

8. téma

A szilárd anyag mintavétel problémái, izokinetikus mintavevők fejlesztése

1. A szilárd anyag mintavétel problémái

Fontos leszögezni, hogy dolgozatunkban csak a kézi, gravimetriás porméréssel foglalkozunk és döntően csak a leszívási sebességgel kapcsolatos problémákat érintjük. Részleteiben nem térünk ki például a porleválasztás és a tömegmérés kihívásaira.

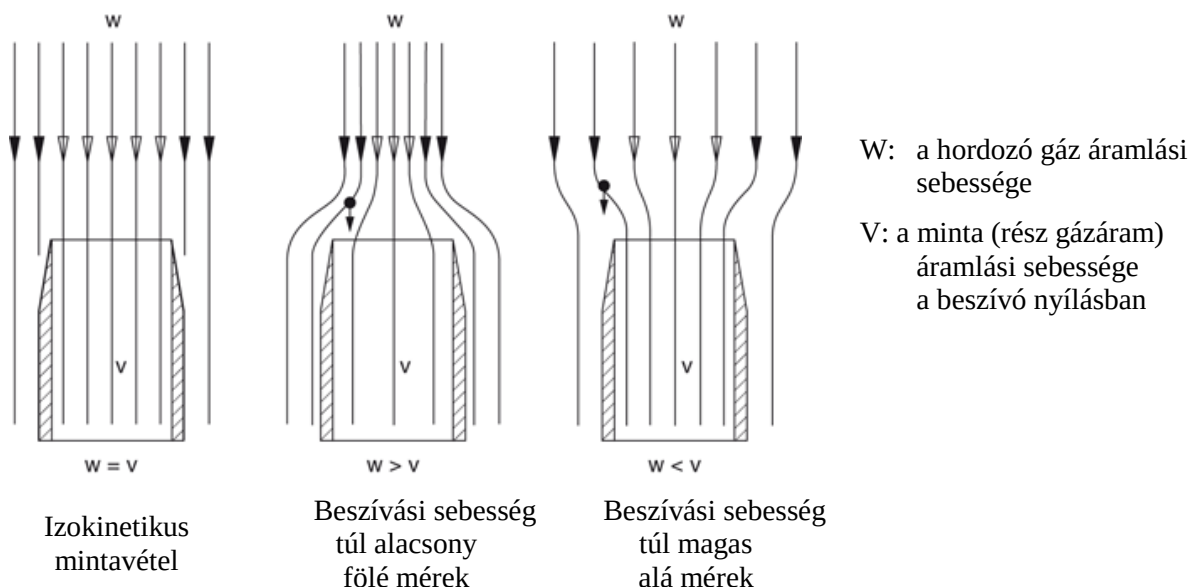
A mérési módszer elve

A füstgázból vagy véggázból **izokinetikusan** leszívott minta (a részgázáram iránya és sebessége megegyezik a beszívási ponton lévő gázáram irányával és sebességével) szilárd anyag tartalma szűrőanyagon kerül leválasztásra, majd mennyiségének meghatározása tömeg szerinti módszerrel (gravimetria) történik.

