő

<https://www.walkerfiltration.com/en-us/>

Főbb technikai adatok:

- Akár 16bar üzemi nyomás,
- 120°C feletti levegő hőmérsékletekre fejlesztett és akár 250°C maximális üzemi hőmérsékleten stabilan látja el a rendszerben betöltött szerepét,
- Ez a típusú szűrő ideális választás folyamatok és berendezések por elleni védelmére, ahol az átáramló levegő hőmérséklete meghaladja a 120°C-ot,
- Ebben a kategóriában 3 különböző finomságú szűrő közül van lehetőségünk választani a gyártótól 5, 1 és 0,01 mikronos típusból,
- A szűrőelemeket 12 havonta / 8000 óránként kell cserélni.

Korábban tárgyalt mérésünket nem befolyásoló szűrési tartomány miatt, az ideális választásunk a szűrők közül az alábbi táblázatban látható HRX1-es modell (22. ábra). Mely

kellően nagy hőmérséklet ellenálló képességgel és nyomással terhelhető, illetve a szennyeződés leválasztási tartománya is a mérni kívánt értékünk alatt található.

Grade	HRX5		HRX1		HRXA	
Particle removal	5 micron		1 micron		0.01 micron	
Maximum temperature	250°C	482°F	250°C	482°F	250°C	482°F

22. ábra: Megfelelő szűrőtípus kiválasztása

<https://www.walkerfiltration.com/en-gb/products/high-temperature-filters/>

3.14.3. ANPTGHT Silicone Tubing 5mm (3/16") ID x 8mm cső

Átlátszó nagy stabilitással és vegyszerállósággal rendelkező szilikon cső magas hőmérsékletű alkalmazási területekre hosszú élettartammal.



23. Ábra: Szilikon cső

<https://www.fishersci.dk/shop/products/silicone-tubing-8mm/>

Főbb technikai adatok:

- belső átmérő 5mm külső átmérő 8mm (közel azonos a jelenlegi csővel),
- 6 méteres hosszban kapható és könnyen adott hosszra vágható,
- vizuálisan ellenőrizhető a rajta áramló közeg (áttetsző),
- maximum üzemi hőmérséklet 220°C,
- minimum üzemi hőmérséklet -60°C,
- vegyszerekkel, savval és lúggal szemben ellenálló,
- nem oxidálódik könnyen, és rendkívül hosszú az élettartama.

4. Összefoglalás

Diplomamunkámban bemutattam a különböző részecske mérési eljárásokat, majd rátértem dolgozatom témájának középpontjában álló AVL részecskeszámláló berendezésre. Melynek rövid bemutatását és jelentőségének ismertetését követően rátértem a vezérlési folyamat módosított részének folyamatábrájára. Itt láthatók voltak a szükséges további alkatrészek, ezek kiválasztásának szempontjai, illetve pontos ismertetőik.

Szimulációs munkám megkezdéséhez először is szükségem volt az alkatrészek modelljeire, melyeket 3D CAD környezetben kellett elkészítenem a lehető legnagyobb részletességgel, hogy az eredményeim pontosak legyenek. A szűrő betétes részeknél megfelelő átáramlási keresztmetszettel tudtam valósághoz közeli nyomás értéket visszakapni.

Az összes CAD 3D modell elkészítése után, azokat külön-külön át tudtam importálni az Ansys CFD környezetében, mellyel a Fluent módját használva ki tudtam választani a szimulációkhoz szükséges a felületeket a modellen és megadni azok paramétereit, melyeket munkám kezdetén kiindulási adatként kaptam. Ezen paraméterek és adatok rögzítését követően elindítottam a több órás szimulációkat, hogy kimutatható legyen a kapott eredmények milyen mértékű közelséggel egyeznek meg a valóságban elvártakkal.

Az eredmények kalkulálását követően a kapott és várt eredmények közötti eltérést magyaráztam meg a valóságos előkészítő egység és az ideálisnak tekinthető szimulált egység között. Ez fontos része a dolgozatnak, mivel a kisebb mértékű eltérések indokoltak.

