

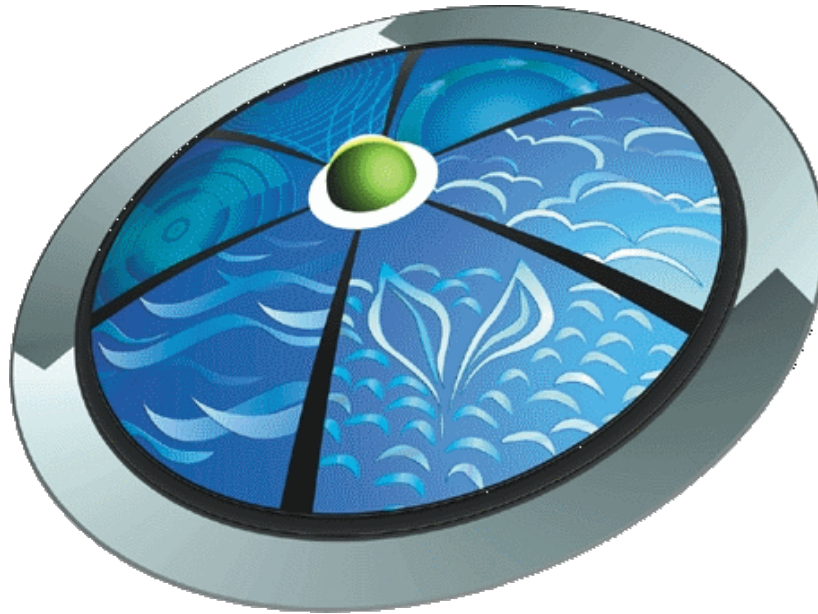


Az anyag a TÁMOP-  
4.1.2.A/1-11/1-2011-0089  
téma keretében készült a  
Pannon Egyetemen.



## Környezetmérnöki Tudástár

Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre



XXV. kötet

# Környezetvédelmi monitoring

Dr. Domokos Endre

Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet



Az anyag a TÁMOP-  
4.1.2.A/1-11/1-2011-0089  
téma keretében készült a  
Pannon Egyetemen.



Környezetmérnöki Tudástár  
Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre

XXV. kötet

# Környezetvédelmi monitoring

Szerzők:  
Domokos Endre  
Kovács József  
Tóthné File Edina

ISBN: 978-615-5044-92-2

2014  
Veszprém  
Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet

# Környezetmérnöki Tudástár

eddig megjelent kötetei

01. Környezetföldtan
02. Környezetgazdálkodás
03. Talajvédelem, talajtan
04. Egészségvédelem
05. Környezeti analitika
06. Környezetvédelmi műszaki technológiák, technológiai rendszerek modellezése, ipari technológiák és szennyezéseik
07. Környezettan
08. Földünk állapota
09. Környezeti kémia
10. Vízgazdálkodás-szennyvíztisztítás
11. Levegőtisztaság-védelem
12. Hulladékgazdálkodás
13. Zaj- és rezgésvédelem
14. Sugárvédelem
15. Természet- és tájvédelem
16. Környezetinformatika
17. Környezetállapot-értékelés, Magyarország környezeti állapota, monitorozás
18. Környezetmenedzsment rendszerek
19. Hulladékgazdálkodás II.
20. Környezetmenedzsment és a környezetjog
21. Környezetvédelmi energetika
22. Transzportfolyamatok a környezetvédelemben
23. Környezetinformatika II.
24. Talajtan és talajökológia
25. Környezetvédelmi monitoring
26. Ivóvíztisztítás és víztisztaság-védelem
27. Levegőtisztaság-védelem és klímakutatás
28. Nukleáris mérési technológia környezetmérnököknek
29. Biztonságtudomány
30. Környezetállapot értékelés
31. Sugárvédelem II.
32. Szennyvíztisztítás korszerű módszerei
33. Környezetmérnökök katasztrófavédelmi feladatai
34. Környezetvédelmi analitika
35. Környezeti auditálás

## Felhasználási feltételek:

Az anyag a Creative Commons „Nevezd meg!-Ne add el!-Így add tovább!” 2.5 Magyarország Licenc feltételeinek megfelelően szabadon felhasználható.



**Nevezd meg!** — A szerző vagy a jogosult által meghatározott módon fel kell tüntetned a műhöz kapcsolódó információkat (pl. a szerző nevét vagy álnevét, a Mű címét).



**Ne add el!** — Ezt a művet nem használhatod fel kereskedelmi célokra.



**Így add tovább!** — Ha megváltoztatod, átalakítod, feldolgozod ezt a művet, az így létrejött alkotást csak a jelenlegivel megegyező licenc alatt terjesztheted.

További felhasználás esetén feltétlenül hivatkozni kell arra, hogy  
"Az anyag a TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0089 téma  
keretében készült a Pannon Egyetemen."

Részletes információk a következő címen találhatóak:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/hu/>

## Tartalomjegyzék

<b>Tartalomjegyzék.....</b>	<b>5</b>
<b>Ábrajegyzék.....</b>	<b>7</b>
<b>Táblázatjegyzék.....</b>	<b>9</b>
<b>1. Bevezetés.....</b>	<b>10</b>
<b>2. A környezeti monitorozás fogalma .....</b>	<b>12</b>
<b>3. Mérési jelek feldolgozása, megjelenítése. Környezetinformatika. A környezeti monitorozás tárgya, eszközei .....</b>	<b>14</b>
3.1. Példa: Kalibráció .....	17
3.2. Példa: Mérés kiértékelés .....	21
<b>4. Analóg és digitális mérés elve. Mérések biztonságtechnikája. Mérőeszközök besorolása. Környezeti monitoring csoportosítása.....</b>	<b>26</b>
4.1. Példa: Off-line környezeti monitoring .....	28
4.2. Példa: On-line környezeti monitoring.....	31
<b>5. Környezeti elemek specifikumai, mint a mérés technika alapja. Környezeti levegő monitoring.....</b>	<b>35</b>
5.1. Hőmérséklet, nyomás, áramlás, vezetőképesség mérésén alapuló mérés technikák. Környezeti levegő fizikai állapotának meghatározása .....	35
5.2. A környezeti levegő összetétel-változásának objektív mérése.....	43
<b>6. Talaj monitoring.....</b>	<b>58</b>
6.1. A talajba jutott szennyezőanyagok károsító hatása .....	59
6.2. A nehézfémek környezetbe jutása .....	59
6.3. Talajmintavétel .....	60
6.3.1. A nagyterjedésű terület, általános talajszennyezettségének jellemzése során, átlagmintákkal és szelvéymintákkal jellemezhető az MSZ 21470/1-80-as szabvány szerint:.....	61
6.3.2. Mintavétel pontszerű légszennyező forrás talajszennyező hatásának vizsgálatához: .....	61
6.3.3. Talajmintavétel pontszerű szennyezőforrások vizsgálatához: .....	61
6.4. Példa: Talajminta előkészítése laboratóriumi vizsgálatokhoz .....	61
6.5. Példa: A légszáraz talaj nedvességtartalmának meghatározása.....	62
6.6. Példa Energia elnyelés/emisszió mérésén alapuló módszerek. A talajok kémiai összetételének meghatározása (A minták fázisösszetételének meghatározása röntgendiffrakciós módszerrel).....	63
6.7. Példa: A talajok mikromorfológiai tulajdonságok meghatározása .....	68
6.8. Példa: A talajkivonat elektromos vezetőképességének meghatározása .....	72
<b>7. Távérzékelés.....</b>	<b>73</b>
7.1. Távérzékelés módjai .....	73

<b>7.2.</b>	<b>Aktív távérzékelés: STRM (esettanulmány) .....</b>	<b>76</b>
<b>7.3.</b>	<b>Aktív távérzékelés: OP-FTIR .....</b>	<b>79</b>
<b>8.</b>	<b>Levegőtisztaságvédelmi mérések a gyakorlatban .....</b>	<b>82</b>
<b>8.1.</b>	<b>Mintavételi eszközök és berendezések.....</b>	<b>82</b>
<b>8.2.</b>	<b>A levegőterheltségi szint mérésének referencia-módszerei.....</b>	<b>83</b>
8.2.1.	Nitrogén-oxidok (NO <sub>x</sub> ) meghatározása (MSZ ISO 7996:1993 – visszavont szabvány).....	83
8.2.2.	Ózon (O <sub>3</sub> ) meghatározása (MSZ 21456-26:1994 – visszavont szabvány).....	83
8.2.3.	Kén-dioxid (SO <sub>2</sub> ) meghatározása (MSZ 21456/37:1992 – visszavont szabvány).....	83
8.2.4.	Szén-monoxid (CO) meghatározása (MSZ ISO 4224:2003 – visszavont szabvány).....	84
8.2.5.	Szálló por meghatározása (MSZ ISO 10473:2003).....	84
8.2.6.	A passzív monitorok mérési elve (MSZ EN 13528-2:2003).....	84
<b>8.3.</b>	<b>A mintavétel technikája.....</b>	<b>84</b>
8.3.1.	A helyszín kiválasztása.....	84
8.3.2.	Környezetvédelmi Mobil Mérőlaboratórium telepítése .....	85
8.3.3.	A mérési helyszínek, mérőpontok jellemzése .....	85
<b>8.4.</b>	<b>Veszprém és térsége levegőminőségi adatainak vizsgálata és értékelése .....</b>	<b>88</b>
8.4.1.	Meteorológiai adatok.....	88
8.4.2.	Nitrogén-oxidok koncentrációja.....	91
8.4.3.	Ózon koncentráció .....	93
8.4.4.	Kén-dioxid koncentráció.....	95
8.4.5.	Szén-monoxid.....	97
8.4.6.	Szálló por (PM <sub>10</sub> ) koncentráció.....	98
8.4.7.	Benzol.....	100