A szilárd anyag, mint részecske, tehetetlensége

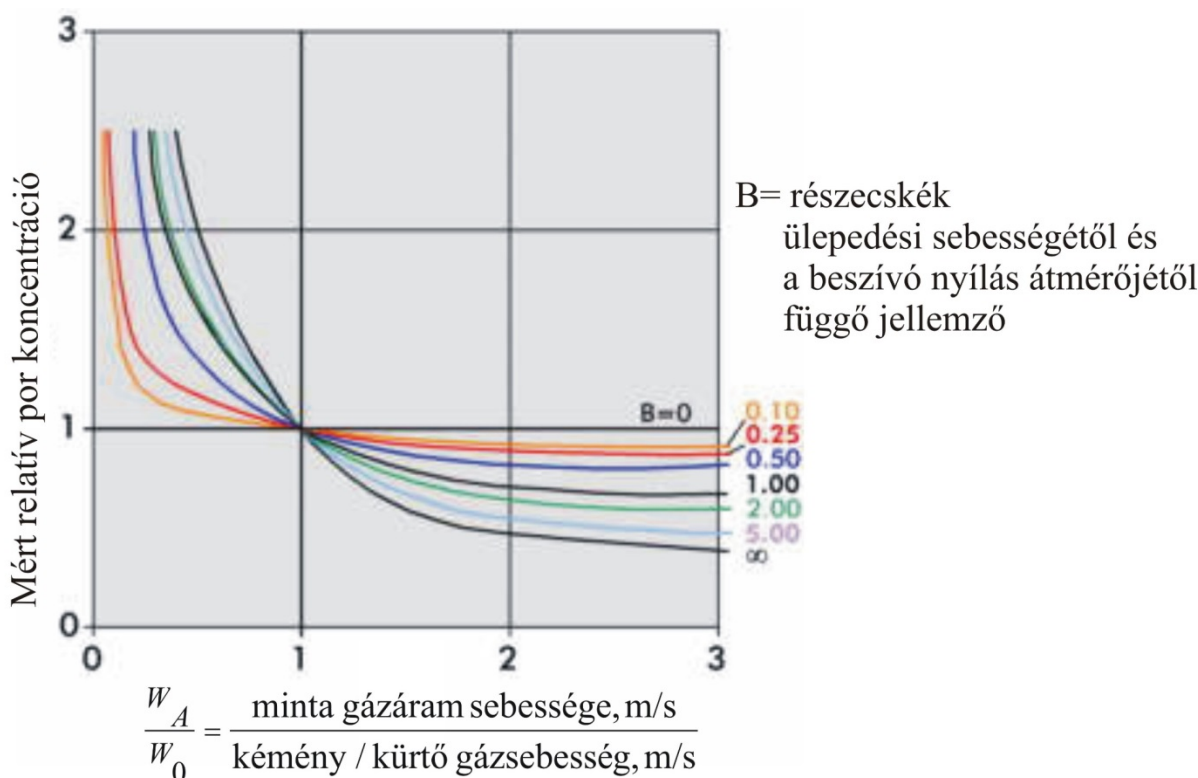
A szilárd anyag mérés nehézségét döntően az okozza, hogy – szemben a gáz és gőz molekulákkal – mozgás közben, a méretével növekvő módon, számottevő tehetetlenséggel rendelkezik, így nem tudja a hordozó közeg (döntően levegő vagy füstgáz) irányváltoztatásait korlátlan mértékben követni. Ez egyrészt felértékeli a mintavételi helyekkel szemben támasztott követelményeket (megfelelő egyenes szakasz a mintavétel előtt és után; lamináris, tengelyirányú áramlás igénye), másrészt megköveteli az izokinetikus mintavételt.

Az izokinetikus mintavételtől való eltérés hatása:



A következő oldal ábrája az izokinetikustól való eltérés hatását próbálja meg számszerűsíteni. A részecskeméret helyett itt az ülepedési sebességgel van jellemezve a por, amely jobban jellemzi a részecske tehetetlenségét.

Gyakorlati szempontból fontos észrevenni, hogy az izokinetikusanál nagyobb leszívási sebességet alkalmazva kisebb pormérési hibát követelek el, mint kisebb esetében. Ezt figyelembe véve a pormérési szabványok újabb változatai már nem 100% izokinetikai arányra, hanem 105 %-ra való beállítást írják elő (elfogadható a beállítás 95 és 115 % között).



Az is jól látható a fenti ábrán, hogy minél kisebb a részecske üledési sebessége (minél inkább gázszerű a viselkedése) – azonos tulajdonságú anyagot feltételezve, minél kisebb a részecske mérete – annál kisebb lesz az eltérés esetén elkövetett hiba mértéke.

A porkibocsátási határértékek szigorodása a legtöbb esetben megköveteli valamilyen porleválasztó berendezés alkalmazását, ami a kibocsátott por részecskeméretének jelentős csökkenéséhez vezet. Mindez csökkenti az izokinetikus leszívástól való eltérés hatását.

Idehaza leggyakrabban alkalmazott szilárd anyag mérési szabványok

(a legfrissebb változatot feltüntetve)

MSZ EN 13284-1:2018	Helyhez kötött légszennyező források emissziója. A szilárd anyag tömegkoncentrációjának meghatározása az alacsony mérési tartományban. 1. rész: Kézi gravimetriás módszer.
ISO 9096:2017:	Stationary source emissions — Manual determination of mass concentration of particulate matter.
MSZ 21853-3:1989	Légszennyező források vizsgálata. A szilárdanyag-emisszió meghatározása

Izokinetikus mintavétel alkalmazási területei:

- Szilárd anyag (por)
- Toxikus fémek
- POP vegyületek: PAH, PCB, Dioxinok és Furánok
- Formaldehid
- Vízoldható vegyületek folyadékcseppek jelenlétében (pl. HCl, NH₃)
- Részecske méret eloszlás (PM₁₀; PM_{2,5}; PM_{1,0})

Kézi beállítású vagy automatikus izokinetikus mintavevő?

