

## LEVEGŐTISZTASÁGVÉDELMI MÉRÉSEK

### Vezetékben áramló közeg mennyiségének meghatározása sebességmérés útján

A csővezeték valamely keresztmetszetén időegység alatt átáramló közeg mennyiségét a következő fogalmakkal ill. mértékegységekkel jelölhetjük:

- térfogatáram (q)m<sup>3</sup>/s;
- m<sup>3</sup>/htömegáram (m)kg/s;
- kg/h

A térfogatáramot általánosan a

$$q = \int_A \underline{c} \cdot d\underline{A} = C_{\text{á}} \cdot A$$

egyenlet határozza meg. Tehát a térfogatáramot meghatározhatjuk:pontenkénti sebességértékekből az integrálformula felhasználásával; vagy a térfogatáram közvetlen mérésével.A fenti integrálformulát alapul vevő mérési módszereknél a  $\underline{c} \times d\underline{A}$  skaláris szorzat integrálását a csővezeték falai által határolt felületen kell elvégezni.Ha elegendően hosszú egyenes csőszakasz van a mérési sík előtt, akkor a sebességvektor a csőfalakkal párhuzamosnak tekinthető, emiatt a felületnek csak a sebességre merőleges vetületének van szerepe. Ha az integrálás tartománya a vezeték keresztmetszete - a sebességre merőleges sík -, akkor a sebesség és a felületelem vektorjellegétől eltekinthetünk.A sebességeloszlás függvényét nem ismerjük, így az integrálás helyett összegzéssel határozzuk meg a térfogatáramot:

$$q = \sum_{i=0}^n c_i \Delta A_i$$

Ha a  $\Delta A_i$  felületelemekről feltételezzük, hogy azok nagysága állandó, azaz  $A/n$ ; úgy az állandó a  $\sum$  jel elé kivihető, és a

$$q = \frac{A}{n} \sum_{i=0}^n c_i$$

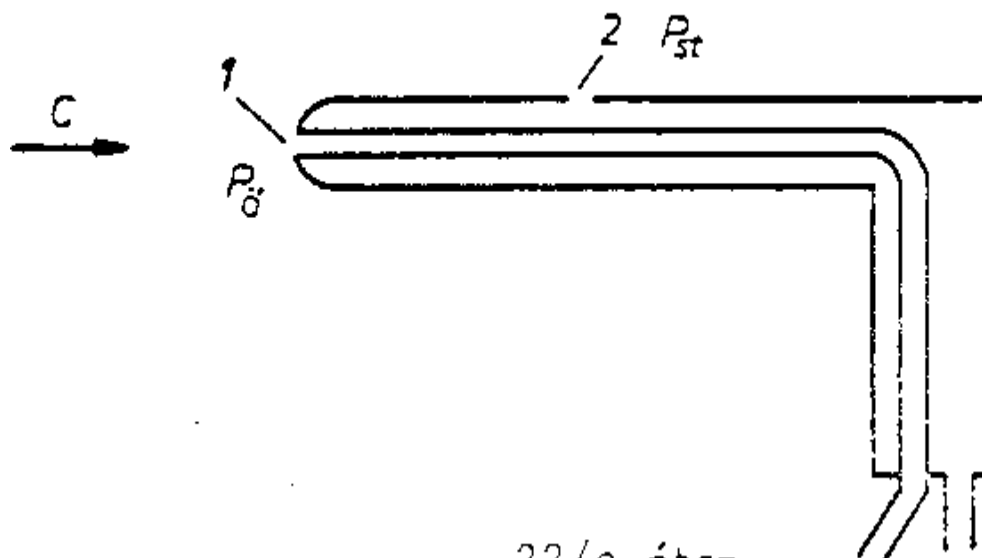
összefüggés adódik.

A fenti összefüggés akkor alkalmazható, ha a mért értékek egyenlő nagyságú felületelemekhez tartoznak. A mérési pontokat ennek megfelelően kell a mérési szelvényben (keresztmetszetben) kijelölni. Körkeresztmetszetű csőben legalább két; egymásra merőleges átmérő mentén kell a sebességet megmérni.A tapasztalat szerint a D átmérőjű kört elegendő 5 egyenlő felületű elemre bontani - egyébként az MSZ ISO 9096 szabvány az irányadó a mérés elvégzésére.Az elemeket határoló vonalak koncentrikus körök. A mérési pontok azokon koncentrikus körökön vannak, melyek a felületelemeket további két egyenlő felületű gyűrűre bontják.Így a teljes kör területére valójában 10 egyenlő területű körgyűrűre kell osztani, s minden páratlan sugáron kell sebességet mérni. Az átmérő mentén 10 mérési pont helyét meghatározó viszonyszámokat a következő táblázat tartalmazza:

Mérési pontsorszám	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Si/D	0,026	0,082	0,146	0,226	0,342	0,658	0,774	0,854	0,918	0,974

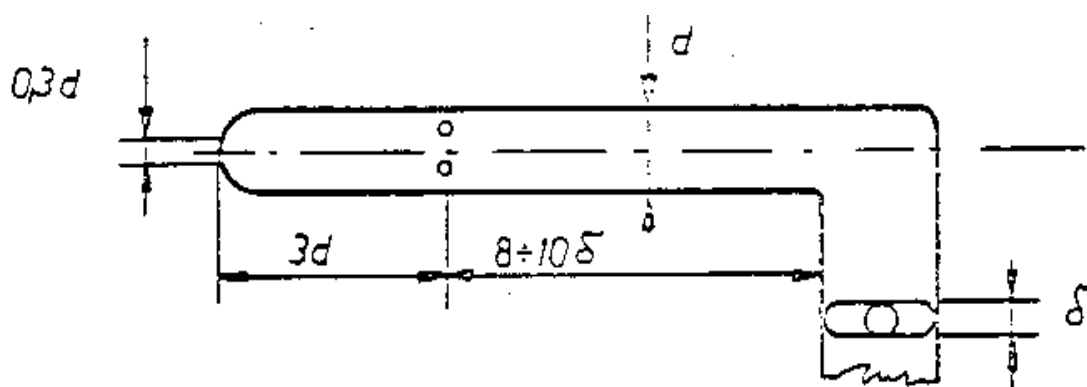
Amennyiben a csővezeték téglalap keresztmetszetű, akkor a mérési síkot egybevágó téglalapokra kell felosztani; melyek mindegyike mértanilag hasonló a csővezeték keresztmetszetéhez. A sebességet az egyes mezők súlypontjában kell mérni; az átlagsebesség pedig a mért sebességek számtani középértéke. A felosztás során kapott négyszögek száma min. 16 legyen.A sebességmérést a Prandtl- féle csővel végezzük. A Prandtl- féle cső az áramlás valamely pontjában uralkodó sebességnek nyomáskülönbség útján való mérésére szolgál. (22/a)