## Ábrajegyzék

1. ábra A Föld prognosztizált és valódi népességének alakulása a múlt század végén.....	14
2. ábra A környezeti monitorozásra kidolgozott egység elvi felépítése.....	17
3. ábra A 3. táblázatban szereplő mérési adatok eloszlási diagramja és az elméleti Gauss-féle eloszlást reprezentáló görbe .....	23
4. ábra A Gauss-féle eloszlás valószínűségi sűrűségfüggvénye.....	24
5. ábra A NO <sub>2</sub> napi átlagkoncentrációból becsült havi- és az abból becsült éves átlagos koncentráció a két monitoring helyen, µg/Nm <sup>3</sup> .....	31
6. ábra A környezeti levegő szennyezettségének meghatározására kiépített on-line monitoring egység elvi felépítése .....	32
7. ábra Az analóg és a digitális mérés elvének összehasonlítása .....	33
8. ábra A kimutatási- és mennyiségi meghatározás határ-koncentrációjának szemléltetése ...	34
9. ábra A szél sebességét (a) és irányát (b) mérő egység felépítése.....	36
10. ábra Aneroid barométer a nyomás-átalakító és hőmérséklet-kompenzációs egységgel ...	40
11. ábra Csapadékmennyiség és intenzitásmérő egység .....	41
12. ábra Csapadékdetektor .....	42
13. ábra A piranométer képe .....	43
14. ábra Az aeroszolkoncentrációjának meghatározására kifejlesztett nefelométer működési vázlata .....	47
15. ábra Az ellipszoid tükrös részecskeszámláló működési elve. ....	47
16. ábra A nagy térfogatáramú porminta-vevő vázlata .....	49
17. ábra A nagy térfogatáramú pormonitor fényképe .....	50
18. ábra A β-sugár elnyelésen alapuló pormonitor vázlata .....	52
19. ábra. A nem-diszperz infravörös gázmonitor elve .....	53
20. ábra UV-abszorbanca elvén működő ózon monitor elve .....	54
21. ábra Az UV-fény abszorbanca elvén működő kén-dioxid analizátor .....	55
22. ábra A kemiluminescens nitrogén-oxid monitor elvi felépítése.....	55
23. ábra Fotoakusztikus elven működő gázmonitor vázlata.....	56
24. ábra A nagy-hatótávolságú Opsis IR gázmonitor működési vázlata.....	57
25. ábra Az I-jelű talajminták pórusterfogát-eloszlása és –gyakorisága .....	70
26. ábra Az I-jelű talajminták pórusterfogát-eloszlása és –gyakorisága .....	71
27. ábra Aktív távérzékelés (NASA alapján) .....	74
28. ábra Passzív távérzékelés (NASA alapján) .....	75
29. ábra Távérzékelés összefoglalása (Canada Center for Remote Sensing nyomán).....	76
30. ábra Hullámhossz adatok .....	77
31. ábra Mérés egy vevő esetén .....	77
32. ábra Két vevős rendszer .....	78
33. ábra Különböző magasságú tereptárgyak érzékelése .....	79
34. ábra Ararát hegyének SLAR alapú képe (Forrás: NASA) .....	79
35. ábra OP-FTIR berendezés elvi felépítése .....	79
36. ábra Példa OP-FTIR berendezés elhelyezésére.....	80
37. ábra Az OP-FTIR berendezés adó oldala .....	80
38. ábra Az OP-FTIR berendezés célzórendszere.....	81
39. ábra A mérési helyszínek .....	86
40. ábra Az M1 mérési helyszín – Pannon Egyetem felsőkampusz.....	86
41. ábra Az M2 mérési helyszín – Kossuth Lajos Általános Iskola.....	87
42. ábra Az M3 mérési helyszín – OLM mérőkonténer.....	88
43. ábra Az M1 mérési helyszín mérési időszakra vonatkozó szélirány és szélesebesség adatai (m/s) .....	89

44. ábra Az M1 mérési helyszín mérési időszakra vonatkozó hőmérséklet-páratartalom diagramja.....	89
45. ábra Az M2 mérési helyszín mérési időszakra vonatkozó szélirány és szélesség adatai (m/s) .....	90
46. ábra Az M2 mérési helyszín mérési időszakra vonatkozó hőmérséklet-páratartalom diagramja.....	90
47. ábra NO-NO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub> koncentrációk mérési időszakra vonatkozó óras átlagértékei az M1 ponton [µg/m <sup>3</sup> ].....	91
48. ábra NO-NO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub> koncentrációk mérési időszakra vonatkozó óras átlagértékei az M2 ponton [µg/m <sup>3</sup> ].....	91
49. ábra O <sub>3</sub> koncentráció mérési időszakra vonatkozó óras mozgó átlaga az M1 ponton a napsugárzás tükrében [µg/m <sup>3</sup> ].....	93
50. ábra O <sub>3</sub> koncentráció mérési időszakra vonatkozó óras mozgó átlag maximuma az M1 ponton a napsugárzás tükrében [µg/m <sup>3</sup> ].....	93
51. ábra O <sub>3</sub> koncentráció mérési időszakra vonatkozó óras mozgó átlaga az M2 ponton a napsugárzás tükrében [µg/m <sup>3</sup> ].....	94
52. ábra O <sub>3</sub> koncentráció mérési időszakra vonatkozó óras mozgó átlag maximuma az M1 ponton a napsugárzás tükrében [µg/m <sup>3</sup> ].....	94
53. ábra SO <sub>2</sub> koncentráció óras max. értékei és napi átlaga a mérési időszakban M2 ponton[µg/m <sup>3</sup> ].....	96
54. ábra A mérési időszakra vonatkozó CO óras koncentrációértékének maximuma és 8 óras mozgó átlag maximuma az M1 ponton [µg/m <sup>3</sup> ].....	97
55. ábra A mérési időszakra vonatkozó CO óras koncentrációértékének maximuma és 8 óras mozgó átlag maximuma az M2ponton [µg/m <sup>3</sup> ].....	97
56. ábra Szálló por (PM10) mérési időszakra vonatkozó 24 óras átlagai M1ponton [µg/m <sup>3</sup> ].....	98
57. ábra Szálló por (PM10) mérési időszakra vonatkozó 24 óras átlagai M2 ponton [µg/m <sup>3</sup> ].....	99



## Táblázatjegyzék

1. táblázat Az egy főre jutó energia-felhasználás három fejlettségi kategóriába tartozó államok közül néhányban, kg olaj egyenértékben kifejezve.....	15
2. táblázat Egy mintagáz elegy egy komponensének 15 ismétléses méréssel kapott eredményei .....	22
3. táblázat Mérési eredmények eloszlási gyakorisága (mérési számértékeket lásd a 2. táblázatban) .....	22
4. táblázat 2011. évben Veszprémben a Megyeház tér és a Halle u. mérőhelyeken mért nitrogén-dioxid koncentrációk alakulása. ....	29
5. táblázat A vízgőz egyensúlyi gőznyomása és koncentrációja az atmoszférikus levegőben	38
6. táblázat Napi átlagos PM10 koncentráció mérési adatai.....	51
7. táblázat Néhány, a természetben előforduló gáz infravörös fényabszorpciós tartomány ....	52
8. táblázat Légszáraz talajminták nedvességtartalma.....	63
9. táblázat Az (I-1) – (I-11) talajminták közelítő fázisösszetétele .....	64
10. táblázat A talajminták fajlagos felülete és kumulatív pórustérfogata .....	69
11. táblázat A talajminták vezetőképessége .....	72
12. táblázat A mobil mérőlaboratóriumban használt mérőműszerek és adatgyűjtő rendszerek .....	82
13. táblázat A mérési időszakra vonatkozó NO <sub>2</sub> koncentrációk órás átlagértékeinek maximumai és 24 órás átlagai [µg/m <sup>3</sup> ].....	92
14. táblázat A mérési időszakra vonatkozó O <sub>3</sub> koncentrációk napi 8 órás mozgó átlagkoncentrációk maximuma [µg/m <sup>3</sup> ] .....	95
15. táblázat A mérési időszakra vonatkozó SO <sub>2</sub> koncentrációk órás átlagértékeinek maximumai és 24 órás átlagai M2 és M3 mérőpontokon 03.26 – 04.02 közötti időszakban [µg/m <sup>3</sup> ] .....	96
16. táblázat A Szálló por (PM10) koncentrációk mérési időszakra vonatkozó 24 órás átlagai [µg/m <sup>3</sup> ].....	99

## 1. Bevezetés

A Föld felszínén szabadon fogyasztó emberek a szükségleteik kielégítéséhez szükséges javakhoz -a gazdasági környezet által behatárolt formában- igyekeznek hozzájutni. A Föld azon képessége, hogy emberi és más létformákat tart el az említettek alapján jelentősen lecsökkent, ennek megfelelően az emberi szükségletek kielégítése céljából végzett "termelés" a világ különböző tájain differenciálódott. Pl. alig kettőszáz év alatt bolygónk *erdőterülete* közel *hatmillió négyzetkilométerrel csökkent*, de ennek területi megoszlása eltérően változott. A talajerózióból származó üledékterhelés egyes folyómedrekben háromszorosára emelkedett, a *vízfelhasználás harmincszorosára növekedett*.

Az ipari forradalom óta a Föld *népessége* több, mint nyolcszorosára, míg az utóbbi száz év alatt az ipari termelés több mint *százszorosára* növekedett. Amennyiben a természeti erőforrásokat helytelenül használjuk és megzavarjuk a természetes rendszereket, az *emberi civilizációt veszély fenyegeti*.

A levegő, talaj, édesvizek és az óceánok *szennyeződése* súlyos és állandó fenyegetéssé vált az ember és más élő szervezetek számára. Az emberiség tevékenységével megsokszorozza a ***környezet természetes szennyező anyag terhelését***. A napenergia egy jelentős részét a zöld növényzet a fotoszintézis útján felhasználja, de a Földön jelenleg élő több, mint 7 milliárd ember ennek az "energiának" közel 40 %-át tovább hasznosítja. Ha a Földünkön a fenntartható fejlődésről gondoskodni kívánunk, kiderül, hogy a legtöbb teendő *globális természetű* - és ennek megfelelően- *globális cselekvést* igényel, amely pedig nem más, mint a *lokális cselekvések szervezett, orientált együttese*.