Az izokinetikus leszívási paraméterek beállítása napjainkban már szinte mindig számítógépes program, vagy mikroprocesszor segítségével történik. A különbség abban van, hogy a mintavételi (leszívási) sebesség beállítása kézzel történik, vagy azt is a mintavevő végzi. Utóbbit nevezzük automatikus izokinetikus mintavevőnek, melynek telepítése a legtöbb esetben bonyolultabb és a beszerzési ára is jóval magasabb. Egy hozzánk hasonló, 8 fős levegőszennyezés vizsgálólaboratórium – az óhatatlanul szükséges tartalékokkal is számolva - 2 automatikus és 4-5 kézi beállítású mintavevővel véleményem szerint minden izokinetikus mintavételi feladatot színvonalasan, rentábilis időráfordítással el tud végezni.

2. Izokinetikus mintavevők fejlesztése

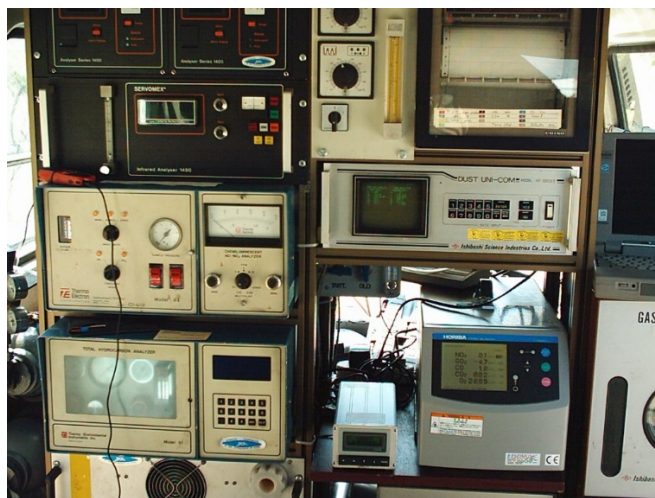
BME Analitikai Kémia, később Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék Levegőszennyezés Vizsgáló-laboratóriumában a kezdetektől fogva foglalkoztunk pormérők fejlesztésével, ami töretlenül megmaradt az Airmon Kft-be történő átmenet után is.

Pormérők alkalmazásának történeti áttekintése saját gyakorlatunkban

1. 1993: Dust Uni-Com japán automatikus izokinetikus pormérő

A Tanszék első mérőkocsija egy japán-magyar kormányközi egyezmény, a Sajó Völgye Projekt keretében került kialakításra, japán forrásból. Ennek volt meghatározó berendezése egy Ishibashi gyártmányú automatikus izokinetikus pormérő – egyetlen japán mérőkészülék a buszban, mert ennél nincs jobb a világon, mondták a mérésekben résztvevő japán szakemberek.

Az alábbi képeken látható mérőkocsi különlegessége az volt, hogy 50 m hosszú fűtött vezetéken a mérőkocsiban vezette a gázmintát és ugyancsak 50 m hosszú vezetékekkel a buszba csövezte a Pitot-cső és a hőmérő eredeti kivezetéseit és a porminta hordozó gázát is. Ezzel a megoldással minden kezelő szerv a buszban került elhelyezésre. (A jobb oldali fényképen látható Horiba 5-komponensű gázanalizátor később került elhelyezésre a pormérő szivattyújának a helyére.)



2. 1994: Kálmán-System Kft, KS-104 kézi beállítású pormérő

Az idehaza jól ismert, széles körben alkalmazott pormérő egyik korai típusa, amelynél a kézi beállítást már számítógépes program támogatta. A rozsdamentes acél belső téri porszondát teflon alkatrészek segítségével alkalmassá tettük sósav és toxikus fémek mintavételére. Ezen persze most már mosolygunk, a széles körben elérhető üveg, kvarc és titán alkatrészek láttán.

3. 2001: APEX (USA) MC-572 kézi izokinetikus mintavevő

Rendkívül strapabíró, számos mintavevő szondával kiegészíthető, igen széleskörűen alkalmazható mintavevő.

A képen toxikus fémek és sósav mintavételére használtuk, a már bezárt, széntüzelésű Vértesi Erőműben.



4. 2003-2004: Saját fejlesztésű automatikus izokinetikus mintavevő

Porméréssel kapcsolatos fejlesztéseink csúcs készüléke, amely az izokinetikus leszívási paraméterek beállításához folyamatosan méri a mintavételi pontban a füstgáz dinamikus és statikus nyomását (Prandtl-cső), valamint hőmérsékletét (termoelem). A központi számítógép fenti adatokból gázsűrűséget, majd gázáramlási sebességet számol, az alábbi bemenő adatok figyelembe vételével:

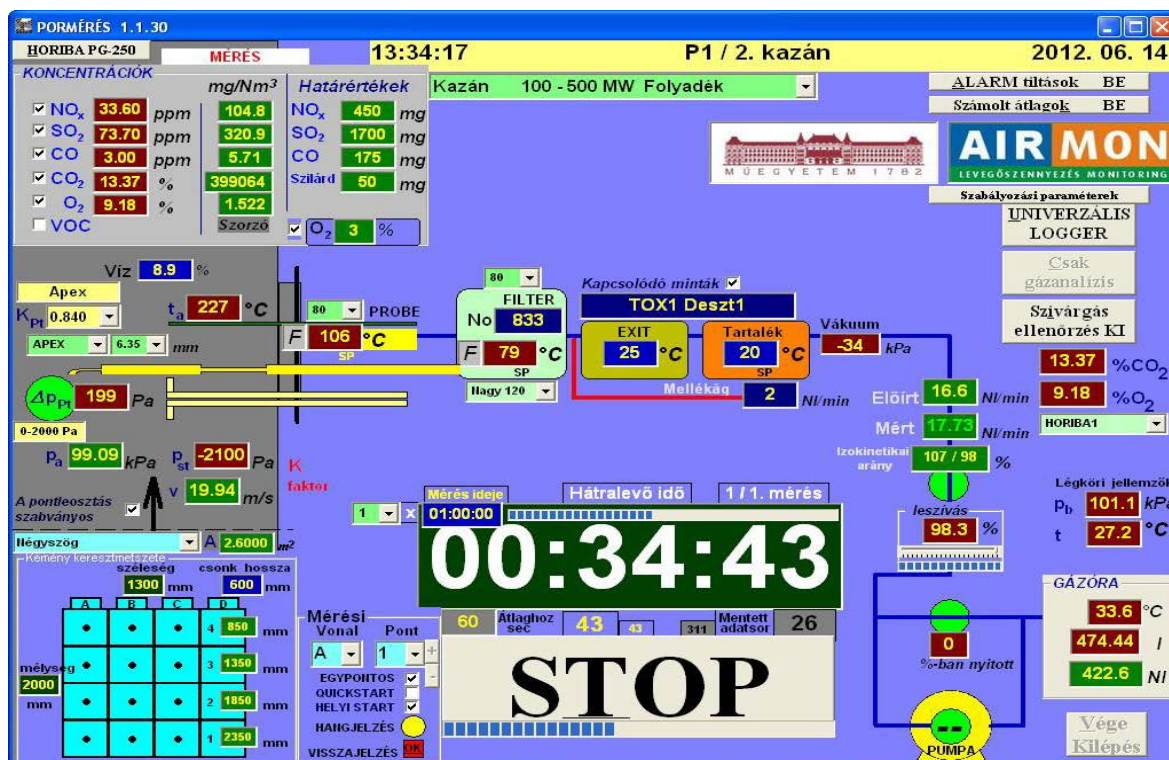
- Füstgáz összetétel, melyet a csatlakoztatott Horiba gázanalizátor folyamatosan mér.
- Füstgáz nedvességtartalom, amely gravimetriás vagy elektronikus mérés vagy számítás alapján kerül beírásra.
- Barometrikus nyomás, melyet folyamatosan mér, kijelez és átlagol a számítógép.

A leszívási sebesség változtatása - a beszívó nyílás méretének figyelembe vételével – 1 db motoros és 1 db proporcionális mágnesszelep segítségével, a megkerülő ág szűkítésével történik. A teljes rendszer minden eleme mind automatikus, mind kézi beállítással üzemeltethető. A leszívott mintagáz mennyiségének folyamatos mérésére hőmérővel ellátott, hitelesített, jeladóval ellátott gázmérő óra (Apex DGM-SK25DA digitális, száraz típus) szolgál. A pormérő maximális mintavételi sebessége 1,5 m³/h körüli.

A kéményben közvetlenül mért jellemzők átalakítását és kijelzését valamint a szonda és a szűrőház programozását szolgáló eszközök a mintavételi hely közelébe, a többi eszköz (gázmosó, pumpa, gázóra, vezérlő egység) pedig akár 50 m távolságban, például a mérőkocsiban kerül elhelyezésre.

A szabályozást végző laptop által kijelzett interaktív képernyő egy konkrét mérési példán a következő oldalon látható.

A berendezést és az eredeti szabályozást a szerző útmutatásai alapján a tanszék docense, Sztatisz Janisz készítette, a későbbi folyamatos fejlesztés Sándor Tamás (BME, majd Airmon Kft.) érdeme.



5. 2004: 4 db saját fejlesztésű kézi izokinetikus mintavevő („KÉZIZO”) elkészítése

Alumínium vázszerkezetre szerelt, egyszerű, könnyű, rendkívül jól szerelhető és gyorsan indítható mintavevő. A leszívási sebesség beállítása rotaméter jele alapján történik, kézi szabályozó szelep alkalmazásával, így főként levegő hordozógáz esetén használható.