## Prandtl-cső



22/a. ábra

Lényege egy, az áramlással szemben elhelyezkedő kettős falú cső, amelynek elején a külső és belső cső közötti teret legömbölyített orr zárja le. A belső csőbe a szimmetriatengelyen levő orrfurat, a külső és a belső cső közötti térbe pedig az orrfurattól távol, a külső cső palástján levő palástfuratok nyílnak. Az orrfurat a belső csővön keresztül, míg a palástfuratok a két cső közötti téren keresztül külön-külön csatlakoznak a nyomásmérő műszerhez. (22/b)



22/b. ábra

A cső orrpontjában a folyadék sebessége zérus, ott tehát torlópont keletkezik. A hengeres részen viszont, az orrponttól távol, a sebesség közel ugyanakkora, mint ugyanazon helyen a cső odahelyezése nélkül lenne. A Bernoulli egyenlet az orr- és oldalfurat között:

$$p_1 = \frac{\rho}{2} c_2^2 + p_2$$

Az orrfuratban tehát a  $c_2$  sebességnek és a  $p_2$  statikus nyomásnak megfelelő össznyomás keletkezik. A  $p_1 - p_2$  pedig a  $c_2$  sebességnek megfelelő dinamikus nyomás.

$$p_{\text{din}} = \frac{1}{2} \rho c_2^2 = p_1 - p_2$$

A  $c_2$  sebesség, amely a Prandtl-cső odahelyezése nélkül azon a helyen uralkodó  $c$  sebességgel:

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1 - p_2)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{\Delta}}{\rho}}$$

ahol:  $\rho$  a gáz sűrűsége

A gáz sűrűségét gázelemzési adatokból ill. a gáz hőmérsékletének és nyomásának méréséből az egyetemes gáztörvény segítségével számíthatjuk; mégpedig olyan elhanyagolással, hogy a gázkeveréket ideális gáznak tekintjük.

A  $pV = \frac{m}{M} \cdot RT$  egyetemes gáztörvényből

A gázsűrűség:  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{p \bar{M}}{RT}$  ahol:  $p$  a gáz nyomása (Pa)  $\bar{M}$  a gázelegy átlagos

móltömege  $\bar{M} = \sum_{i=1}^n X_i \cdot M_i$

$$X_i = \frac{t_i \%}{100}$$

$X_i$ : az  $i$ -edik komponens móltörtje (-)  $M_i$ : az  $i$ -edik komponens móltömege (g/mol)  $R$ : egyetemes gázállandó, értéke 8,31 J/mol KT: a gáz abszolút hőmérséklete

A gázsűrűség számításánál figyelembe kell venni a gázkeverékben jelenlevő vízgőzt is, mivel a sebességmérés a csatorna belsejében történik annak hőmérsékletén, míg gázelemző műszerek a száraz gázban határozzák meg az egyes komponensek koncentrációját.

A mért normál állapotú, száraz gázra vonatkozó koncentrációkból és a mért nedvességtartalomból a nedves normál gázsűrűség kiszámítható:

$$\rho_n = \frac{\rho_x + f_n}{1 + \frac{f_n}{0,804}}$$

ahol:  $\rho_n$  a normál állapotú nedves gázsűrűség (kg/m<sup>3</sup>)  $\rho_x$  a normál állapotú száraz gázsűrűség (kg/m<sup>3</sup>)  $f_n$  a mért nedvességtartalom (kg vízgőz/m<sup>3</sup> gáz) 0,804: a vízgőz normál sűrűsége (kg/m<sup>3</sup>) A számított nedves normál gázsűrűségből az állapotváltozók ismeretében ki kell számítani az effektív gázsűrűséget az alábbiak szerint:

$$\rho_{eff} = \rho_n \cdot \frac{T_0 \cdot p}{T \cdot p_0}$$

ahol  $\rho_{eff}$  effektív gázsűrűség (kg/m<sup>3</sup>)  $\rho_n$  normál nedves gázsűrűség (kg/m<sup>3</sup>)  $T_0$  273K  $p_0$  a gáz nyomása a csatorna adott pontján (Pa)  $T$  a gáz hőmérséklete a csatorna adott pontján (K)  $p$  a poléggöri nyomás; 101325 Pa

Az így kapott effektív gázsűrűség értékét kell a gázsebesség számításához a

$$c_i = \sqrt{\frac{2 p_{\Delta}}{\rho_{eff}}}$$

képletbe helyettesíteni. A sebesség pontonkénti értékeiből az előtt leírtak szerint számtani átlagolással adódik az átlagsebesség.

A véggáz térfogatárama pedig  $q = C \cdot \bar{c}$ . A (m<sup>3</sup>/h) ahol:  $\bar{C}$  átlagsebesség (m/s)  $A$ : áramlási keresztmetszet (m<sup>2</sup>)

A térfogatáram normál állapotban az egyített gáztörvény segítségével számítható:

$$q_n = q \cdot \frac{T_0 \cdot p}{T \cdot p_0}$$

A jelölések az előbbieket szerint ismertek. A száraz, normál térfogatáram (nedvesség nélkül):

$$q_{sz} = q_n \cdot \frac{1}{1 + \frac{f_n}{0,804}} \text{ m}^3 / \text{h}$$

### A poremisszió mérése

A poremisszió ill. porkoncentráció mérése nagy körültekintést igénylő feladat. A mérés során a gyártástechnológia (ellenőrzött technológia) teljes áttekintése mellett meg kell ismerni a pontforrások műszaki-technikai jellemzőit; a por és kémiai tulajdonságait; valamint a légtechnikai gépek és porleválasztó berendezések működési elvét. Adatokat kell gyűjteni és meg kell ismerni a berendezés hatékony működését befolyásoló áramlástani, és egyéb műszaki jellemzőit. Ezért a poremisszió mérést végző szakembernek kellő üzemi és technológiai ismerettel kell rendelkezni. A gyakorlatban előforduló portechnikai mérések nagyon sokrétűek. Minden mérés előtt tisztázandó a mérés célja. Pontos és egyértelmű mérési eredmények szükségesek a hatósági intézkedések megalapozását képező emisszió ellenőrző vizsgálatok során. Más jellegű, de szintén igényes feladat a nagyértékű beruházásokhoz tervezési alapadatok szolgáltatása portechnikai mérésekre alapján. A vizsgálandó objektumok különbözősége miatt a mérési módszerek és az eszközök kiválasztását körültekintően kell elvégezni. Más mérési módszereket kell választani klímaberendezések ("tisztá szoba technika") és porleválasztó ciklonok portechnikai vizsgálatokor. A mérési módszerek és eszközök megválasztását a porkoncentráció, a por szemcseméret-eloszlása és maga a vizsgálandó technológia jellemzői határozzák meg. Nem elhanyagolandó szempont a por mechanikai koptató hatása és egyéb kémiai tulajdonságai (korrózió, robbanóképesség) sem. Nagyon fontos a mérőeszköz megválasztásánál a por morfológiai tulajdonságainak figyelembevétele. (Szemcseméret, alak, mechanikai szerkezet, tapadóképesség, stb.) A portechnikai vizsgálatoknál külön speciális problémát okozhat a hordozógáz magas hőmérséklete. (Kohászati berendezések, hőkezelő kemencék, hulladékégetők.) Szintén egyedi probléma az agresszív gázokban ill. vízgőzzel telített vagy túltelített gázokban történő porkoncentráció meghatározása.