A földi élet valamennyi formája egy nagy, kölcsönösen összefüggő rendszert alkot, amely a bolygó élettelen összetevőire - kőzetek, talajok, víz (óceánok és felszíni vizek) és levegő - hatással van és függ is ezektől. *Egyetlen komponens állapotának megváltoztatása a teljes egészre kihat*. Pl. a tűzifának évente kitermelt közel 45 000 négyzetkilométeres erdőterülete a további fotoszintézisben nem vesz részt, így a légkör szén-dioxid tartalmát nem csökkenti, hanem - az esetleges eltüzelése folytán - éppen növeli.

A természet állapotának világszerte tapasztalható leromlása, az értékek pusztulása és e folyamatok gyorsulása elengedhetetlenül szükségessé teszi, hogy ***folyamatosan rendelkezésre álljanak az ellenőrzésükhöz és a korrigálásukhoz szükséges információk***. Ezek nélkül nem lehet megítélni a természeti rendszerek veszélyeztetettségének mértékét és a változásaik irányát, ennek következtében lehetetlen a változások okainak feltárása, az állapotmegőrzés biztosítása és az állapotváltozások kedvező irányba fordítása.

A ***környezet*** minden nemzetet *összekapcsol*. Az atmoszféra és az óceánok együttesen adják a világ klímáját, a közelben élő emberek komfort érzetét. A legtöbb folyami rendszer (patakok, folyók, stb.) nemzeteket köt össze. A *szennyezés nem ismer határokat*, miközben a víz és a levegő áramlataival mozog. Napjainkban egyetlen nemzet sem létezhet önmagában, az országok közötti szoros együttműködésre van szükség, amely csak úgy képzelhető el, ha az *egyes nemzetek környezetéről, annak állapotáról, változásáról az információk, a szennyezés kibocsátás* és más megfigyelt, környezeti szennyezést kibocsátó tevékenységek adatai szabadon, *kölcsönösen* egymás *rendelkezésre* állnak. Ezen információkat egy - világméretű *egységes rendszerben kiépített - folyamatos megfigyelőrendszerrel* kell ellenőrizni, megújítani. A kulcsfontosságú paraméterek kiválasztására, az országos ***megfigyelő és adatközpontok, információs hálózatok*** kiépítése és azok egységesítéséhez a nemzetközi együttműködés elengedhetetlen (***környezeti monitoring rendszerek*** kiépítése). Az 1972-ben Helsinkiben megfogalmazott elvek alapján *helyi környezeti megfigyelő központok*

(monitoring) *globális hálózatát* kellett és kell kiépíteni a megfelelő nemzeti adatsorokat tartalmazó *információátadó egységekkel*, ezzel is elősegítve a globális szintű áttekintést és a változások globális szintű értelmezését, ugyanakkor lehetőséget kell biztosítani a *nemzeti szintű változások objektív értékeléséhez*. A *nemzeti környezeti megfigyeléseket* a nemzetközi adathalmazzal összevetve, az egyes nemzetek a kapott információkat a ***környezet minőségének javítására*** tett intézkedéseik, a *technológiai megvalósítások* során ***eredményesen*** felhasználhatják.

## 2. A környezeti monitorozás fogalma

A "**környezet**" az élő szervezeteket (pl. az egyes embereket, embercsoportokat vagy más élőlényeket) körülvevő fizikai, kémiai és biológiai körülmények összessége. A fogalom könnyebb kezelhetősége érdekében a környezetet két nagy csoportba szokták sorolni, úgymint természetes és mesterséges (vagy más néven épített) környezet. A természetes környezet elemeinek egyik önkényes csoportosítása a talaj, a víz, a levegő és a táj kategorizálása. Ez a csoportosítás annyira egyeduralkodóvá vált, hogy a szakirodalmak önálló, elkülönült diszciplínaként kezelik a levegőkörnyezetet, a vízi, stb. környezetet, és ezen szemlélet "eredményként" más-más szemlélettel említik a környezet állapotának megóvása céljából tett intézkedéseket, amikor a levegőtisztaság-védelmet, a vízvédelmet, a talaj- és az élővilág védelmét tárgyalják.

Tágabb értelemben a környezet azon személyek, tárgyak összessége akik/amik valakit körülvesznek, közelében vannak, akikkel/amikkel valaki állandóan együtt él vagy állandóan érintkezik. Ezen megközelítés szerint beszélhetünk családi, baráti, munkahelyi, lakóterületi, stb. környezetről. A biológiai környezet az élőlény életfeltételeit megszabó külső tényezők összessége, amelyek az élőlényre hatnak. Azaz a környezet természetes, vagy mesterségesen átalakított tér, amelyben az ember és kisebb vagy nagyobb közösségeinek élete zajlik, a környezeti jelenségek közvetlenül áttekinthetők és a közösség(ek) tagjai által a szükséges mértékig irányíthatók.

A **monitorozás fogalma**: a természetes vagy mesterséges környezet állapotában bekövetkező esetleges változások nyomon-követésére kidolgozott, objektív mérésen alapuló, rendszeres megfigyelést jelenti. A megfigyelés vagy más néven információgyűjtés alaplépése és elemi feltétele a környezeti állapotfelmérés, amely két szinten valósulhat meg:

- egyrészt a már meglévő (szakirodalmi, hivatali, múzeumi, levéltári, magángyűjteménybeli, jelentésbeli, jegyzőkönyvi) megfigyelési adatok összegyűjtésével, rendszerezésével, adatbázis készítésével, értékelésével és térinformatikai megjelenítésével az archív adatfeldolgozást el kell végezni,

- másrészt a folyamatos megfigyelő-jelző (monitoring) tevékenységekkel az állapotfelmérés egy speciális sorozata végezhető el, amely alapvetően állandó, folyamatos méréseken alapszik, melyek egységes elvek alapján kidolgozott és elfogadott módszereket alkalmaz és a kiválasztott adatállomány eredményeinek rendszeres feldolgozására és értékelésére támaszkodik.

A környezeti monitoring rendszerei a környezet fizikai, kémiai és biológiai (stb.) állapotjelzőit vagy közvetlenül mérik (pl. levegőszennyező anyagok koncentrációváltozásának mérése), vagy pedig biológiai objektumok segítségével közvetve adnak lehetőséget a következtetések levonására (pl. a Hortobágy madárvilága), illetve a kettő kombinációját is alkalmazhatják (pl. a Balaton vízminősége). Minden monitoring alapfeltétele az alapállapot rögzítése, azaz a szennyezetlen, természetes, "érintetlen" környezeti állapotot jellemző paraméterek rögzítése, amelyhez a későbbi változások viszonyíthatók. A legtöbb monitoring rendszer kiépítésekor ez már nem valósítható meg, a "szennyezetlen" állapot paraméterei már nem rögzíthetők. A környezet állapotának romlása ritkán jelentkezik azonnal és látványosan, többnyire csak hosszabb lappangási idő után észlelhető. Súlyosbító tény, hogy e folyamatok "eredményei" az akkumulációs idő alatt rejtve maradó (látens) fázist követően a degradációs tünetek megjelenésekor már többnyire visszafordíthatatlan következményekkel járnak.

A monitoring célja és legfőbb feladata ezeknek a jelenségeknek – objektív mérésen alapuló korai felismerése és előrejelzése, amelyek ismeretében még a súlyos következményekkel járó kedvezőtlen változások bekövetkezése előtt -a monitoring rendszer adatbázisának feldolgozásával, a változási trendek előre jelzésével- lehetővé válhat az eredményes preventív beavatkozás.

Összefoglalva tehát a *monitoring* egy *szisztematikus, objektív mérésen alapuló információgyűjtés és -feldolgozás* a környezetről, illetve a környezet valamely eleméről azon célból, hogy a környezetben végbemenő *változások nyomon-követhetők* legyenek és egyúttal *adatokat biztosít a környezetváltozás prognosztizálására szolgáló környezetmodellezés számára.*

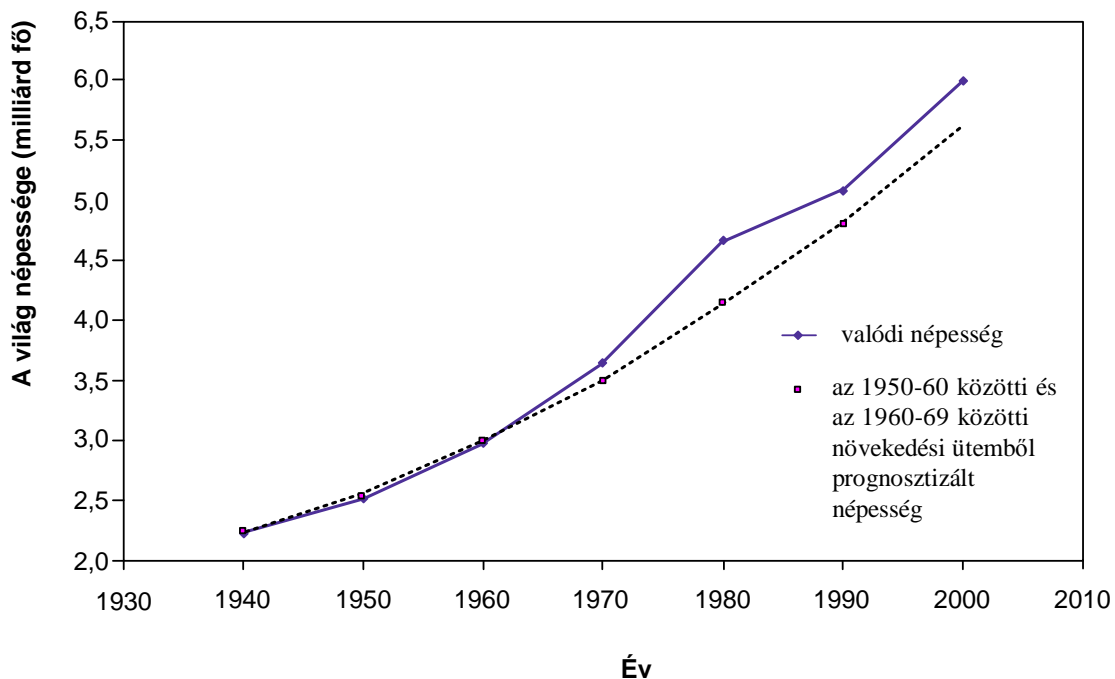
A környezeti monitoring kialakulása, fejlődésének kezdeti szakasza az 1960-as évekre nyúlik vissza. Az ezen időszakra tehető adatgyűjtés rendkívül diverzifikált volt, a módszerek és elvek az egyes országoknál teljesen különbözőek voltak. Az 1972-ben Stockholmban megtartott Emberi Környezet (Human Environment) elnevezésű ENSZ konferencián egy ajánlást fogalmaztak meg és fogadtak el a záródokumentumban az ***Egységes Környezeti Megfigyelő Rendszer*** (Global Environmental Monitoring System, GEMS) létrehozásáról azon célból, hogy megfelelő és közel egységes információval rendelkezzenek a környezet állapotáról. Ezen megfigyelő állomások felépítési, kialakítási elveiről az ENSZ ***Környezetvédelmi Programja*** (United Nations Environmental Programme, UNEP) adta meg az első ajánlást. Azóta a számítógépes információ áramlást is felhasználva, az irányelvek, ajánlások, a működő monitor-rendszerek kiépítésének elvei, a gyűjtött adatok feldolgozott formában az interneten (különböző honlapokon) hozzáférhetőek.