6. 2010: Tecora Flowcheck és Mini Stack porszonda beszerzése

A Tecora Flowcheck tulajdonképpen egy áramlási sebesség mérőre épített, mikroprocesszoros izokinetikus beállítás kalkulátor. Viszonylag bonyolult menü rendszere miatt nem nyerte el a személyzet tetszését, így alkalmazása minimális.

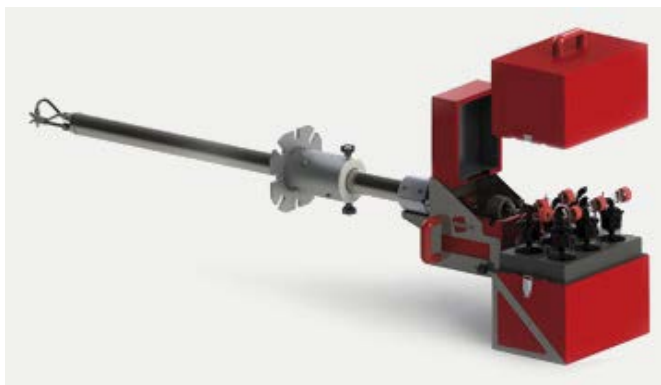
7. 2011: Airmon-Controflex fejlesztésű, kézi beállítású mintavevő

A készülék jellemzője egy Brooks MFC 4800 tömegáram szabályozó alkalmazása, amely igen széles (1-33,3 l/min) mintavételi sebesség beállítását teszi lehetővé. A gázmérő Flogiston G4RF1 száraz, membrános gázóra (0,016 – 3,2 m³/h) OMH hitelesítéssel.

8. 2017: DadoLab ST5 automatikus izokinetikus mintavevő beszerzése

A mintavevő jellemzői:

- Leszívási sebesség beállítása: tömegáram szabályzó (felbontás 0,01 l/perc) segítségével a folyamatosan mért áramlási sebesség alapján.
- Mintavételi sebesség: 5 - 60 l/min.
- Gázmérő óra: RS 200I/AL (0,4-6,0 m³/h), Pt100 (-20-100 °C) hőmérővel, 0,02 l felbontású jeladóval szerelve.
- Pitot cső: diff. nyomás: -100-1 000 Pa, abs. nyomás: 10-105 kPa.
- Hőmérők: 5 db TC hőmérő, 0-1 200 °C.



A kinézetre rendkívül megnyerő, korszerű mintavevő jól alkalmazható, de nem tudja felvenni a versenyt a saját fejlesztésű mérőkészülékkel (lásd a 4 pont alatt). Ennek fő oka, hogy a szabályozás részletei nincsenek kellőképpen dokumentálva és a talált hibák, célszerűtlen megoldások kijavítása cseppet sem mondható zökkenőmentesnek.

Ezzel el is jutottunk napjainkhoz. Nézzük, mire van még szükségünk.

A fejlesztési feladat megfogalmazása

A leggyakrabban használt, KÉZIZO elnevezésű mintavevők átalakítása, az alábbi szempontok figyelembe vételével:

- a rotaméter kiváltása a hordozógáz sűrűségétől független mérő eszközzel,
- digitális kijelzés és adatgyűjtés megvalósítása,
- dobozba integrálás, a helyszíni szerelés minimálisra csökkentése érdekében,
- minél kisebb összes tömeg,
- akkumulátorról történő üzemeltetés lehetősége.

3. A mintavevő berendezés kialakítása

Az elkészített 2 db mintavevő fényképfelvétele a szomszédos ábrán látható.

A bal oldali egy a szó szoros értelmében vett „deszka modell”, fa szerkezeti elemekre épül. A jobb oldali már profi alumínium lemez borítást kapott, minek következtében tömege 21,5 kg-ról 16,5 kg-ra csökkent.

A mintavevők 230V-os hálózatról és 2 db, párhuzamosan kapcsolt, 12 V-os zselés ólom akkumulátorról (14 Ah) egyaránt üzemeltethetők. Az akkumulátorok külön dobozban kerültek elhelyezésre, ami az alábbi fényképen látható



Az akkumulátorok töltését beépített tápegység végzi. Amikor a készülék csatlakoztatva van a hálózathoz és az akkumulátorhoz is, akkor a készülék a hálózatról üzemel, és eközben tölti az akkumulátort.

Az üzemidőre jellemző adat, hogy a KAMU-1 40 l/perc mellett (az áram felvétel ekkor kb. 1 A) legalább 10 óra üzemelésre képes. 47 mm átmérőjű üvegszálalás síkszűrővel, 20 l/perc mintavételi sebesség mellett kb. 18 óra volt az üzemidő.