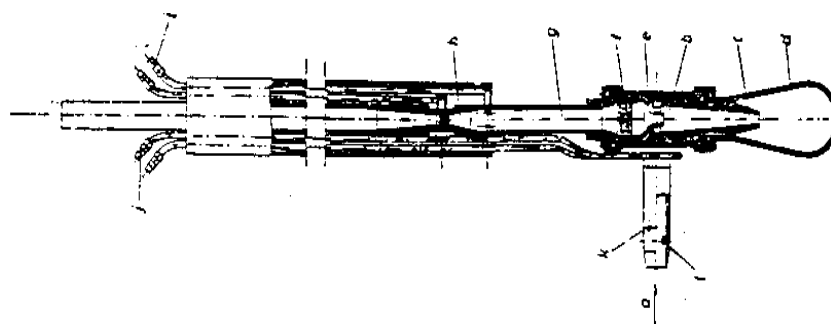
### A porkoncentrációmérő berendezések ismertetése

A porkoncentrációmérő készülékek működési elvük és szerkezeti megoldásuk szerint igen különbözőek. A készülékeket két nagy csoportra oszthatjuk: -szakaszos üzemű, gravimetriás mérőkészülékek, amelyek közvetlen módon, tömegmérésre visszavezetve határozzák meg a gáz portartalmát. (Mintavételes)-folyamatosan működő, regisztrálóval ellátott (vagy adatgyűjtővel) készülékek, amelyek közvetetten; a portartalom függvényében a hordozógáz megváltozott villamos, optikai és egyéb tulajdonságait mérik; s ezek változásából lehet a porkoncentrációra következtetni. Ezeket a műszereket gravimetriás módszerrel kalibrálni kell. (Optikai elven mérő; radiometrikus; triboelektromos pormérők.) A szakaszos üzemű porkoncentrációmérő berendezések tovább osztályozhatók: -Külső téri leválasztóval ellátott; amely a részgázáram portartalmát a gázcsatornán kívül választja le. -Belső téri leválasztóval ellátott, amely a részgázáram portartalmát a főgázáram hőmérsékletén, a gázcsatornán belül választja le.

Általában előnyösebb az utóbbi megoldás, mivel a mintagáz portartalma gyakorlatilag veszteség nélkül leválasztható; nincs szükség a mintagáz fűtésére sem; mivel nincs kondenzáció a leválasztóban. Külső téri leválasztóval ellátott porkoncentrációmérő berendezéseket általában nagymennyiségű porminta gyűjtésére alkalmazzuk; ami ún. nagy térfogatú (high volume sampler) mintavevővel végezhető. Ebben az esetben szinte mindig fűtött szonda szükséges a kondenzáció megakadályozására. A külső téri leválasztóval ellátott pormérőeszköz még számos alkalmazástechnikai problémát vet fel; de pl. vízgőzzel telített vagy túltelített véggáz szilárdanyag tartalmát megfelelően csak ilyen eszközzel kísérlelhetjük meg meghatározni. A részgázáram portartalmát mindkét esetben valamilyen porleválasztón fogjuk fel: - ciklon- szűrőpapír (síkszűrő, szűrőhüvely)- rostszűrő- elektrofilter.

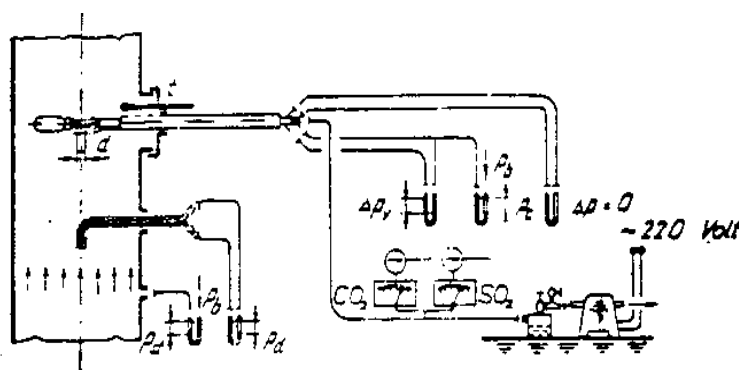
A gyakorlatban széleskörűen elterjedtek a szakaszosan működő gravimetriás porkoncentrációmérő eszközök. Megfelelő odafigyeléssel és gyakorlattal megbízható értékeket adnak. Működésük lényege, hogy a zárt csővezetékben áramló gázból (főgázáram) gázmintát szívunk le (részgázáram), miközben a részgázáram portartalmát leválasztjuk; majd mérlegesen mérjük. Az így kapott por tömege osztva a gáz minta térfogatával adja a porkoncentráció értékét.

Magyarországon valószínűleg a legelterjedtebb és legismertebb gravimetrikus porkoncentrációmérő eszköz az S-20 típusú ciklonszonda; amely széles körben alkalmazható; akár nagy vagy kis portelések esetén; a mikrociklon síkszűrőre cserélhető; vagy akár szállópor koncentrációjának mérésére is alkalmazható. A ciklonszonda metszeti rajza az 23. ábrán látható.



23. ábra

A mérés során a ciklonszonda a zárt csatornában áramló főgázáramban van elhelyezve és a leszívott áram portartalmát a csatornában uralkodó gáz hőmérsékletén választja le. Működése a következő: a részgázáram az 'a' leszívócsonkon lép be a 'b' mikrociklonba, ahol a gáz szilárd szemcséi a centrifugális erő hatására leválasztódnak; s a 'c' kúpos csőben a 'd' portartályba jutnak. A tisztított részgázáram az 'e' merülőcsövön és az utóleválasztó 'f' rostszűrőn és a 'g' szondaszáron át távozik. A részgázáram mennyiségének mérése szolgál a szondaszárba épített 'h' Venturi- féle szűkület. A helyes részgázáram leszívási sebesség beállítására szolgál a leszívócsonk külső palástján elhelyezett főgázáram statikus nyomását érzékelő furat; illetve a belső falon elhelyezett részgázáram statikus nyomásérzékelő furat ('k' illetve 'l'). A furatok impulzusvezetékkel kapcsolódnak a 'j' gumitömlőcsatlakozó csomokhoz, a szondaszár végén. Ugyancsak itt csatlakoztatható a nyomáskülönbségmérő a Venturi- mérő nyomáskivezetéseihez. A teljes mérőkör vázlatos elrendezése a 24. ábrán látható.



24. ábra

A porkoncentráció mérése - mint ahogy már írtuk - nem egyszerű feladat. Helyes kivitelezéséhez nagyon sok körülményt figyelembe kell venni. A gravimetriás porkoncentrációmérés alapvetően két módszerrel végezhető:--pontonkénti koncentrációmeghatározással az összes pontban nyert minták együttes gyűjtésével.

A két mérési mód elvileg azonos eredményt szolgáltat; alkalmazásukat mindig a vizsgálat célja határozza meg; elégséges-e az átlagos koncentráció ismerete, vagy ismernünk kell-e a porkoncentráció eloszlását is.