Vizsgálataim után látható, hogy a rendszeren való aerosol közeg áramlása milyen úton terjed, illetve, hogy hőmérsékleti és nyomás értékek a valóságtól történő 10%-os eltérésen belül vannak. Az eltérések mértékét a szimuláció összetettségétől, a hardveres háttértől, az Ansys diákverzió általi korlátok határozták meg. Úgy ítélt meg, hogy a dolgozatom végén kifejtett magasabb hőmérsékleti helyek kiküszöbölésére tett fejlesztési javaslataimmal, további hatékonyság növelés érhető el a hosszantartóbb, stabilabb működés érdekében.

5. Summary

In my diploma thesis, I presented the various particle measurement procedures, and then turned to the AVL particle counter, which is the focus of my thesis. After a brief introduction and explanation of its significance, I moved on to the flowchart of the modified part of the control process. Here you can see the necessary additional parts, the aspects of their selection, and their exact descriptions.

To start my simulation work, I first needed the models of the components, which I had to create in a 3D CAD environment with the greatest possible detail so that my results would be accurate. For the parts with filter inserts, I was able to get a pressure value close to reality with a suitable flow cross-section.

After creating all the CAD 3D models, I was able to import them individually into the Ansys CFD community, with which I could use the Fluent method to select the surfaces on the model needed for the simulations and enter their parameters, which I received as starting data at the beginning of my work. After recording these parameters and data, I started the several-hour simulations in order to show how close the obtained results are to what is expected in reality.

After calculating the results, I explained the difference between the obtained and expected results between the actual preparatory unit and the simulated unit that can be considered ideal. This is an important part of the thesis, as minor deviations are justified.

After my tests, it can be seen how the aerosol medium flows through the system, and that the temperature and pressure values are within a 10% deviation from reality. The extent of the deviations was determined by the complexity of the simulation, the hardware background, and the limitations of the student version of Ansys. I judged that with my development proposals to eliminate places with higher temperatures explained at the end of my thesis, further efficiency gains can be achieved for longer-lasting, more stable operation.

6. Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

Lajtos Ágoston István (hallgató Neptun azonosítója: XGDF0A) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: 2023 év 10 hó 25 nap



belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Lajtos Ágoston István
A Hallgató Neptun kódja:	XGDF0A
A dolgozat címe:	Kipufogógáz elemző készülék vezérlési folyamatának tervezése
A megjelenés éve:	2023
A konzulens intézetének neve:	Műszaki Intéze
A konzulens tanszékének a neve:	Járműtechnika Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védelmet követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023 év 10 hó 25 nap



Hallgató aláírása

7. Fogalomtár

abszorbancia mérése: minta által felvett fénymennyiség mértéke.

abszorpciós spektrum: Elnyelési színeképet kapunk, ha egy anyagon (gáz, gőz, oldat) átvezetünk egy folytonos színeképű fényforrást, és megvizsgáljuk az átvezetés utáni színeképet. Az elnyelési színeképre jellemzőek a sötét vonalak (hiányzó színek), amelyek azt jelzik, hogy az anyagra jellemző frekvenciájú sugárzást nyelt el a vizsgált anyag.

adszorbeált: folyékony vagy gáznemű anyagot köt le egy szilárd anyag felületén.

Aerosol: Aeroszoloknak nevezzük a levegőben szálló szilárd vagy folyékony nanométertől mikrométerig terjedő (10^{-9} – 10^{-4} m) mérettartományú részecskéket.

diffrakció: elhajlás a hullám terjedése közben

dikroikus sugárostó: egyik hullámhosszú fényt tükörként visszaveri, a másikat átengedi.

diszperzív: szétszóródás

FID: szénhidrogén elemző készülék

folyékony-nitrogén dewar: speciális edény

fotomultiplier cső: lehetővé teszi a fotonok detektálását

fotorezisztív detektor: ellenállás változás hatására

fotovoltanikus: a napsugárzás bizonyos elektrokémiai közegben képes elektromos energiát előállítani.

hidroxil gyökök: A légkörben lévő metán és szén-monoxid nagy részét felbontja.