Az akkumulátor egységek tömege 10,7 ill. 9,8 kg.



A kialakított mintavételi elrendezés főbb alkotó elemei, a minta áramlás sorrendjében nézve:

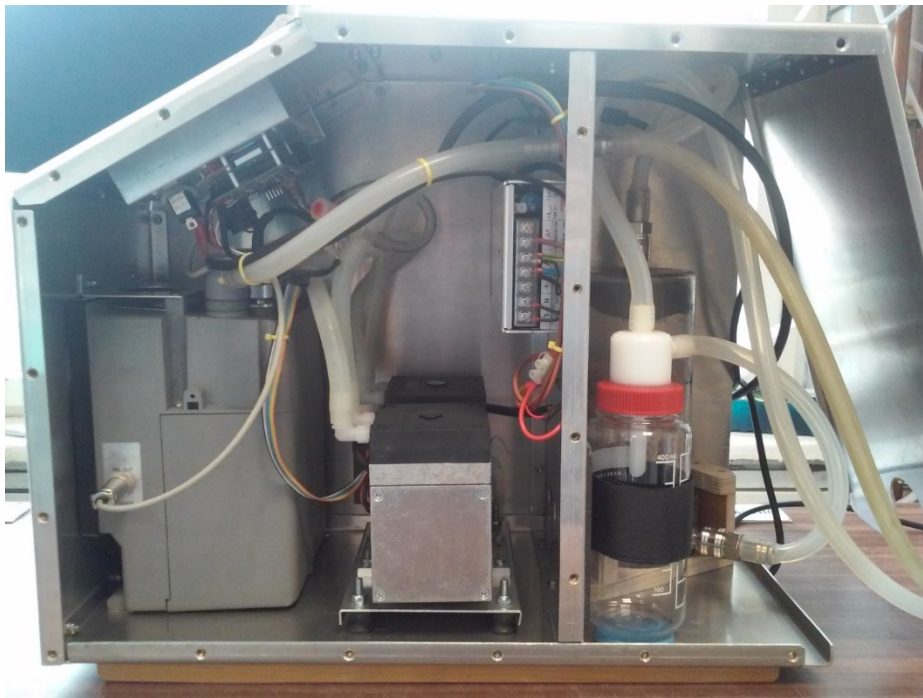
1. Minta vezeték.
2. Kondenzvíz gyűjtő edény.
3. Adsorbens oszlop (Tecora gyártmány), kb. 1 l színindikátoros szilikagéllal töltve.
4. Minta vákuum mérő (csak a KAMU-2 típusnál).
5. 24V-os iker pumpa (KNF gyártmány), rezgéscsillapító gumi bakokra helyezve.
6. Száraz, membrános gázmérő óra hőmérővel, OMH hitelesítéssel.
7. Minta kipufogó vezeték.

Belső felépítés

KAMU-1.



KAMU-2.



Mintagáz szárító egység

KAMU-1



KAMU-2



A mintavevő külön rekeszbe beépítve tartalmazza a vízleválasztó edényt és a szilikagél adszorbenst. A műanyag, átlátszó kondenz edény hivatott a folyadékcseppek eltávolítására, tehermentesítve ezzel a szilikagéllel töltött szárító oszlopot. Ugyancsak itt került elhelyezésre az akkumulátor doboz csatlakozó vezetéke, a betáp kábel, valamint a szellőző ventilátor és a mintagáz kivezetése is.

A mintavevők meghatározó egysége a KNF gyártmányú, egyenáramú pumpa, melyet állandó mágneses motor hajt. A pumpa gyárilag elektronikus fordulatszám vezérléssel van ellátva, amely a terhelés változása esetén is igyekszik tartani a beállított fordulatszámot.