A pontonkénti koncentrációmérés jóval munkaigényesebb, a kiértékelés hosszadalmas; míg az átlagkoncentrációmérés esetén a mérés során egy sor szigorú megkötést be kell tartani.

A gravimetriás porkoncentrációmérés részgázáram elszívásán, s az abban levő szilárdanyag leválasztásán és visszamérésén alapul. A mérés alapvető célja a reprezentatív mintavétel, tehát az, hogy a leszívott részgázáram porkoncentrációja és a por szemcseméret eloszlása egyezzen

meg a főgázáram helyi porkoncentrációjával, illetve szemcseméret eloszlásával. Vizsgáljuk meg, hogy ezek a feltételek hogyan teljesíthetők! Legyen a részgázáram leszívására szolgáló leszívócsonkban az átlagsebesség  $c_{sz}$ . Vizsgáljuk meg az áramvonalak alakulását  $c_{sz} < c_{ax}$ ;  $c_{sz} > c_{ax}$  és  $c_{sz} = c_{ax}$  esetén.

A leszívócsonkba belépő térfogatáram

$$V_{sz} = c_{sz} \cdot \frac{d_{sz}^2 \pi}{4}$$

ahol  $d_{sz}$  a leszívócsonk átmérője.

A leszívócsonkba jutó gázcsepeket határoló áramfelület a hengerszimmetria következtében forgásfelület, melynek átmérője a szonda előtt 5-10  $d_{sz}$  távolságra  $d$ .

Felírva a kontinuitás (folytonosság) tételét:

$$\frac{d^2 \pi}{4} \cdot c_{ax} = \frac{d_{sz}^2 \pi}{4} \cdot c_{sz}$$

ahonnan  $d$  meghatározható

$$d = d_{sz} \sqrt{\frac{c_{sz}}{c_{ax}}}$$

Az összefüggés szerint a szondába jutó gázcsepeket határoló áramfelület átmérője  $d > d_{sz}$ , ha  $c_{sz} > c_{ax}$  és  $d < d_{sz}$ , ha  $c_{sz} < c_{ax}$ . Kérdés, hogy ebben az esetben görbültek-e az áramvonalak? Mellozva a levezetéseket, fogadjuk el, hogy az áramvonalak bizonyíthatóan a csőtengellyel párhuzamos egyenesek, ha  $c_{sz} = c_{ax}$

A következőkben vizsgáljuk meg a szilárd szemcsék mozgását görbült pályákon. Szintén mellozva a bonyolult differenciálegyenletekkel leírható mozgást, fogadjuk el, hogy a szemcsék áramlását csak a  $c_{sz}/c_{ax}$  hányados határozza meg.

A leszívócsonkba belépő gázban levő szilárdanyag koncentrációja akkor egyezik meg a helyi koncentrációval, ha a leszívott gázmennyiséghez "tartozó" valamennyi szemcse bejut a szondába, azaz a szondába bejutó gázcsepeket határoló áramfelületen nem lép át szilárd anyag.

$c_{sz} > c_{ax}$  esetén az elszívócsonkba jutó gázcsepekhöz tartozó porszemcsék átlélik a határoló áramfelületet, tehát az elszívott gázban levő szilárd anyag koncentrációja kisebb, mint az elszívócsonk előtti koncentráció.

$c_{sz} < c_{ax}$  esetén viszont olyan szemcsék is bejutnak a gázmintába, amelyek nem tartoznak az áramfelülethez, tehát a minta koncentrációja nagyobb a helyi koncentrációnál.

$c_{sz} = c_{ax}$  esetén az áramvonalak nem görbültek; a porszemcsék pályája megegyezik az áramvonallal, tehát a beszívott részgázáram porkoncentrációja megegyezik az főgázáram helyi porkoncentrációjával.

A  $c_{sz} = c_{ax}$  feltételt a gyakorlatban izokinetikusságnak nevezik, ami azonos sebességű leszívást jelent.

Elméletileg, de a gyakorlatban is bizonyítható, hogy a mérési hiba  $c_{sz} = c_{ax}$  esetén a legkisebb, gyakorlatilag 0%.  $c_{sz} < c_{ax}$  esetén a hiba rohamosan nő, míg  $c_{sz} > c_{ax}$  esetén a negatív hiba értéke kevésbé nő  $c_{sz}/c_{ax}$  hányados növekedésével.

A fentiekből következik, hogy a porkoncentráció mérésekor törekedni kell az izokinetikus leszívás biztosítására. Az izokinetikus leszívás megvalósítható ún. egyszerű leszívócsonkokkal, null-nyomású leszívócsonkokkal és sebességmérő szondával. Az egyszerű leszívócsonk alkalmazásakor az előzetes pontonkénti sebességmérés ismeretében a pormérőeszközhöz rendelkezésre álló nomogramok segítségével olyan méretű beszívónyílást választunk, amelynél az azonos sebességű leszívás a szivattyú beállításával biztosítható.

A null-nyomású leszívócsonkok esetén a mérés során folyamatosan mérjük a főgázáram és a részgázáram statikus nyomását, s a leszívószivattyút úgy szabályozzuk, hogy a két statikus nyomásérték megegyezzen (a két nyomásértéket differenciál nyomásmérővel mérve  $Dp=0$ ). A Bernoulli egyenlet szerint ebben az esetben szükséges, hogy megegyezzen a főgázáram és a részgázáram dinamikus nyomása is, mivel az össznyomások megegyeznek. A dinamikus nyomások azonossága a sebességek megegyezését jelenti, tehát  $c_{sz} = c_{ax}$ ; a leszívás izokinetikus.

A sebességmérő szondák esetén a porkoncentrációmérés során folyamatosan mérik a fógázáram helyi sebességét a szondafejbe épített Prandtl-féle csővel, s ennek ismeretében a leszívószivattyú teljesítményét úgy szabályozzák (elektronikus fordulatszám szabályozás; résszabályozás), hogy a részgázáram sebessége a beszívónyílásban megegyezzen a fógázáram helyi sebességével. A porkoncentrációmérés nagyon jól automatizálható, szabályozható, s személyi számítógépek alkalmazásával a porkoncentrációeloszlás is aránylag gyorsan elvégezhető.

Visszautalva a gravimetriás porkoncentrációmérés két módjára: a pontonként elvégzett mérés esetén csak az izokinetikus leszívás biztosítása az előírás, míg az összes pontban nyert minták együttes gyűjtése esetén az előbbin túl végig azonos átmérőjű beszívónyílást kell alkalmazni; s a pontonkénti mintavételi időknél meg kell egyezni.