### 3. Mérési jelek feldolgozása, megjelenítése. Környezetinformatika. A környezeti monitorozás tárgya, eszközei

Einstein úgy fogalmazott, hogy "*Environment is everything that isn't me*", azaz az olvasón kívül minden a környezet fogalmába tartozik. Azonban amikor a környezetről beszélünk, akkor az erdőpusztulás, a savas eső tó- és folyókárosító hatására vagy a globális felmelegedés mindenre kiterjedő hatására is gondolunk. Ezek a problémák más hasonló jelenségekkel együtt részben az emberi aktivitásra és részben antropogén változásokra vezethetők vissza. Az *emberi tevékenység hatása a környezetre* (I) alapján három tényezőtől függ: az adott terület népességétől (P=population), az egy főre jutó energia- felhasználástól (E=energy consumption) és az energiának attól a hányadától, amely *nem megújuló* hányad (N=non-renewable energy). Ezt az összefüggést Southwood [1] a következőképpen becslő:

$$I = (P * E) + (P * E * N)$$

A Föld népessége az előre prognosztizálnál erősebben növekedik (**1. ábra**), de a növekedés a fejlődő és a fejlett országok körében lényegesen eltérő [2]. Visszatérve az **1. ábra** adataihoz, már az 1980 -1990-es évek statisztikai adatai bizonyították, hogy a Föld népessége az előre prognosztizáltat meghaladóan növekedett (2000. novemberében megszületett a Föld hatmilliomodik lakosa [mai napig vita, hogy hol, s kicsoda], a tömegkommunikáció 2011-ben közzétette a Föld népességének a hétmilliárd főt meghaladó értékét. A fentieket összefoglalva megállapítható, hogy a Föld népessége az előre becsült trendnél nagyobb mértékben növekedik, s a növekvő létszám fajlagos energia felhasználásától –és energia felhasználási lehetőségeitől- függetlenül a Föld népességének fajlagos energia felhasználása növekedik, azaz a korábban felírt összefüggés szerint a környezeti hatás növekedik.



1. ábra A Föld prognosztizált és valódi népességének alakulása a múlt század végén

A szegényebb országokban a népesedés üteme nagyobb, ugyanakkor az egy főre jutó energiafelhasználás kisebb. Az **1. táblázat** adataiból kitérünk, hogy az USA-ban született minden egyes fő környezetre gyakorolt hatása - a nagyobb fajlagos energiafogyasztás miatt - nagyobb, mintegy 27-szerese, mint pl. Indiában. Még mielőtt a táblázatban összefoglalt adatok részletesebb vizsgálatával foglalkoznánk, ki kell emelni, hogy bármely, egyéneket érintő környezetterhelési, környezethasználati, fenntartható fejlődést befolyásoló paraméterek értékeit jelentősen befolyásolja az egyének környezettudatos tevékenysége, vagy annak lehetősége, azaz a környezet „alakításában” közvetlenül részt vevő egyének meghatározó mértékben befolyásolhatják a közvetlen környezetük környezetminőségét. (A környezettudatos egyének saját tevékenységükön keresztül példát mutathatnak, vagy felhívhatják közvetlen környezetük figyelmét, a környezettudatos, minimális környezetterhelést biztosító életvitelre.

A táblázat adatai is igazolják, hogy az *egy főre jutó energiafelhasználás* minden gazdaságban - a fejlettségi szinttől függetlenül - *folyamatosan nő*. Az ember tevékenysége során nem csak fűtésre, világításra, szállításra, anyagi javak előállítására használja az energiát. (Hazánkban a lakossági villamosenergia-felhasználás 1990-ben 273 petajoule, 1999-ben - a népesség 330 000 fős csökkenése mellett - 223 petajoule). Az egyéb energiafelhasználások közül kiemelt szerepe van az *élelmiszer termelésre fordított energiafelhasználásnak*. Az élelmiszer termelésnek környezeti energia költsége két nagy csoportba sorolható, egyrészt a szennyező hatások megakadályozására fordított energia költségek, másrészt a talajerózió, a termelőképesség növeléséhez szükséges pótlólagos ráfordítások költsége.

**1. táblázat Az egy főre jutó energiafelhasználás három fejlettségi kategóriába tartozó államok közül néhányban, kg olaj egyenértékben kifejezve**

Ország	Energia-felhasználás	
	1965	1988
<i>Fejlett gazdaságok</i>		
USA	3707	5098
Ausztrália	6535	7655
Egyesült Királyság	3481	3756
Németország	3197	4421
<i>Közepes fejlettségű gazdaságok</i>		
Fülöp-szigetek	585	1086
Mauritánia	160	244
Brazília	286	402
Líbia	222	2719
<i>Szegény országok</i>		
India	100	211
Indonézia	91	229
Nigéria	34	150

Az emberi tevékenység környezetre gyakorolt hatásában (I) a legérzékenyebb tényező az újra fel nem használható energiahányad (N), így a fentiekből is kimutatható, hogy a legfontosabb teendő a lehető legtökéletesebb erőforrás-felhasználás és ezzel az energiaveszteség minimalizálása. Ehhez a *szennyező* és *hulladék* anyagok *keletkezését*, illetve azok környezetbe történő *kijutását meg kell akadályozni*. Nem elegendő csak a nehézfém-ionok, szén-monoxid, szén-dioxid, nitrogén-oxidok, kén-dioxid, toxikus szénhidrogének, biológiailag aktív szerves anyagok, stb. környezetszennyezését megakadályozni, hanem a Föld lakóinak humán aktivitását is fejleszteni kell, hogy "érzékeny" váljanak a környezetükkel kapcsolatos tevékenységek iránt. Példaként említhető az emberiség érzékenysége és ellenállása a nukleáris

energia-felhasználással szemben - különösen a Csernobilban történt erőmű baleset után - annak ellenére, hogy a globális felmelegedés egy jelentős tényezője csökkenthető ezen energiatípus felhasználása mellett.

Az ipari forradalom óta a légkör szén-dioxid koncentrációja 25-30 %-kal emelkedett. A fosszilis tüzelőanyagok elégetésekor felszabaduló szén-dioxid kulcsszerepet játszik az ún. üvegházhatású gázok emissziójában. Az ipari termelésből származó klórozott-, fluorozott-szénhidrogének, nitrogén-oxidok, szénhidrogének emissziója ellenőrizhető, s hathatós műszaki intézkedésekkel megfelelő mértékben csökkenthető, ugyanakkor a termőtalaj felhasználásában, az emberi populáció növekedésében bekövetkezett változások jelentősen befolyásolták a bioszféra-atmoszféra kialakult egyensúlyát. Pl. a száraz nyári időszakokban a biomasszák "lassú égéséből" szénhidrogének, szén-monoxid, nitrogén-oxid jut a légkörbe, amelyek fotokémiai reakciókban növelik az ózon koncentrációját. Az üvegház hatású gázok által reflektált hosszuhullámú elektromágneses sugárzás hatására az elkövetkezendő 50 évre évtizedenként 0,3 °C-os légköri felmelegedést prognosztizálnak, s a jéghegyek olvadása miatt 6 cm-es tengerszint emelkedéssel számolnak [3]. Az üvegházhatás kialakulásában 57 % részesedést a szén-dioxidnak tulajdonítanak. Egyes becslések szerint a természet 330 kg szén/év/fő szén-dioxid emissziót változás nélkül elviselne, de az emisszió szintje 2200 kg szén/év/fő érték körül mozog. Ha egy gépkocsit évente átlagosan 15000 km-t használnak, akkor a szén-dioxid kibocsátása 100 kg szén/év átlagértéknek felel meg, amely háromszorosa a természet becsült feldolgozó képessége alapján megengedhető összes emisszióknak. Ez a tény is bizonyítja az emberek *szemléletbeli változásának* jelentőségét, illetve a *környezet állapotának nemzetközi összefogással történő felmérésének és megőrzésének* szerepét.

A *globális környezeti változás* a környezet *egyes elemei* állapotában bekövetkező változások eredményeként jelentkezik, így a környezeti monitoring elsődleges feladata a környezet egyes elemei állapotának vagy az azokra ható elsődleges tényezők objektív mérésen alapuló megfigyelése, az információk összegzése, tárolása, feldolgozása, hogy ezzel segítséget nyújtson a hatékony preventív intézkedések megtervezéséhez és megvalósításához.