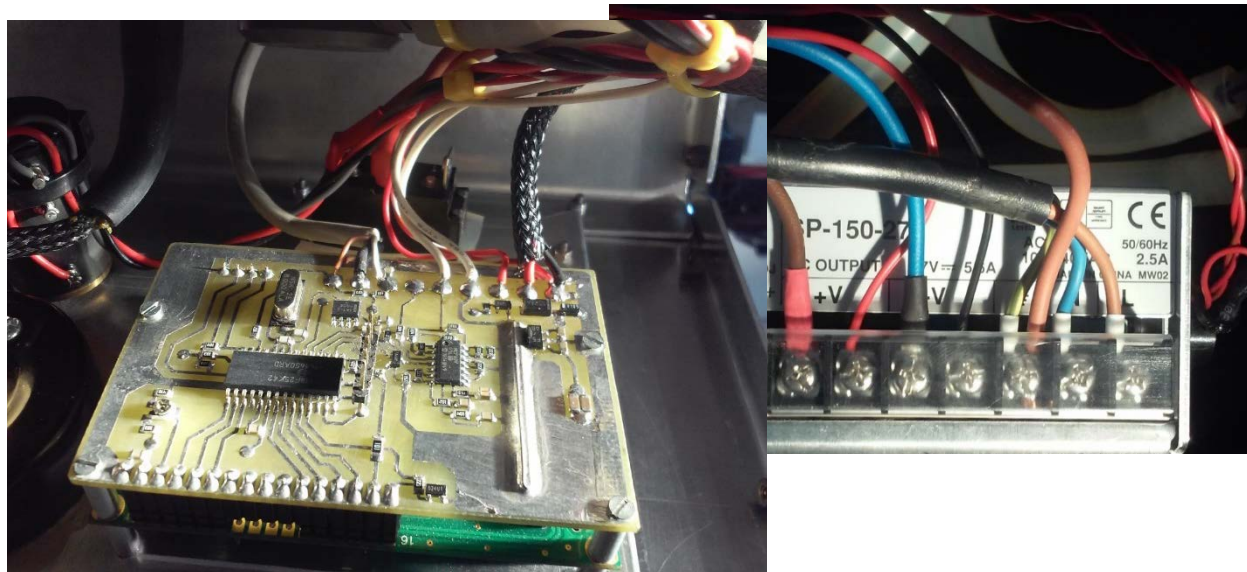
A beépített pumpa maximális szállítása 3,2 m³/h, a Kamu-1 típus teljesítménye 12 és 40, a KAMU-2 pedig 5 és 30 liter/perc között állítható.



A legnagyobb érdemi különbség a két berendezés között a gázórában keresendő. A korábbi típus gázórája Itrón G1,6 RF1 típus (0,016 – 3,2 m³/h), 10 l/impulzus távadóval és LED hőmérővel szerelve.

A KAMU-2 a japán Dust Uni-Com pormérő rendszer Ishibashi GU-8808 száraz, membrános gázóráját (0,016–1,8 m³/h, 1 l/fordulat, Pt-100 hőmérővel) kapta, amely sokkal nagyobb felbontású (0,001 l/impulzus) távadóval rendelkezik. A 26 éves gázóra membrán cserét követően napjainkban is kiválóan működik.

A **mikroprocesszoros vezérlés és adatgyűjtés**, valamint az elektromos tervezés és kivitelezés Muráti Tamás, BME mechatronika szakos hallgató munkája volt, nyári szakmai gyakorlat keretében. Ennek részletei láthatók az alábbi fényképeken.



Kezelő felület

KAMU-1



KAMU-2



A készülék hálózati áram alá helyezése után, ha a mintavevőben a hőmérséklet 20 °C fölött van, a főkapcsolótól függetlenül elindul a mintavevő hűtését szolgáló ventilátor.

A készülék bekapcsolásakor a Mikroprocesszor kijelzőjén 2 menüpont jelenik meg, az Új mérés és az Adatok. A menüpontok között a Tovább nyomógombbal lehet lépkedni. A kiválasztott menüpontot a mellette megjelenő > jelzi, és az Enter gombbal lehet belépni.

Az Új mérés menüpontban először a mérés időtartamát kell beállítani, óra:perc formátumban. A VISSZA és Tovább gombokkal a számjegyek között lehet lépkedni, az Enterrel a kiválasztott számjegy értéke növelhető. Az utolsó számjegy beállítása után a Tovább gomb lenyomásával indul a mérés (elindul a pumpa). A motor fordulatszámát a potenciométer segítségével kell beállítani.

Az aktuális leszívási sebesség a beépített, Reed-relével szerelt gázóra jele alapján kerül kijelzésre. A KAMU-1 típusnál 10 literenként (1 gázóra fordulat), a KAMU-2 típusnál pedig a beállítható idejű mozgó átlag 1 milliliterenként. A pumpa fordulatszáma, ezzel összhangban a leszívási sebesség 10 fordulatú potenciométerrel állítható be. A KAMU-1 típusnál a gyorsabb beállítást a potenciométer fölött található kijelző segíti, amely a beállított fordulatszámhoz

tartozó névleges leszívási sebességet (nem pontos adat) mutatja. A gyors válaszidejű gázórával szerelt KAMU-2 típusnál erre már nincs szükség.

Mérés közben 2 oldal között lehet lapozni a Tovább gombbal. Az első oldalon a legutóbb számított mintavételi sebesség, és a mért gázóra hőmérséklet, valamint a hátralévő idő (óra:perc:másodperc) jelenik meg. A következő oldalon a minta aktuális térfogata, valamint a mintavétel beállított időtartama jelenik meg.