indium antimonid: egy szilárd oldat típusú félvezető

ionizáció: egy atomból vagy molekulából elektromos töltéssel rendelkező ion keletkezik elektromosan töltött részecskék (elektronok vagy ionok) hozzáadásával vagy elvételével.

koherens jelleg: olyan dolgokra utal, amelyek összefüggőek, egységesek és logikusan felépítettek, így könnyen követhetőek vagy megérthetőek.

kollimált sugár: A kollimált fénysugár vagy más elektromágneses sugárzás párhuzamos sugarakat tartalmaz, ezért terjedése során minimálisan terjed. Tökéletesen kollimált fénysugár, divergencia nélkül, nem oszlana szét a távolsággal. A diffrakció azonban megakadályozza az ilyen nyaláb létrejöttét.

legkisebb négyzetek módszere: az adatoktól elvárjuk, hogy megfeleljenek bizonyos tulajdonságoknak, illetve éppen ellenkezőleg, hogy bizonyos tulajdonságok ne lépjenek fel. A módszer érzékeny a nagyon kilógó adatokra.

monokromátor: feladata a kevert színű fehér fényforrás összetett fényének felbontása elemeire, amelyből tetszés szerint kiválasztható a kívánt hullámhosszúságú, (közel) monokromatikus fénynyaláb.

multiplexelés: egy népszerű hálózati technika, amely több analóg és digitális jelet integrál a megosztott adathordozón továbbított jelbe.

null korrekció: műszer mutatójának nullapontra állítása mechanikai vagy elektromos hatással.

ólomszelenid: Olyan vegyületek, amelyek -2 oxidációs számú szelén aniont tartalmaznak

PAH: Szerves anyagok tökéletlen égésekor keletkezik. policiklusos aromás szénhidrogének

ppm: felbontás

ppmv mérési tartomány: térfogat milliomod rész

radiométer: sugárzásmérő

spektrofotométer: mennyiségi és minőségi elemzést szolgáló mérés technika, amely egy elektromágneses sugárzás (többnyire fény) tetszés szerint kiválasztott hullámhossztartományának intenzitásváltozását méri meg. Az eszközt, amely az intenzitás spektrális eloszlását is méri, spektrofotométernek nevezik.

sugárosztók: optikai hasító prizma

sztoichiometrikus: a kémiának az a része, amely a kémiai reakciók során tapasztalható tömeg- és térfogatviszonyok törvényszerűségeivel foglalkozik.

turbulens diffúzió: Folyadékokban és gázokban nagyságrendekkel nagyobb átkeveredés jöhet létre. Ha a folyadékban, gázokban turbulens áramlás lép fel a részecskék a sebesség kaotikus pulzációja nyomán és a koncentráció ingadozása révén átkeverednek.

8. Irodalomjegyzék

1. Andersson J. et al.: Particle measurement programme (PMP) light-duty inter-laboratory correlation exercise (ILCE_LD) final report. *Institute for Environment and Sustainability*, 2007.
2. Andersson, J. et al.: UK particulate measurement programme (PMP): A near US 2007 approach to heavy duty diesel particulate measurements - comparison with the standard european method. [*SAE International*](#), 2004.
3. Baum M. et al.: Multi-component remote sensing of vehicle exhaust by dispersive absorption spectroscopy. [*SAE International*](#), 2000.
4. Bishop G. et al.: IR long-path photometry: A remote sensing tool for automobile emissions. *Analytical Chemistry*, 1989., 61. k., 10. sz, p. 671A-677A.
5. Breeze Paul: Piston engine-based power plants. In *Power Generation Technologies*, Elsevier, 2019., p. 99-119.
6. Dearth M. et al.: SemtechD: the chassis roll evaluation of a commercial portable emission measurement system (PEMS)”, [*SAE International*](#), 2005.
7. Guenther P. et al.: A hydrocarbon detector for the remote sensing of vehicle exhaust emissions. *Review of Scientific Instruments*, 1995. 66. k., 4. sz, p. 3024–3029.
8. Huang Y. et al.: Remote sensing of on-road vehicle emissions: Mechanism, applications and a case study from Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 2018. 182. k., p. 58-74.
9. Jetter J. et al.: Development of an on-board analyzer for use on advanced low emission vehicles. [*SAE International*](#), 2000.
10. Jimenez, J. et al.: Characterization of on-road vehicle NO emissions by a TILDAS remote sensor. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 1999., 49 k., 4. sz., p. 463–470.
11. King J. et al.: HyBoost – an intelligently electrified optimised downsized gasoline engine concept. In *Sustainable Vehicle Technologies*, Elsevier, 2012 p. 189–201.