### **Levegőt szennyező gázok és gőzök emissziójának mérése**

A levegő szennyezettségi állapotát, annak időben és térben különböző körülmények hatására bekövetkező változását, a levegőben jelenlevő szennyező anyagok koncentrációját az immiszió mérésével lehet meghatározni. A levegő szennyezettségének ismerete igen fontos, de semmi esetre sem elegendő a szennyezés elleni hatékony küzdelem érdekében. A szennyezés csak úgy korlátozható, ha ismerjük a légszennyező források által kibocsátott szennyező anyagok minőségét és mennyiségét. Szintén pontos mennyiségi viszonyokat feltételeznek a technológiai módosítások a szennyezés csökkentése érdekében. A légszennyező anyagok emissziójának mérése nem kevésbé fontos a hatósági döntések műszaki megalapozására. Hatékony levegőtisztaság-védelmi szabályozás a szennyező anyagok kibocsátására vonatkozó követelményekre épülhet. A határozatokban rögzített követelmények ellenőrzésének egyik módja az emisszió mérése. Az emissziómérések előtt a technológia ismeretében az anyagmérleg megszerkesztésével szükséges a várható légszennyezőanyag- emisszió becslése műszaki számításokkal. Ez a vizsgálat megtervezéséhez elengedhetetlen. Az anyagmérleg felállítása során minőségi és mennyiségi információkat nyerünk a vizsgált technológiáról. A mérés ezek ismeretében tervezhető meg. A technológia tanulmányozása során adatokat gyűjtünk a berendezésekről, a légtechnikai gépek teljesítményadatairól, a hőmérséklet- és nyomásviszonyokról. A fenti információk ismeretében számíthatók a várható szennyezőanyag-koncentrációk, amelyek alapján ki tudjuk választani a megfelelő méréstartományú gázelemző készüléket, meg tudjuk mondani, hogy hány darab mintát kell venni és mennyi ideig tart a mintavétel.

Alapvetően fontos, hogy a választott mérési módszer érzékenysége illeszkedjen a várható koncentrációkhoz, a mérés pedig kövesse a technológia időbeni lefolyását. Az anyagmérleg pontos megszerkesztése nem mindig egyszerű, például a veszteségek (tömítetlenségek, stb.) feltárása sok esetben mélyebb, kiterjedtebb vizsgálatot igényel. Erre egy példa: Egyszerűnek tűnik egy széntüzelésű kazán várható kibocsátásának számítása, ha ismerjük a berendezés kalorikus adatait, valamint az eltüzelésre szánt tüzelőanyag elemanalízisének eredményeit. Sztöchiometriai és égéseleméleti számítások alapján nagyon pontos eredményt kaphatunk, ha azonban mélyebben vizsgálódunk, rájövünk, hogy egyetlen légszennyező anyag mennyiségét nem tudjuk megfelelő pontossággal számítani! Miért? Soroljuk! A szén-monoxid és a korom koncentrációja nem számítható; mindkettő tüzeléstechnikai paraméter, magától a tüzelés jóságától függ. A nitrogén-oxidok koncentrációját szintén számtalan paraméter befolyásolja: tüzelőanyag nitrogéntartalma, légfelesleg, tűztérhőfok, tűztérgeometria, levegőhozzávevétel módja, stb. A kén-dioxid mennyisége is bizonytalan: egyáltalán milyen kéntartalmat vegyünk figyelembe, ismerjük-e az éghető kéntartalmat, ismerjük-e a salak bázikus tulajdonságait? A fenti példa bizonyítja, hogy egy nagyon jól ismert technológia esetén az emisszió tekintetében mennyi bizonytalanság van. Ezek után felmérhető, hogy egy kommunális hulladékégető berendezés várható emissziója milyen bizonytalansággal becsülhető! Éppen emiatt kell megmérni, lehetőleg a legmegfelelőbb mérési módszereket és eszközöket választva.

Az emisszió mérése - annak ellenére, hogy pl. az immisziós vagy a munkatéri koncentrációhoz képest nagyságrenddel nagyobb koncentrációkat kell mérni - komoly mérés-technikai feladatot jelent. A mérést legkülönbözőbb állapotú, s időben változó körülmények között kell végezni. A mérés történhet mintavétellel, vagy mintavétel nélkül (in situ.). A mintavétellel történő méréseket is tovább osztályozhatjuk: -statikus minta (pontminta)-szakaszos minta (átlagminta)-folyamatos mintavétel és mérés (regisztrálással)

A statikus mintavétel és mérés esetén a véggázból egy adott időpillanatban mintát veszünk valamely alkalmasan előkészített (levákumozott) edénybe; majd a mintát a laboratóriumba szállítva

meghatározzuk annak összetételét és koncentrációját. Statikus mintavétel esetén a folyamat időbeliségét csak nagyon sok egymás után vett mintával tudjuk követni, ami munkaigényes és drága. A statikus minta ezért általában csak a szennyezőanyagok minőségét mutatja; illetve a koncentrációk nagyságrendjét. Szakaszos mintavétel esetén valamely időintervallumban mintát veszünk a véggázból; s a meghatározandó komponenst vagy komponenseket adszorpcióval vagy abszorpcióval (fizikai ill. kemisorpció) megkötjük. A szakaszos mintavétel esetén a mintavételi időre jellemző átlagkoncentrációt kapunk, miután a vett mintát a laboratóriumban megelemeztük. Szakaszos mintavételt alkalmazunk, ha a mérendő komponens mérésére nem áll rendelkezésre szelektíven mérő célműszer. Szakaszos mintavétel esetén a mintavételi időket vagy előre rögzítjük; vagy a technológia időbeli lefolyásához igazítjuk azokat. Szakaszos mintavétel esetén előre megtervezett s a laboratóriumban kipróbált mintavételi kört építünk fel a mérőhely közelében. A mintavételi kör részei: - szonda a részgázáram elvezetésére - szűrő a részgázáram szilárd szennyezésektől való megtisztítására - hűtő a részgázáram nedvességtartalmának leválasztására - rotaméter a mintavételi sebesség beállítására - mintavételi edény (abszorber edény vagy adszorbens cső) a vizsgálandó gázkomponens megkötésére - gázóra a részgázáram mennyiségének mérésére - hőmérő a mintagáz hőmérsékletének mérésére - nyomásmérő a mintagáz nyomásának mérésére - szivattyú a részgázáram leszívására - flexibilis csővezeték a mintavételi kör elemeinek összekapcsolására

A mintavételi kör adott esetben további elemekkel bővíthet (egy-egy zavaró komponens megkötésére, vagy a mérendő komponens előzetes kezelésére).

A mintavételi kör elemeinek anyagát úgy kell megválasztani, hogy a vizsgálandó gáz összetételét ne változtassák meg, az esetleges hőhatásnak ellenáljanak.

A mintavevő edény a mintavétel körülményei által meghatározott méretű és minőségű gázmosó palack vagy adszorbenst tartalmazó cső a meghatározandó komponensre nézve specifikus reagens vagy polaritásában megfelelő adszorbens anyagának befogadására.

Szakaszos mintavétel esetén rögzíteni kell: - a mérés helyét; - a mérés időpontját; - a mérési szelvény adatait; - a főgázáram állapotjelzőit; - a mintavevő és mérőeszközök műszaki adatait; - a részgázáram állapotjelzőit; - a részgázáram áramlási sebességét; - a gázóra induló- és végállását; - egyéb, a mért technológiára vonatkozó adatokat.

A vett mintákat a mintavétel végeztével biztonságba kell helyezni; az adszorbenst tartalmazó csöveket légmentesen zárni kell. A mintákat a laboratóriumba való beérkezésig lehetőleg hűtve kell tárolni.