Mérés közben lehetőség van a mérést szüneteltetni vagy leállítani. A Vissza gombbal érhető el a menü, kilépni is ezzel lehet. A Leállítást választva leáll a pumpa és az adatok mentésre kerülnek.

A **mérés végén** a mért adatokat a Tovább gomb megnyomásával tekinthetjük meg. Az első oldalon a leszívott összes minta térfogata és a mérés időtartama (óra:perc), a második oldalon pedig az átlaghőmérséklet és az átlagos mintavételi sebesség jeleníthető meg.

Az Adatok menüpontban a legutóbbi mérés adatait tekinthetjük meg az előzőekben leírtak szerint.

A mikroprocesszor által kijelzett minta térfogat validálása

A mikroprocesszor által kijelzett minta térfogat ellenőrzése akár mérésenként is könnyen elvégezhető a gázóráról közvetlenül leolvasott induló és végső térfogat alapján. Egy ilyen ellenőrzést mutatnak az alábbi adatok.

Mintavevő:	KAMU-2.
Mérés napja:	2018.09.21.
Mintavevő anyag:	Ø47 mm üvegszálas szűrőlap
Mintavétel időtartama:	30 perc
Beállított leszívási sebesség:	20 l/perc.
Mikroprocesszor kijelzése a mintavétel után: Totál:	613,73 l, 21,9 °C, 20,45 l/perc.
Gázóráról közvetlenül leolvasott levegő minta:	613,0 l.
Eltérés a gázminta mennyiségek között::	0,12 rel %.

4. Az izokinetikus leszívási paraméterek számítása

Az izokinetikus paraméterek számítására Excel felület készült, amely integrálva lett a korábbi térfogatáram számító algoritmussal.

A térfogatáram számítás legelső Excel kidolgozását számunkra még műegyetemi hallgatóként az a Merka Máriusz készítette, aki már régóta a Bálint Analitika Kft. levegőszennyezés vizsgáló részlegének a vezetője.

A program az alábbi munkalapokat tartalmazza:

1. Adatbevitel
2. Mérési pontok meghatározása
3. Térfogatáram számítás eredmény lap
4. Izokinetikus beállítás
5. Izokinetikus ellenőrzés
6. Számítások

Az **izokinetikus leszívás beállítás munkalap**ot egy konkrét példán keresztül az alábbiakban mutatjuk be.

Víztartalom [kg/Nm ³ , száraz] fN	0,0245	Számítások lapról			
Kürtő hőm. [°C]	24,00	Eredmény lapról			
A gáz átlagsebessége a csatornában [m/s]	11,66	Eredmény lapról			
Barometrikus nyomás [kPa]	100,45	Eredmény lapról			
Abszolút nyomás a csatornában [hPa]	100,41	Eredmény lapról			
Gázóra hőm. [°C]	30,0	Be kell írni!			
d beszívó [mm]	6,00	5,00	7,00	8,00	
Aktuális mintavételi sebesség 105%-os isokinetikai arányhoz [l/min]	20,5	14,3	28,0	36,5	

Az izokinetikai arány ellenőrzése lapot - amely egyben a porkoncentrációk kiszámítását is tartalmazza – a következő oldal mutatja).

Izokinetikai arány és porkoncentráció számítása

Helyszín:	ALCUFER	Pontforrás:	P1				
Dátum:	2019.05.30						
Mintavevő jelölése:	KAMU-1				XY	Be kell írni!	
Szűrő jelölése	átm 82 üveg	805	807	808			
Mintavétel időtartama, perc	30	30	30		VZ	Ez a lap számolja	
Levegő minta	menyisége, liter	623,5	624,4	625,4			
	l/perc	20,8	20,8	20,8		Eredmény lapról	
	hőm., °C	16,7	21,2	21,8			
	nyomása, kPa	100,5	100,5	100,5			
	Nl	582,5	574,4	574,2			
Por tömege, mg		2,6	2,1	2,9			
Por konc., mg/Nm ³		4,5	3,7	5,1			
Időarányos átlag		4,4					
Véggáz térfogatáram, Nm ³ /h szá		45 307					
Por kibocsátás, kg/h		0,199					
Véggáz	áramlási sebesség, m/s	11,66			Átlagos!		
	hőm., °C	24,0					
	nyomás, kPa	100,4					
	nedvességtart. [sz], kg/Nm ³	0,0245					
Nosulu	átmérő, mm	6,00	6,00	6,00			
	felület, mm ²	28,3	28,3	28,3			
	áramlási sebesség, m/s	12,95	12,77	12,77			
Izokinetikai arány, %		111,1	109,5	109,5			
Követelmény, %:		95,0 - 115,0					
<u>Beszívó nyílás méreteket LÁSD az "Izokinet beállítás" lapon!</u>							