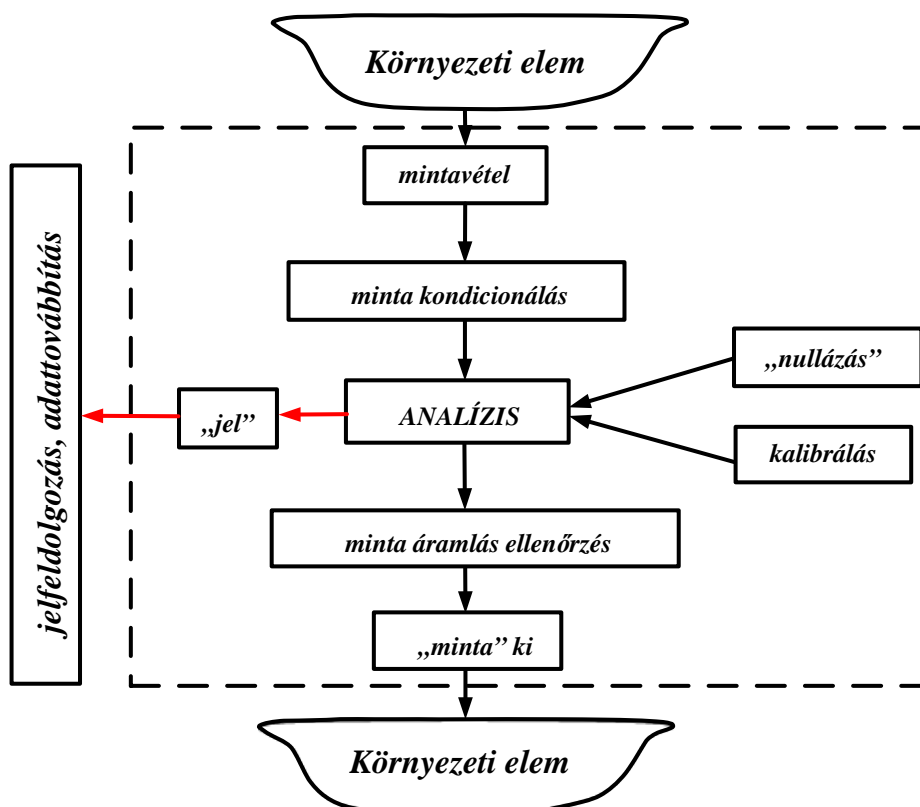
A környezet egyes elemei állapotának objektív megfigyelésével kapott adatok halmaza felhasználható a *környezeti változások nyomonkövetésére készített matematikai modellek ellenőrzésére* és ezzel a számítógépes modellek megbízhatósága a *fizikai modell* egy-egy elemének bizonyos állapotával ellenőrizhető. A környezet fogalma nagyságrendileg a térben elkülöníthető, így a megfigyelés célja is lehet a *mikrokörnyezeti* (helyiségben, létesítményen belüli) monitoring, vagy *mezokörnyezeti* (településen belüli, épületen kívüli) monitoring, illetve *makrokörnyezeti* (településen kívüli) monitoring tevékenység.

Ugyanakkor a környezeti monitoring az egyszerű megfigyelésből származó információgyűjtésnél tágabb fogalmat takar. A *környezeti monitorozás egy megfigyelő rendszert jelent, ahol a "megfigyelés" tárgya a környezet egy vagy több eleme, a "megfigyelés" módja pedig lehet szakaszos, periodikusan ismétlődő szakaszos és folyamatos.*

A monitoring rendszer valamely környezeti közeg (pl. víz vagy levegő) minőségét, egyes szennyező anyagok mennyiségét *folyamatosan jelző és rögzítő műszer vagy műszerek együttese*. Ez egy folyamatosan nyomonkövető elemzés, amely meghatározott helyeken és időben vett minták elemzése után a *környezet jellemzésére szolgáló* minőségi és mennyiségi analízisre alkalmas *módszerek és berendezések összessége* [4].

A környezeti monitorozás egységének elvi felépítését szemlélteti a **2. ábra**.





2. ábra A környezeti monitorozásra kidolgozott egység elvi felépítése

Az ábra egyértelműen szemlélteti, hogy a **környezeti monitorozás** gyakorlati megvalósítását meghatározza, hogy mely **környezeti elem** (levegő, víz, talaj, táj, épített környezet, stb.) paramétereinek változását kívánjuk objektív, **szisztematikusan ismétlődő méréssel** nyomon követni. Nyilvánvaló, hogy a **mintavételt**, a minta **előkészítését**, majd az előkészített minta **analízisét** (nulla és ismert koncentrációkra ellenőrzött és beállított analizátorral) **eltérő módon** kell elvégezni környezeti levegő szennyezőanyag koncentrációjának meghatározásához, vagy egy véggáz-kémény gáz- és gőznemű, vagy szilárd halmazállapotú emissziójának meghatározásához. Ugyanígy eltérő módszereket kell alkalmazni a felszíni, a felszín alatti vizek vízhozam és –minőségének változásában bekövetkezett tendenciák meghatározásához, vagy egy-egy ipari-, illetve lakossági szennyvíztisztító kibocsátásának ellenőrzéséhez. Mindenesty, a **2. ábrán** szemléltetett monitoring egységet az üzembehelyezéskor ellenőrizni kell, azaz meg kell győződni a rendszer stabilitásáról, kalibrációs hibájáról, válaszidejéről, stb.

### 3.1. Példa: Kalibráció

Feltételezzük, hogy az alábbi feltételeket határoztuk meg a rendszerünk műszaki paramétereire:

- Kalibrációs hiba  $\leq 1\%$  \*
- Zéró csúszás (zero drift) (24 h)  $\leq 1\%$  \*
- Válaszidő 10 sec
- Működésellenőrzés periódusa 168 h

\* az abszolút érték %-a a 95 %-os megbízhatóság konfidencia intervallumánál

A kalibrációs hibát, a zérójel csúszását és a válaszdőt a rendszer kiépítése után, az üzembe helyezés előtt kell meghatározni. A zéró és kalibrációs „drift” meghatározása a 168 órás üzemidő alatt történik (a mérőrendszer folyamatosan működik a mintával, kivéve a nullázás és a kalibráció időtartamát). A beüzemelés ezen időszakában a készülék elektronikáját (pl. fényforrás, detektor, elektronikusan szimulált zérójel és felső méréshatár, stb.) 24 óránként ellenőrizni kell. Pl. a zéró drift számolható:

$$\Delta x_{i,0} (+ \text{ vagy } -) = \left[ \begin{array}{c} \text{zéró jel a} \\ \text{rendszer} \\ \text{átnézése előtt} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{zéró jel a 24 órás} \\ \text{üzem utáni} \\ \text{átnézéskor} \end{array} \right]$$

vagy a kalibrációs eltérés:

$$\Delta x_{i,c} (+ \text{ vagy } -) = \left[ \begin{array}{c} \text{kalibrációs} \\ \text{jel a rendszer} \\ \text{átnézése előtt} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{kalibrációs jel a} \\ \text{24 órás üzem} \\ \text{utáni átnézéskor} \end{array} \right]$$

A 95 %-os megbízhatósághoz tartozó konfidencia-intervallum (C.I.<sub>95</sub>) számolható:

$$C.I._{95} = \frac{t_{95}}{n \cdot \sqrt{n-1}} \cdot \sqrt{n \cdot \sum \Delta x_i^2 - \left( \sum \Delta x_i \right)^2}$$

A  $t_{95}$  értékei függenek a mérés darabszámától (statisztikai adat):

n	$t_{95}$	n	$t_{95}$
2	12,706	9	2,306
3	4,303	10	2,262
4	3,182	11	2,228
5	2,776	12	2,201
6	2,571	13	2,179
7	2,447	14	2,160
8	2,365	16	2,139

Tegyük fel, hogy a 168 órás ellenőrzéskor a 24 órás nulla értékek a következők:

24 órás intervallum	$\Delta x_{i,0}$ érték	$\Delta x_{i,0}^2$ érték
1.	-1	1
2.	0	0
3.	-2	4
4.	+1	1
5.	0	0
6.	+2	4
7.	-1	1
$\Sigma$	-1	11

A nulla jel várható értéke:

$$|\bar{x}_0| = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_{0,i} = \frac{-1}{7} = |0,143|$$

A 95 %-os megbízhatósághoz tartozó konfidencia intervallum értéke a hét mérési adatra:

$$C.I._{95} = \frac{t_{95}}{n \cdot \sqrt{n-1}} \cdot \sqrt{n \cdot \sum \Delta x_{0,i}^2 - \left(\sum \Delta x_{0,i}\right)^2} = \frac{2,447}{7 \cdot \sqrt{6}} \cdot \sqrt{7 \cdot 11 - 1} = 1,244$$

A várható érték és a 95 %-os megbízhatósághoz tartozó konfidencia intervallum értékének az összege adja a nulla csúszásának értékét (a relatív értéket gyakrabban használják).

A kalibrációs hiba meghatározásánál néhány nagyon fontos szempontot kell figyelembe venni (pl. környezeti levegő szennyezőanyag koncentrációjának meghatározásakor):

- A nulla beállításához használt gáz szennyezőanyagot nem tartalmazhat. Pl. levegő emisszió mérőeszköz nullázásához általában a szoba (környezeti) levegő megfelel, de a víz esetében nem biztos, hogy az ioncserélt vízre mindent lehet nullázni,
- Kén-dioxid a levegőben és a palackos nitrogénben is lehet,
- NO<sub>2</sub> csak a szoba (környezeti) levegőben lehet,
- NO az oxigénmentes inert gázokban (palackos N<sub>2</sub>) is lehet.

A kalibráláshoz a mérési tartományba eső több (általában 3 – 5) ponton végezzük el a kalibrálást, úgy hogy a legnagyobb koncentráció a méréstartomány 80 – 95 %-ának felel meg.

Példa: egy folyamatos mérőrendszer **0 – 1000 koncentráció egység** intervallumban fog dolgozni, 168 órás ellenőrzéskor minden 24 óra elteltkor meghatározzuk a nulla és a kalibrációs jel (950 koncentráció egység) értékeit, majd a nulla jelet 0-ra (**zero** gomb) a kalibrációs jelet a koncentráció értékre (**span** gomb) állítjuk, majd az ellenőrzés végén az adatokból meghatározzuk a nulla és a kalibráció hibáját %-ban.