A laboratóriumban a minta analitikai elemzését a vizsgálati tervben rögzítettek szerint, a módszer által biztosított pontossággal kell elvégezni. Az alkalmazott analitikai módszerek: - titrimetria (sósavgáz mérés, kén-dioxid mérés) - gravimetria (kén-dioxid mérés) - potenciometria (klorid, fluorid ionok mérés) - konduktometria (kén-dioxid mérés) - coulometria - spektrofotometria (ammónia mérés, sósav mérés) - lángfotometria (nátrium, kálium mérés) - atomabszorpciós spektrofotometria; ICP (fémionok mérés) - kromatográfia (GC, IC, HPLC, GC-MS) (szerves komponensek)

A gázhalmazállapotú szennyezőanyagok koncentrációja folyamatosan működő gázelemzőkkel is meghatározható. A gázelemző berendezések általában egy-egy gázkomponens elemzésére kifejlesztett specifikus célműszerek. Működésük az gázkomponens és a hő, mechanikai, kémiai vagy elektromos energia specifikus kölcsönhatásán alapul.

Folyamatos üzemű gázelemző berendezések működtetéséhez is egy alkalmasan megválasztott mérőkört kell összeállítani; melynek elemei: - Szonda - Szűrő - Hűtő - Analizátor

A szonda anyaga hő- és korrózióálló. A szűrő a gázminta portartalmát választja le. Anyaga a hőmérséklettől függően kerámia, üvegyapot, papírszűrő membrán, stb. A szűrőt fűteni kell a kondenzáció elkerülése céljából. A fűtés hőmérséklete a mindenkori savharmatpont felett 10-15°C-al kell, hogy legyen. A hűtő feladata a vízgőz eltávolítása. Általában Peltier hűtőelemet tartalmazó hűtőt alkalmaznak, melynek hűtési kapacitását a hűtendő gázmennyiséghez kell igazítani.

Amennyiben a vízgőz még nyomokban is zavarja az analizátort, úgy szárítót, vagy permeációs gázelőkészítőt kell az analizátor elé iktatni. A mérőkör elemeit polipropilén vagy tefloncső, illetve üvegcső köti össze. A szonda és a hűtő közti csővezeték szakaszt fűteni kell.

A továbbiakban példaként néhány folyamatos gázelemzésre alkalmas mérési elvet ismertetek.

A gázelemzők jelentős része az elektromágneses sugárzás (ultraibolya, látható, infravörös) elnyelésének mérésén alapul. Tekintettel arra, hogy a sugárzás elnyelésének spektruma sávós és az elnyelő anyag minőségére jellemző, több alkotót tartalmazó gázelegyek egyes alkotóinak



koncentrációja is meghatározható, ha a mérést olyan hullámhosszúságú sugárzással végezzük, melynél csak a kiszemelt alkotónak van elnyelése. Az  $A$  fényelnyelés (abszorbanancia) és a koncentráció közötti összefüggést monokromatikus sugárzás alkalmazása esetén a Lambert-Beer törvény írja le:

$$A = \lg \frac{I_0}{I} = \epsilon c \cdot l$$

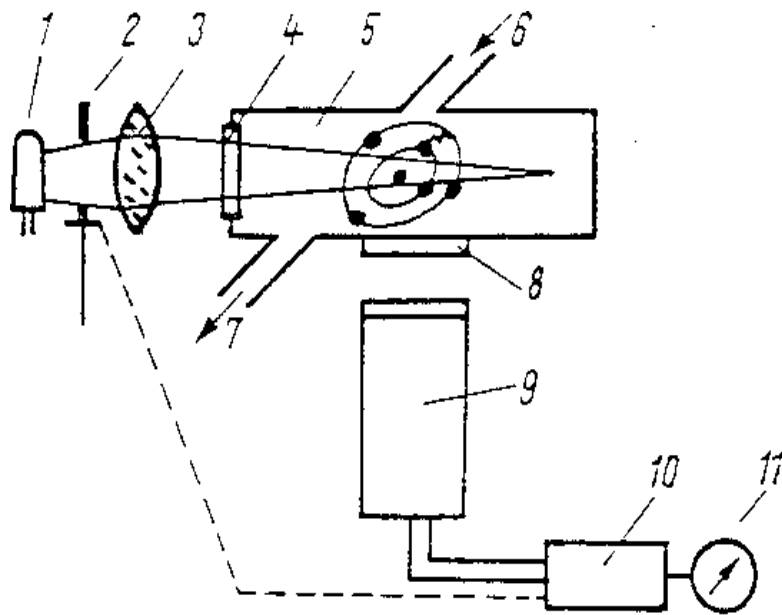
ahol:  $I_0$  a sugárzás intenzitása abszorpció nélküli sugárzás intenzitása abszorpció után  $\epsilon$  moláris abszorpciós koefficiens (állandó)  $c$  mérendő koncentráció  $l$  optikai úthossz, abszorpció közeg rétegvastagsága

Folyamatos mérés esetén az egyik legfontosabb szempont, hogy a sugárforrás nagy stabilitású legyen, vagyis a kibocsátott sugárzás intenzitása hosszú ideig állandó értéken legyen. A sugárforrás instabilitásából eredő hiba nagymértékben csökkenthető, ha kétcsatornás műszert, két sugárúthoz egyetlen sugárforrást alkalmazunk. (Mérő és referencia sugár.) A sugárzás kétrészesre történő felbontása félig áteresztő tükörrel, vagy forgószektorral (tükros, ablakos tárcsa) történhet. A másik lehetséges hibaforrás, ha a vizsgált gáz inhomogén, benne szállópor, kolloid szennyezés van, amely a sugárzás szórását, nem specifikus abszorpcióját okozza, s téves mérési eredményhez vezet.

Ez a hiba csökkenthető, ha a referenciasugárútba is a vizsgált gázt áramoltatjuk, de az alkalmazott sugárforrás által kibocsátott sugárzás hullámhossza eltérően a másik (mérő) sugárúttól olyan, melynél a meghatározandó alkotónak elnyelése nincs. A folyamatos mérésre szolgáló műszerek rendszerint optikai szűrővel (interferencia szűrő) készülnek.

Ultraibolya tartományban a sugárforrás kisnyomású higanygőz lámpa, az optikai elemek kvarcból készülnek. A közeli ultraibolya és a látható hullámhossztartományban a folytonos fény előállítása Wolfrám-szálas izzólámpával, vagy hidrogén lámpával történik. A fényintenzitás mérése történhet közvetlenül, vagy kompenzációs módszerrel.