12. Marotta A. et al.: „Gaseous emissions from light-duty vehicles: Moving from NEDC to the New WLTP test procedure. *Environmental Science & Technology*, 2015., 49, 14. sz., p. 8315–22.
13. Marzano, M. R., és P. Nuccio. „A New Instrument for Fuel Consumption Measurement in Light Aircraft”, 2000-01–2122, 2000.
14. Merkisz J. et al.: Measurement of exhaust emissions under actual operating conditions with the use of PEMS: review of selected vehicles. In Improvement Trends for Internal Combustion Engines, *InTech*, 2018.
15. Merkisz J. et al.: „The analysis of the PEMS measurements of the exhaust emissions from city buses using different research procedures. In 2012 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2012., p. 903–907.
16. Milton B. E.: Control technologies in spark-ignition engines. In Handbook of Air Pollution From Internal Combustion Engines, Elsevier., 1998., p. 189–258.,
17. Mokhatab S. és William A. P.: Environmental aspects of the natural gas supply chain. In Handbook of Natural Gas Transmission and Processing, *Elsevier*, 2012., p. 619–678.
18. Nelson D. et al.: A tunable diode laser system for the remote sensing of on-road vehicle emissions. *Applied Physics B: Lasers and Optics*, 1998., 67 k., 4. sz., p. 433–41.
19. Pirjola, L. et al.: A novel mobile laboratory for “chasing” city traffic, [SAE International](#), 2004.
20. Reuyl, J.: Electric and Hybrid-Electric Vehicles. In Encyclopedia of Physical Science and Technology, *Elsevier*, 2003., p. 39–52.
21. Šarkan B.: Exhaust emissions measurement of a vehicle with retrofitted LPG system. *Energies*, 2022., 15. k., 3 sz., p. 1184.
22. Tarabet L. et al.: Experimental evaluation of performance and emissions of DI diesel engine fuelled with eucalyptus biodiesel. In Internal Combustion Engines: Improving Performance, Fuel Economy and Emission, *Elsevier*, 2011., p. 167–76.

23. Tutuianu M. et al.: Development of the world-wide harmonized light duty test cycle (WLTC) and a possible pathway for its introduction in the european legislation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2015., 40. k., p. 61–75.
24. Wheatley, A. D., és Sadhra S.: Occupational exposure to diesel exhaust fumes. *The Annals of Occupational Hygiene*, 2004.
25. Zhang Y. et al.: Enhancement of remote sensing for mobile source nitric oxide. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 1996., 46. k., 1. sz p. 25–29.
26. Pöschl, Ulrich: Atmospheric aerosols: composition, Transformation, Climate and Health Effects. *Angewandte Chemie International Edition*, 2005. 44. k., 46. sz., p. 7520–7540.
27. EU kibocsátási szabványok személygépkocsikra [Forrás: Internet: <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>]
28. APCplus - AVL Particle Counter™ Product Guide. AT2858E, Rev. 15 , (04/2018)
29. Csankó Csaba, Szöllősi Dániel, Biró Norbert, Kiss Péter: Dízelmotor NOx kipufogógáz-emissziójának mérése MEZŐGAZDASÁGI TECHNIKA 62 : 9 pp. 2-5. , 4 p. (2021)
30. Biró Norbert, Kiss Péter: Euro VI-d Compliant Diesel Engine's Sub-23 nm Particle Emission, SENSORS 23 : 2 p. 590 (2023)