Adatok	idő	Zéró érték	Kalibráció érték	Zéró: $\Delta x_{0,i}$	$\Delta x_{0,i}^2$	Kalibrációs jel: $\Delta x_{c,i}$	$\Delta x_{c,i}^2$
1.	$\tau_1$	0	950				
	$\tau_1 + 24h$	+5	959	+5	25	+9	81
2.	$\tau_2$	0	950				
	$\tau_2 + 24h$	-4	943	-4	16	+7	49
3.	$\tau_3$	0	950				
	$\tau_3 + 24h$	+6	944	+6	36	+6	36
4.	$\tau_4$	0	950				
	$\tau_4 + 24h$	-5	948	-5	25	+2	4
5.	$\tau_5$	0	950				
	$\tau_5 + 24h$	-5	947	-5	25	+3	9
6.	$\tau_6$	0	950				
	$\tau_6 + 24h$	-5	943	-5	25	+7	49
7.	$\tau_7$	0	950				
	$\tau_7 + 24h$	-6	945	-6	36	+5	25
$\Sigma$				-14	188	21	253

Ennek megfelelően a „0” várható értéke:

$$|\bar{x}_0| = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_{0,i} = \frac{-14}{7} = |2,0|$$

A 95 %-os megbízhatósághoz tartozó konfidencia-intervallum:

$$C.I._{95} = \frac{t_{95}}{n \cdot \sqrt{n-1}} \cdot \sqrt{n \cdot \sum \Delta x_{0,i}^2 - \left(\sum \Delta x_{0,i}\right)^2} = \frac{2,447}{7 \cdot \sqrt{6}} \cdot \sqrt{7 \cdot 188 - 14^2} = 4,776$$

Azaz a **nulla relatív hibája** ( $D_0$ , %):

$$D_0 = \frac{2,000 + 4,776}{1000} \cdot 100 = 0,68\%$$

A kalibrációs várható érték:

$$|\bar{x}_0| = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_{c,i} = \frac{-21}{7} = |3,000|$$

A 95 %-os megbízhatósághoz tartozó konfidencia-intervallum:

$$C.I._{95} = \frac{t_{95}}{n \cdot \sqrt{n-1}} \cdot \sqrt{n \cdot \sum \Delta x_{c,i}^2 - \left(\sum \Delta x_{c,i}\right)^2} = \frac{2,447}{7 \cdot \sqrt{6}} \cdot \sqrt{7 \cdot 253 - 21^2} = 5,205$$

Azaz a **kalibrációs relatív hiba** ( $D_c$ , %):

$$D_c = \frac{3,000 + 5,205}{1000} \cdot 100 = 0,82\%$$

A számolási adatokból látható, hogy a **nulla relatív hibája 0,68 %** (< 1%), míg a **kalibráció relatív hibája 0,82 %** (< 1%) értéknek adódott, tehát a **rendszer teljesíti** a megfogalmazott kívánalmakat.

A **válaszidő** meghatározása már *mérőrendszer specifikus*, így ennek meghatározása **egyedi módszert** igényel, amely általában egy-egy *ismert koncentráció impulzusra* adott maximális **jel érték** megjelenése és a bemeneti koncentráció impulzus létrehozása között **eltelt időt** jelenti.

### 3.2. Példa: Mérés kiértékelés

Környezeti monitorozás célja és feladata az adott környezeti elemben előforduló **szennyező komponens valódi koncentráció értékének**, azaz mérőszámának és hozzá tartozó mértékegység szorzatának meghatározása, azaz

a **mérés legvalószínűbb értéke** = mérések eredményeként kapott mérőszám \* mértékegység.

A valódi érték és a mérési eredmény közötti kapcsolat megvilágítására vezették be a mérési hiba fogalmát. A környezeti monitoring során végzett méréseknél fellépő mérési hiba kétféle - az ún. **módszeres (szisztematikus)** és az ún. **véletlen** - hiba összegeződésékként adódik. A **véletlen hibák** a mérések korlátozott pontosságából erednek. A véletlen hiba mértéke a mérések többszöri ismétlésével csökkenhet. A **módszeres hiba** a mérési hiba egy állandó arányú része (állandó hiba). Ez a hiba nem csökkenthető a mérések többszöri ismétlésével. A módszeres hiba megállapításához ellenőrzött koncentrációjú, ún. standardokat kell elemezni, ily módon a későbbi analízisek eredményei korrigálhatók.

Tegyük fel, hogy egy mérési sor eredményeit (pl. véggáztisztító katalitikus reaktorból kilépő gázelegy szén-dioxid koncentráció értékeinek párhuzamos méréseit, lásd **2. táblázat**) csak véletlen hiba terhel, és ábrázoljuk a mérési adatoknak 12 előre meghatározott intervallumra eső gyakoriságát (lásd **3. táblázat**).

A párhuzamos mérési eredmények grafikus eloszlási diagramjának megrajzolásával információt nyerhetünk a mérési eredmények eloszlásáról (lásd **3. ábra**).

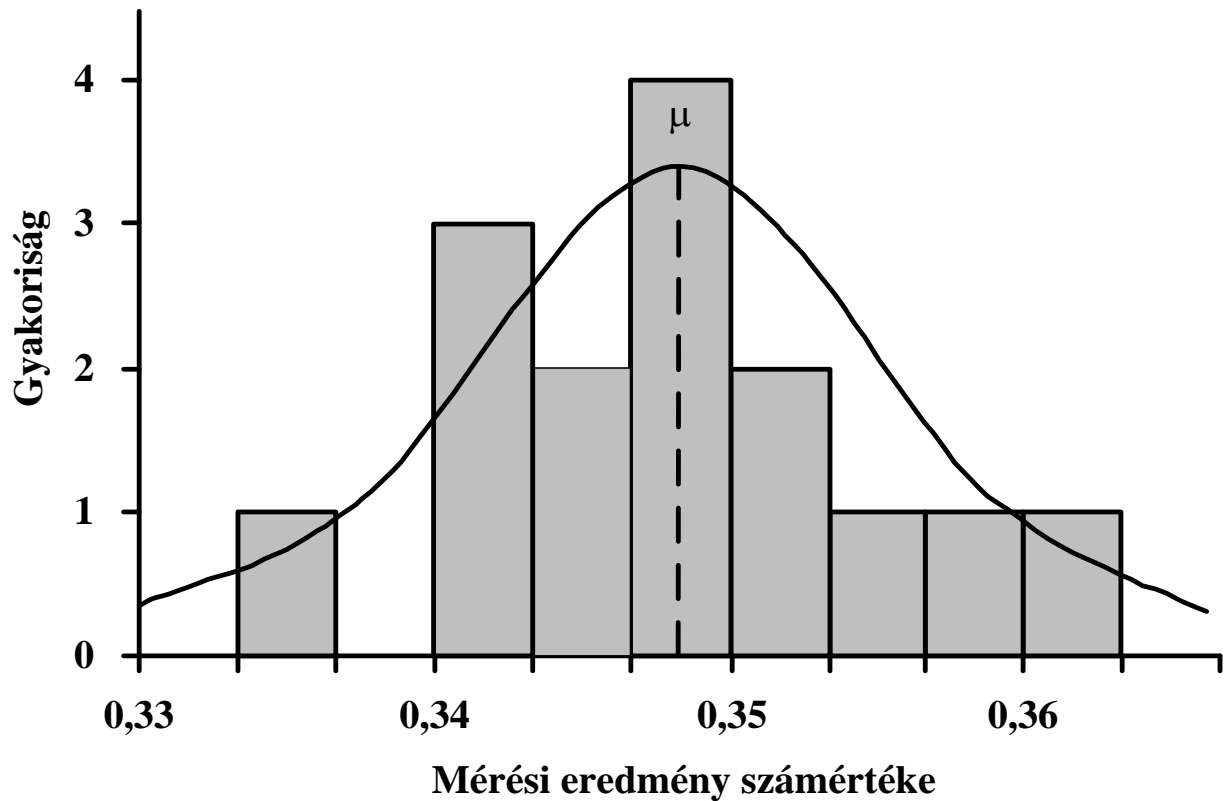
2. táblázat Egy mintagáz elegy egy komponensének 15 ismétléses méréssel kapott eredményei

Mérés sorszáma	Érték	Mérés sorszáma	Érték
1.	0,3410	9.	0,3430
2.	0,3350	10.	0,3420
3.	0,3470	11.	0,3560
4.	0,3590	12.	0,3500
5.	0,3530	13.	0,3630
6.	0,3460	14.	0,3530
7.	0,3470	15.	0,3480
8.	0,3460		

3. táblázat Mérési eredmények eloszlási gyakorisága (mérési számértékeket lásd a 2. táblázatban)

Mérési tartomány	Gyakoriság	Relatív gyakoriság (%)
0,3300-0,3333	0	0
0,3333-0,3367	1	6,67
0,3367-0,3400	0	0
0,3400-0,3433	3	20,00
0,3433-0,3467	2	13,33
0,3467-0,3500	4	26,67
0,3500-0,3533	2	13,33
0,3533-0,3567	1	6,67
0,3567-0,3600	1	6,67
0,3600-0,3633	1	6,67
0,3633-0,3667	0	0
0,3667-0,3700	0	0

Ha a mérések számát a végtelenségig növeljük, az intervallumok nagyságát pedig ezzel párhuzamosan csökkentjük, akkor egy harang alakú eloszlási görbét kapunk, amelyet Gauss- vagy normális eloszlású görbének neveznek. A Gauss-féle eloszlás matematikailag a következőképpen fejezhető ki:



3. ábra A 3. táblázatban szereplő mérési adatok eloszlási diagramja és az elméleti Gauss-féle eloszlást reprezentáló görbe

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Ahol:

$f(x)$  - a normális eloszlás eloszlásfüggvénye

$\sigma$  - a mérések standard deviációja

$\mu$  - a mérések átlaga

$x$  - az adott mérési eredmény (változó)