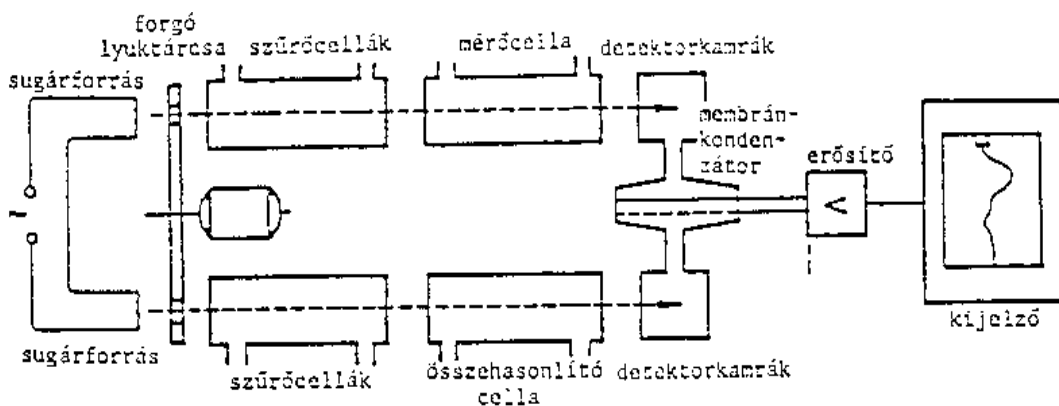
Ultraibolya fény egyes gázalkotókat fluoreszcenciára készítet. Ezen az elven mérhető például a kén-dioxid nagyon kis koncentrációban is. Az ultraibolya fényt higanygőzlámpa állítja elő. Az UV- fény forgó szektoron, lencsén és fényszűrőn át jut az elemző kamrába, amelyen a mérendő gáz átáramlik. Az UV fény energiájának egy részét a kén-dioxid molekulák abszorbeálják, s a többletenergiát monokromatikus fotonok emissziójával kisugározzák. A fotonok hullámhossza a mérendő gázra jellemző, míg a kibocsátott foton sugárzás intenzitása a kén-dioxid koncentrációjával egyenesen arányos. Detektorként fotoelektron sokszorozót alkalmaznak, amely a fotoeffektus jelensége alapján a fotonáramból elektromos áramot állít elő. ( 25. ábra)



25. ábra. A Thermo Electron cég fluoreszcenciás kén-dioxid-elemzője

1 higanygőzlámpa; 2 lyuggatott, forgó tárcsa; 3 lencse; 4 fényszűrő; 5 elemzőkamra; 6, 7 gáz be-, ill. kilépés; 8 fényszűrő; 9 fényérzékelő; 10 elektronikus jelfeldolgozó; 11 mérőműszer

Gázok folyamatos meghatározására levegőből és véggázokból legelterjedtebben a kétsugaras, nem-diszperzív infravörös spektrometriás módszert alkalmazzák. Ez a módszer gyakorlatilag valamennyi, az analitikai infravörös tartományban abszorbeáló gáz- vagy gőzhalmazállapotú alkotó meghatározására alkalmas. A meghatározás érzékenysége és a lineáris koncentrációtartomány az adott berendezés felépítésétől függ. A készülék vázlatát a 26. ábra mutatja be.



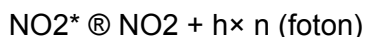
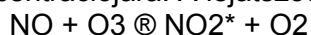
26. ábra Nem-diszperzív URAS IV-gázelemző (Hartman-Braun, NSZK)

A fényfelbontó elemet nem tartalmazó IR gázelemzők sugárforrása króm-nikkel izzószál, melyet stabilizált váltakozó áramú áramforrás táplál. A két, párhuzamosan haladó sugárnyalábot a 375 ford/min sebességgel forgó lyuktárcsa modulálja. A mérő- és összehasonlító cellák belső fala

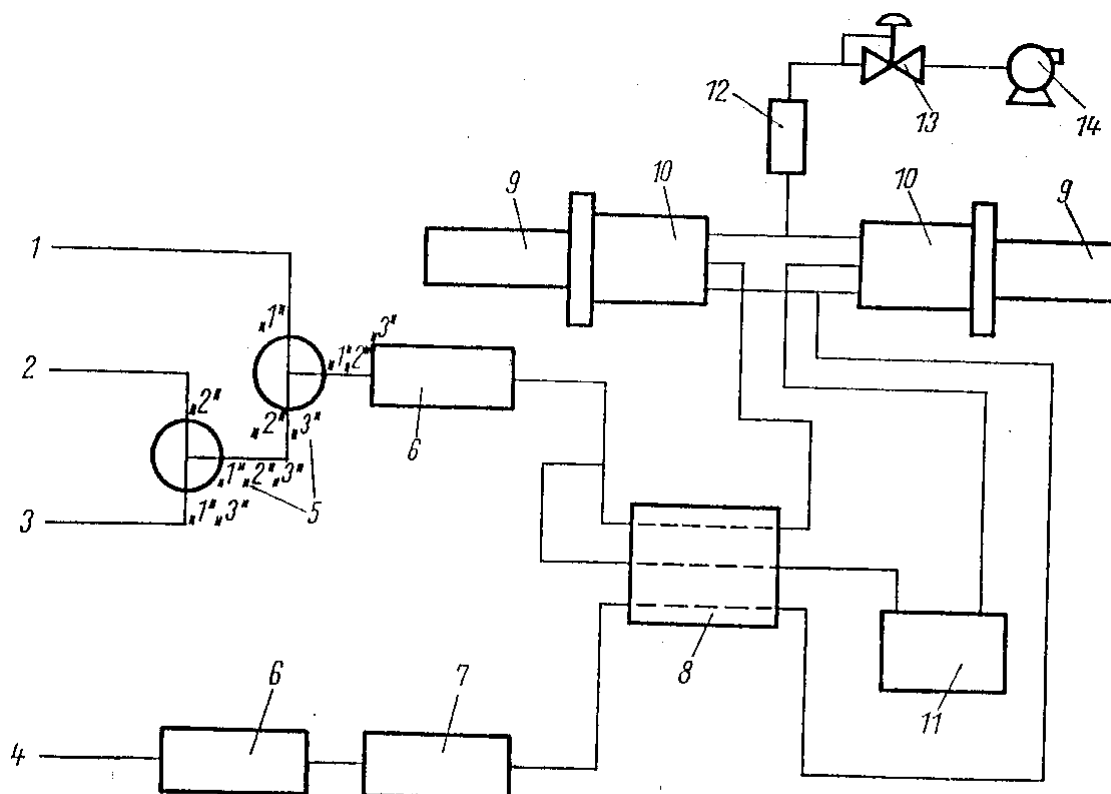
arannyal van bevonva, a két végükön kősó vagy kálium-bromid ablak van. A detektorkamrákat a mérendő, az adott hullámhosszúságú IR- fényt elnyelő gázzal töltik meg; s a két kamrát membránkondenzátor választja el egymástól. A kondenzátorra egyenfeszültséget kapcsolnak. Ha a két fényúton érkező IR- sugárzás intenzitása különböző, nevezetesen a mérő sugárúton érkező a mintában levő alkotó abszorpciója miatt kisebb, mint a referencia- sugár intenzitása, a detektorkamrákban az abszorpció miatti felmelegedés és térfogatváltozás különböző lesz. A membránkondenzátor fegyverzete elhajlik, kapacitása a légrés megváltozása miatt változik, és az elhajlás irányától függően töltés áramlik ki vagy be a csatlakozó vezetéken. Az áramjel 6,25 Hz frekvenciájú váltakozó áram, melyet egy állandó ellenálláson váltakozó feszültségű jellel alakítanak. Erősítés és egyenirányítás után a jelet regisztrálják.