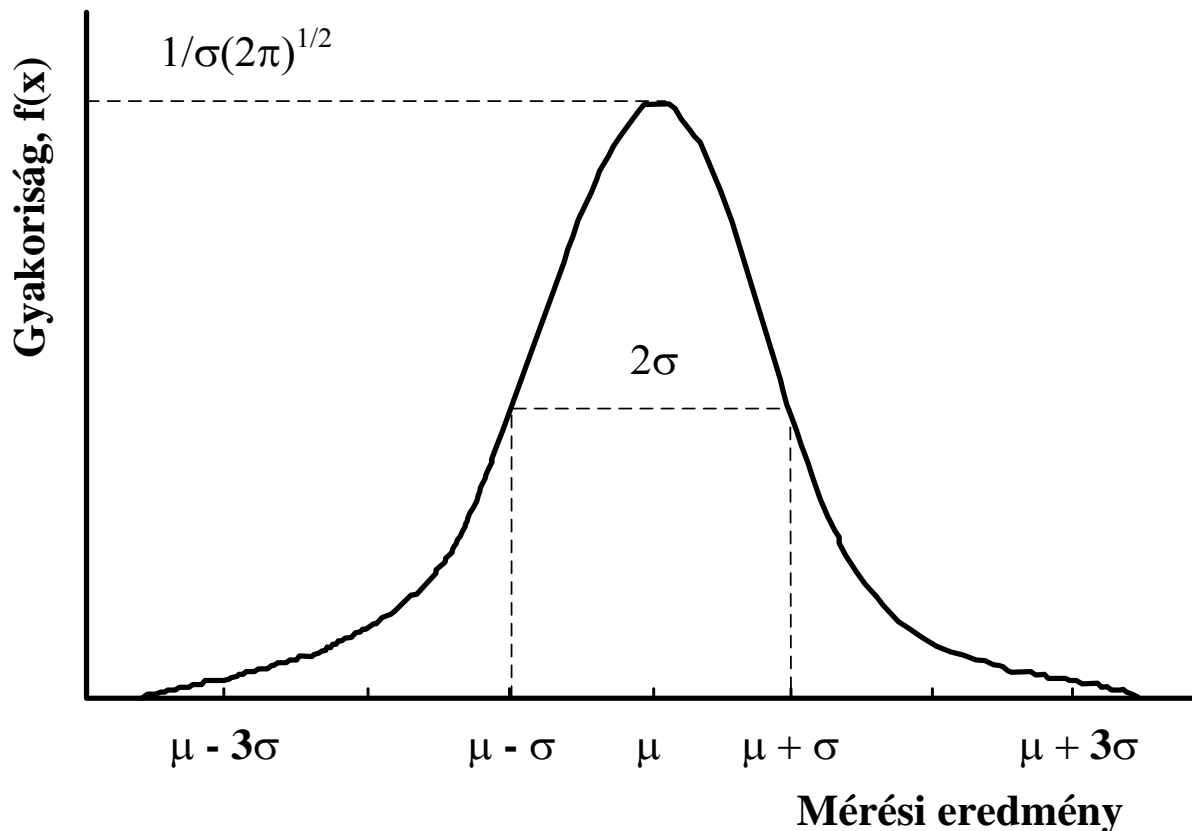
A mérési adatok szóródását az átlag érték körül a standard deviáció ( $\sigma$ ) és annak négyzete, a variancia ( $\sigma^2$ ) írja le (**4. ábra**), mivel a valóságban csak véges számú méréseket tudunk elvégezni, a mérési adatok várható értékét, azaz az átlagot és a standard deviációt meg kell becsülnünk. A becsült paramétereket tartalmazó Gauss-féle eloszlás így módon a következőképpen alakul:

$$f(x) = \frac{1}{s \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2s^2}}$$

ahol

$s$  - a standard deviáció becsült (legvalószínűbb) értéke

$\bar{x}$  - az átlag becsült (legvalószínűbb) értéke



4. ábra A Gauss-féle eloszlás valószínűségi sűrűségfüggvénye

A mérés legvalószínűbb értékül az  $n$  mérési adat  $x$  számtani közepét fogadjuk el:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

A standard deviáció becsléséhez pedig az alábbi egyenletet használhatjuk:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

A standard deviáció mellett a mérési pontok szórásának jellemzésére gyakran használják a relatív standard deviációt ( $s_r$ ):

$$s_r(\%) = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

A standard hibán az  $n$  mérés átlagának átlagos hibáját értjük:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

A környezeti monitorozásban dolgozó szakemberek célja a valódi érték minél jobb becslése. Azt már megállapítottuk, hogy ha nem lép fel módszeres hiba, akkor a mintaátlaggal becsljük



a valódi értéket. Azt is tudjuk már, hogyha normális eloszlásúnak tekinthető a mérési eredményünk, akkor a mintaátlaggal történő becslés "jó" becslés lesz. Kihasználva azonban azt a feltételezést, hogy az eredmény eloszlása normális, ennél többet is tehetünk, meg tudunk adni egy intervallumot (megbízhatósági- vagy konfidencia-intervallumot) az átlag érték körül, amelyben adott valószínűséggel ( $1 - \alpha$ ) ott lesz a keresett valódi érték.

A konfidencia-intervallum kiszámításához a Student-eloszlás t-értéke a mérések száma ( $n-1$ ) és a valószínűségi szint ( $1-\alpha$ ) alapján meghatározható, vagy táblázatokból kikereshető. A mérési eredmények átlagértékére vonatkozó konfidencia-intervallum:

$$\Delta x = \frac{t_{(1-\alpha; n-1)} \cdot s}{\sqrt{n}}$$

Vagyis, ha a mérési eredményekről feltételezhető, hogy normális eloszlású, továbbá, hogy nem terheli módszeres hiba, akkor statisztikai szempontból a párhuzamos mérések eredményeként egy

$$\bar{x} \pm \Delta x$$

intervallumot kell megadni, és azt állíthatjuk, hogy  $1-\alpha$  valószínűséggel ezen intervallumban helyezkedik el a keresett valódi érték (az intervallum megadásakor fel kell tüntetni  $\alpha$  és  $n$  értékét is).

A fenti, **2. táblázatban** feltüntetett párhuzamos mérések legvalószínűbb értékei:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 0,3486$$

A mérési adatok szórása, vagy más néven a standard deviációja számolható:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 0,00731$$

A Student féle eloszlás 95 %-os megbízhatóságához tartozó értéke 2,160, így a mérési eredmények átlagértékére vonatkozó konfidencia-intervallum:

$$\Delta x = \frac{t_{(1-\alpha; n-1)} \cdot s}{\sqrt{n}} = \frac{2,160 \cdot 0,00731}{\sqrt{15}} = 0,0041$$

Azaz a fentebb ismertetett koncentráció meghatározások 95 % valószínűséggel megbecsült értéke  $0,3486 \pm 0,0041$  v/v%.

## 4. Analóg és digitális mérés elve. Mérések biztonságtechnikája. Mérőeszközök besorolása. Környezeti monitoring csoportosítása

A 2. ábrán bemutatott szerkezeti felépítésű *környezeti monitorozás* csoportosítható a *monitoring egység* és a *környezeti elem geometriai távolsága* szerint:

- **Űr-** (vagy másnéven Szatellit-) **monitoring**ról beszélünk abban az esetben, ha a monitoring mérő (analizátor) részegysége meghatározott geometriai pályán mozgó műhold fedélzetén helyezkedik el és általában az *elektromágneses hullámok közvetítésével* egységes adatrendszert kapunk a Föld felszínéről. Az érzékelő műszerek a tárgyról *visszavert*, vagy azok által *kibocsátott* (saját) sugárzást rögzítik az *elektromágneses spektrum* legfrekvenciáltabb részeiben: az *infratartományban*, a *hőtartományban*, a *geotermikus tartományban* és természetesen a *látható fény tartományában* is kaphatunk információkat ezen szatellitok segítségével. (Részletesebben a Távérzékelés című fejezetben tárgyaljuk.) A szatellit-monitoring segítségével nagyon jól kimutatható és **bizonyítható** minden környezeti **degradáció**, így a *környezeti levegő, felszíni vizek szennyezettsége* vagy a *növényzet, talaj degradációja*. Nyomon követhetők a erózió, a defláció, a külszíni bányaműveletek hatásai vagy a meddőhányók környezetpusztító szerepe. A vízzel kapcsolatos nagyon gyors jelenségek - mint pl. árvíz - nagyon jól azonosíthatók. Megállapítható az adott felszín zöld felületének hányada, annak állapota. Fontos információk nyerhetők az ipar és a közlekedés légszennyező hatásáról is. Ekkor a *környezeti elem és a monitorozó egység közötti távolság néhány száz kilométer*, de a **jelfeldolgozás, jelátalakítás és jeltovábbítás** terén megjelent *digitális eszközök és műholdas adattovábbító rendszerek* alkalmazásával, az adatok számítógépes feldolgozásával és értékelésével **megbízható, homogén, nagy területre kiterjedő információhoz** jutunk.
- Földközeli **légi monitoring**ozásnak hívjuk a környezet valamely elemének változására kifejlesztett, *objektív mérésen alapuló* mérő, *megfigyelési módszert*, amelyben az *információgyűjtő eszközt* (érezékelőt és adatgyűjtőt) *léghajók, hóbálonok, repülőgépek, helikopterek, pilóta nélküli robot- és modell-repülőgépek*, stb. **fedélzetén** helyezik el. Bizonyos esetekben - pl. nagy területre kiterjedő árvíz vagy más természeti csapás - más módszer nem is alkalmazható. A **légi monitoring**nak közvetlen célja lehet a **direkt mérési adatgyűjtés**. A természet biológiai állapotának megfigyelésére a legelterjedtebben alkalmazott módszer. Vadon élő állatok populációjának meghatározásakor, erdők, tavak biológiai állapotának felmérésére alkalmazható. A *nagy távolságból* végzett környezeti megfigyelésben az összegyűjtendő adatok az észlelőhöz többek között az elektromágneses és nehézségi erőtereken keresztül jutnak, így különös jelentősége van a *térbeli kölcsönhatásoknak, a térbeli, színeképi és időbeli változásoknak*. Ezek hatásának kiszűréséhez az szükséges, hogy ezen változó jeleket mérni, a változást okozó hatást identifikálni tudják, azaz más *ismert jelenségek objektív mérési eredményeivel össze tudják hasonlítani*. A légi monitoring adatszerzési folyamatainak **elemei** nagy általánosságban a következők: valamilyen hordozott *energiaforrás*, az *energia terjedése* az atmoszférán keresztül, az *energia kölcsönhatása* a földfelszín vagy az atmoszféra egy kiválasztott jellemzőjével (a monitoring célja), a légi hordozóeszközön *elhelyezett érzékelők* az érzékelt "energiajelekből" vagy közvetlen feldolgozással vagy *adatrögzítést és tárolást* követő *számítógépes jelfeldolgozással* a kiválasztott változások folyamatát

megfigyelik. Megfelelően kifejlesztett speciális érzékelőket használnak arra, hogy a földfelszíni vagy légköri jellemzők által visszavert elektromágneses energiajeleket, mágneses energia- változásokat rögzítsék. Az *elektromágneses sugárzás karakterisztikája*, jellemzői, az elektromágneses energia és a tárgyak kölcsönhatása a korábbi tanulmányokból ismert, így a tárgyak, a környezet elemeinek és az elektromágneses energia kölcsönhatása úgy használható fel a változások nyomon követésére, hogy különböző hullámhosszúság- tartományban szelektív érzékelőket alkalmazunk. Mivel az energia kölcsönhatás függ a hullámhossztól, így olyan megfigyelő-érzékelő berendezéseket fejlesztettek ki, amelyek különböző hullámhosszakra szelektíven érzékenyek, s így a zavaró energia elnyelések maximális kiküszöbölése mellett környezeti elem - komponensszelektív monitoring hozható létre.