A sugárzás elnyelésének spektruma sávos, az elnyelő anyag minőségére jellemző, így több alkotót tartalmazó gázelegyek egyedi alkotója koncentrációjának meghatározása során a mérést olyan szűrőcellák segítségével kell végezni, amelyek a zavaró alkotót kiszűrik, így csak a vizsgált vegyületnek van abszorpciója. Nemdiszperzív IR- gázelemzők CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO, N<sub>2</sub>O, aceton, benzol stb. gázelegyben való folyamatos meghatározására alkalmasak.

Nitrogén-oxidok (NO és NO<sub>2</sub>) folyamatos mérésére alkalmas a kemilumineszcencia jelensége. A jelenség röviden a következő: ha nitrogén-monoxidot gázfázisban ózonnal reagáltatunk, akkor az ózon kiemelkedően nagy affinitása miatt nem alapállapotú nitrogén-dioxid molekula keletkezik, hanem egy diszkrét energiaszinttel rendelkező, gerjesztett állapotú, metastabil molekula. Ez a gerjesztett molekula energiátöbbletétől monokromatikus foton kisugárzásával szabadul meg, így jut alapállapotba. Az emittált fotonok hullámhossza a nitrogén-oxidra jellemző, a fotonsugárzás intenzitása pedig a nitrogén-oxid koncentrációjára. A lejátszódó reakciók:



A mérőműszer felépítését az 27. ábra mutatja.



27. ábra. A Meloy cég NA 510 típusú nitrogén-oxid-ellenőrzőjének folyamatábrája

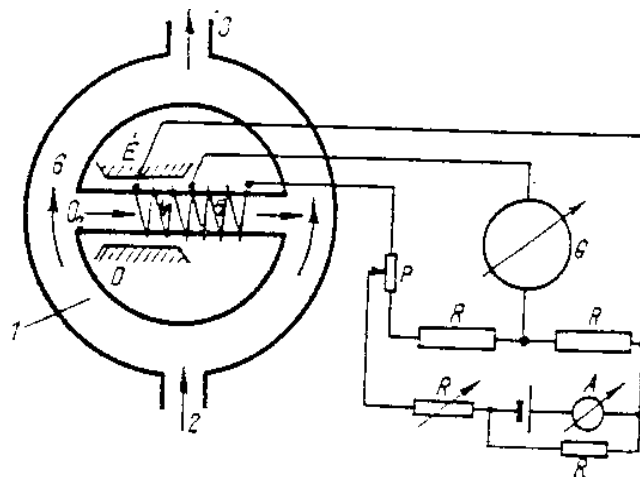
1 kalibráló gáz; 2 gáz minta; 3 nulla-ellenőrző gáz; 4 oxigén az ózonfejlesztéshez; 5 mágneses váltószelepek; 6 gáztisztító; 7 ózon-erősítő; 8 kapilláris termosztát; 9 fotosokszorozó cső; 10 reakciókamra; 11 katalizátoros redukáló kemence; 12 aktív szűrő; 13 nyomásszabályozó; 14 vákuumszivattyú. Kalibrálás esetén az „1”, mérés esetén a „2”, nullaállítás esetén a „3” g. utak nyitottak

A mérőműszerben levő ózongenerátor vagy oxigénpalackból vagy a levegő oxigénjéből elektromos kisüléssel ózont állít elő. Ez az ózon reagál a reakciókamrában a mintagáz NO tartalmával. A

mérőműszer alkalmas NO<sub>2</sub> mérésére is. Ebben az esetben a mintagáz NO<sub>2</sub> tartalma először fűtött molibdénkatalizátoron redukálódik nitrogén-monoxiddá s ezután kerül a reakciókamrába. A mintagáz útja a katalizátorra mágneses váltószeleppel irányítható. A mérőműszer detektora az UV-fluoreszcenciás SO<sub>2</sub> mérőhöz hasonlóan fotoelektronsokszorozó.

Füstgázok és véggázok összetételének meghatározásánál fontos az oxigéntartalom ismerete (hígítás, légfeslesleg). Az oxigénkoncentráció mérésére a legelterjedtebb folyamatos mérési módszer az oxigénmolekula paramágneses tulajdonságán alapul. A gázok, mint gyengén mágneses anyagok mágneses tulajdonsága  $k$  a térfogati mágneses szuszceptibilitással jellemezhető. Diamágneses anyagok esetén  $k < 0$ ; paramágneses anyagok esetén  $k > 0$ . Diamágneses gázok: Cl<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Ar, N<sub>2</sub>, K<sub>2</sub> He. Paramágneses: NO, O<sub>2</sub>. Az oxigén mágneses szuszceptibilitása extrém magas a többi gázhoz képest. Az oxigén paramágnességének oka az oxigénmolekula elektronszerkezetében keresendő: az oxigénmolekulában van egy olyan elektron, amelynek spinje párosítatlan, kompenzálatlan. Ez a kompenzálatlan spin azt eredményezi, hogy az elektron, mint mozgó elektromos töltéssel rendelkező elemi részecske maga körül mágneses teret gerjeszt. Amennyiben a spinek kompenzálatlanok, úgy a molekula makroszkópiusan nem mágneses (diamágneses); ha azonban van párosítatlan spinű elektron, úgy a molekula makroszkópiusan állandó mágnesként viselkedik. Mágneses térben olyan erő lép fel, amely a paramágneses anyagot a térbe bevonni igyekszik. Tekintettel az oxigén paramágneses tulajdonságára és kiugróan magas  $k$  értékére; mennyisége a mágneses térben fellépő erő közvetlen mérésével, vagy a mágneses térben bekövetkező áramlás (mágneses szél) sebességének mérésével meghatározható. A mágneses erő mérésén alapuló műszer egy állandó mágnesből, és a mágnes pólusai között torziós szálon függő, üveggömbökben végződő kereszttrúdból áll. A zárt üveggömbök diamágneses gázt tartalmaznak. Oxigént tartalmazó gázelegyben a torziós szál elfordul, s az elfordulás mértéke az oxigéntartalomtól függ. Detektorként fotocellát és a kompenzációs elvet használják.

Elterjedtebbek a termomágneses oxigénelemzők. A műszerek működésének alapja, hogy a paramágneses gáz szuszceptibilitása a hőmérséklet növekedésével jelentős mértékben csökken. Mágneses erőterben a hőmérsékletkülönbség hatására áramlás, mágneses szél keletkezik. Az áramlás miatt fellépő hőmérsékletváltozás - amely az áramlás sebességétől, illetve az oxigén mennyiségétől függ - ellenállásméréssel (hidkapcsolás, kompenzációs elv) követhető. Egy ilyen mérőműszert mutat be a 28.sz. ábra.



28. ábra. A Magnos 2 gázelemző

1 gyűrűkamra; 2 gázbeáramlás; 3 gázkilépés; 4, 5 érzékelő ellenállások; 6 gázbeáramlás; A árammérő; E, D mágnespólusok; G galvanométer; O<sub>2</sub> oxigén beáramlása; P potenciométer; R ellenállások