- A **földfelszíni** (legtöbbször *telepített*) **környezeti monitoring** jellemzője, hogy a vizsgált *környezeti elem* és az *objektív mérési adatot szolgáltató eszköz* közötti függőleges távolság elhanyagolható. A *földi monitorozás* a *leghatékonyabb* és a *legrégebb óta alkalmazott* módszer a környezeti változások nyomon követésére. A földi monitorozás alkalmazásának három legfontosabb szempontja:
  - **valóságosan alapuló, részletekre kiterjedő** adatokat szolgáltat,
  - igazi **mérési eredményeken alapuló**, amely elősegíti a légi és űrmonitoring adatainak ellenőrzését,
  - és egyúttal **elősegíti** ezen utóbbiak *interpretálását*.

A földi monitoring a legköltségigényesebb és a legidőigényesebb a háromszintű monitoring rendszer elemei közül, ugyanakkor a **legrészletesebb**, a **legmegbízhatóbb** és a legjobban felhasználható információkat adja a környezet valamely elemének, vagy elemeinek állapotáról.

A **2. ábrán** bemutatott szerkezeti felépítésű *környezeti monitorozás* csoportosítható a *környezeti elemből történő mintavételezés* és a *monitoring legfontosabb egységét képező analízátor által szolgáltatott jel időbeli és térbeli távolsága* szerint:

- **Off-line monitoringról** beszélünk, amikor a környezeti elemből történő mintavétel és az analízis *térben* és *időben* is **elkülönül**. Ezen típusú környezeti monitoringot alkalmazzák egy-egy környezeti elem adott jellemzőjének - szakaszos, de időben ismétlődő- meghatározására és az adatok feldolgozásához. Ebben az esetben a környezeti elem adott jellemzőjének meghatározásához a reprezentatív mintavételi helyen -időben ismétlődően- mintát vesznek, a mintát az analízist végző gyűjtőhelyre szállítják, majd ott elvégzik az analízist és az analízis eredményeként kapott jellemző mérési adatot feldolgozzák, továbbítják (esetleg a mintavételtől eltelt néhány nap múlva).
- **On-line környezeti monitoringról** beszélünk abban az esetben, amikor a környezeti elem adott jellemzőjének meghatározása céljából *folyamatosan áramlik az előkészített, kondicionált, reprezentatív minta*, s az analízis *néhány (tíz) méterrel távolabb, folyamatosan működő analízátorral* történik. Ebben az esetben a reprezentatív minta vétele és annak analízise eredményeként kapott jellemző értéke közötti **térbeli** és **időbeli eltérés** elhanyagolhatóan **kicsi**. Az így kapott adatok feldolgozásával megelőző intézkedések tehetők.
- **In-line környezeti monitoringról** beszélünk abban az esetben, amikor a *környezeti elem* adott *jellemzőjének értéke* –akár mintavétel nélkül- közvetlenül a *környezeti elem*ben keletkezik, azaz a monitoring fő részének tekinthető analízátor közvetlenül a környezeti elemben van, s csak a mérés eredményét továbbítja. A fentiekkel összehasonlítva itt **nincs időbeli eltérés**, azonnali értéket kapunk. A

környezeti levegő hőmérséklete, páratartalma, nyomása, vagy a felszíni víz hőmérséklete, vezetőképessége, oldott oxigén-tartalma így monitorozható. (Elterjedten alkalmazzák az in-situ monitoring elnevezést is.)

#### 4.1. Példa: Off-line környezeti monitoring

A környezeti levegőben előforduló szennyező anyagok okozta *immisszió mértéke* jelentősen változik az idő függvényében: egyrészt az emisszió változása miatt, másrészt a meteorológiai tényezők alakulása következtében, ezért általában egy éven át tartó (és ezt több éven, évtizeden át ismétlődő) rendszeres mérést lehet mértékadónak tekinteni. Éghajlatunk alatt a levegő szennyezettsége, az egyes szennyező anyagok esetében télen többszöröse lehet a nyárinak (gondoljunk csak a lakóépületek fűtésére alkalmazott fosszilis tüzelőanyagok elégeése során keletkező nitrogén-oxidokra, vagy a szálló részecskékre). Más esetekben a szezonális alakulás éppen egyes komponensekre éppen ellentétes: a talajeredetű porok mennyisége, az üdülőterületeken a közlekedési szennyeződés, valamint az ózon koncentrációja nyáron nagyobb. A nap folyamán is jelentősen változik a szennyezettség: hazánk klímaviszonyai mellett általában kora reggeli jelentős és késő délutáni kisebb maximum van. Ennek megállapítása és a napi maximális érték (a megengedett napi 60 perces határérték) megmérése folyamatos üzemű analizátorral végezhető. Megállapítható ez az érték egymást követő 60 perces mérések alapján is. A csak nappal végzett mérés nem felel meg a napi átlagnak, ugyanakkor átlagolás esetén az éjszakai, tisztább levegő hatása elfedi a nappali terhelés mértékét.

A fent említett paraméterek méréseire később visszatérünk, de a ***környezeti levegő lakott területen különböző időszakokban és különböző területeken meghatározott nitrogén-dioxid koncentrációjának*** meghatározására és a mérési adatok feldolgozására, mint a környezeti levegő egy off-line monitoring módszerére is ismertetünk majd egy példát. (Mivel a levegő nem ismer sem megye, sem országhatárokat, a légkörbe jutó szennyező anyagok nem maradnak a kibocsátó források környezetében, hanem véges idő alatt nagy távolságra is elterjedhetnek, ezért a környezeti levegő szennyezettségének ellenőrzésére az 1972-ben Helsinkiben megfogalmazott elvek alapján, mérőhálózatok létrehozására volt szükség, amelyek működése szerte a világon, így Magyarországon is, több évtizedes múltra tekinthet vissza.) A példában a környezeti levegő, napi átlagos nitrogén-dioxid immissziós koncentrációjának monitoringját ismertetjük.

A környezeti levegő nitrogén-dioxid koncentrációjának meghatározásához a reprezentatív mintavételi helyről szívott, 60 Ndm<sup>3</sup>/h térfogatáramú levegőt (24 óra alatt 1440 Ndm<sup>3</sup>) 50 cm<sup>3</sup>, szabványos összetételű elnyelető (abszorpciós) folyadékot tartalmazó edényen szívják át, ahol a nitrogén-dioxid szelektíven (közel 100 %-os hatásfokkal) elnyelődik. (A kalibrált gáztérfogat áramlás meghatározására, megvalósítására a *Környezeti levegő szakaszos monitoringja* fejezetben részletesen visszatérünk, ott ismertetjük a kváziautomata mintavevő egység működését is.) A berendezés abszorpciós edényében az 1440 Ndm<sup>3</sup> levegőben volt nitrogén-dioxid mennyiségét (és a térfogatáram ismeretében a koncentrációját) határozhatjuk meg. A 24 óra eltelte után a berendezés automatikusan átvált a másik elnyelető edényen történő elnyeletésre. Tekintettel arra, hogy a mintavevő egység 8 db elnyelető edényt tartalmaz, így a karbantartására (gáztérfogat-áram kalibrálás, elnyelető edények cseréje, stb.) legkésőbb nyolc naponta a mintavételi helyre kell mennie az üzemeltetőnek. A karbantartás során az „elhasznált” elnyelető folyadékot tartalmazó edényt új, tiszta elnyelető folyadékot tartalmazó edényre cserélik. (Az abszorpciós edényeket az elnyeletés és tárolás során célszerű 4 °C hőmérsékletértékre temperált térben tartani.) Az analízisre beszállított, az elnyeletőben lévő mintát vizsgálat napján a mintavétel során az évszaktól (hőmérséklettől) függően bepárolódott

minták térfogatát ki kell egészíteni desztillált vízzel az eredetileg bemért 50 cm<sup>3</sup> térfogatra. Ez a művelet nem automatizálható. (A feladat elvégzése gyorsítható, ha a gázelyelő edényeken 50 cm<sup>3</sup> térfogatra marker jelölést készítünk, de a relatív nagy elnyelő edény átmérője miatt a pontosság csökken, a feltöltést kalibrált ún. normál lombikban kell elvégezni. A továbbiakban a nitrogén-dioxid-tartalom meghatározása spektrofotometriás módszerrel az MSZ 21456/4 szabvány (A nitrogén-dioxid tartalom meghatározása módosított Saltman módszerrel) előírásai szerint történnek. A mérési eredmények a <http://www.kvvm.hu/olm> honlapon a „Manuális mérések” ablak kiválasztása után bármely ellenőrzött helyen hozzáférhetők. A Pannon Egyetemhez legközelebb a Közép- Dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség üzemeltet Veszprémben kettő darab, a fent említett elvek alapján üzemelő monitoring egységet, egyiket a Megyeház tér 1. szám (WGS: 47°05'29,67" É, 17°54'29,30" K) alatt, a másikat pedig a Halle u. 6. szám (WGS: 47°06'17,09" É, 17°54'49,07" K) alatt. A mérőhelyeken 2011. év napjaiban meghatározott napi átlagos nitrogén-dioxid (NO<sub>2</sub>) koncentrációkat a **4. táblázatban** (M.H.=Megyeház tér, H.U.=Halle u. 6.) foglaltuk össze.

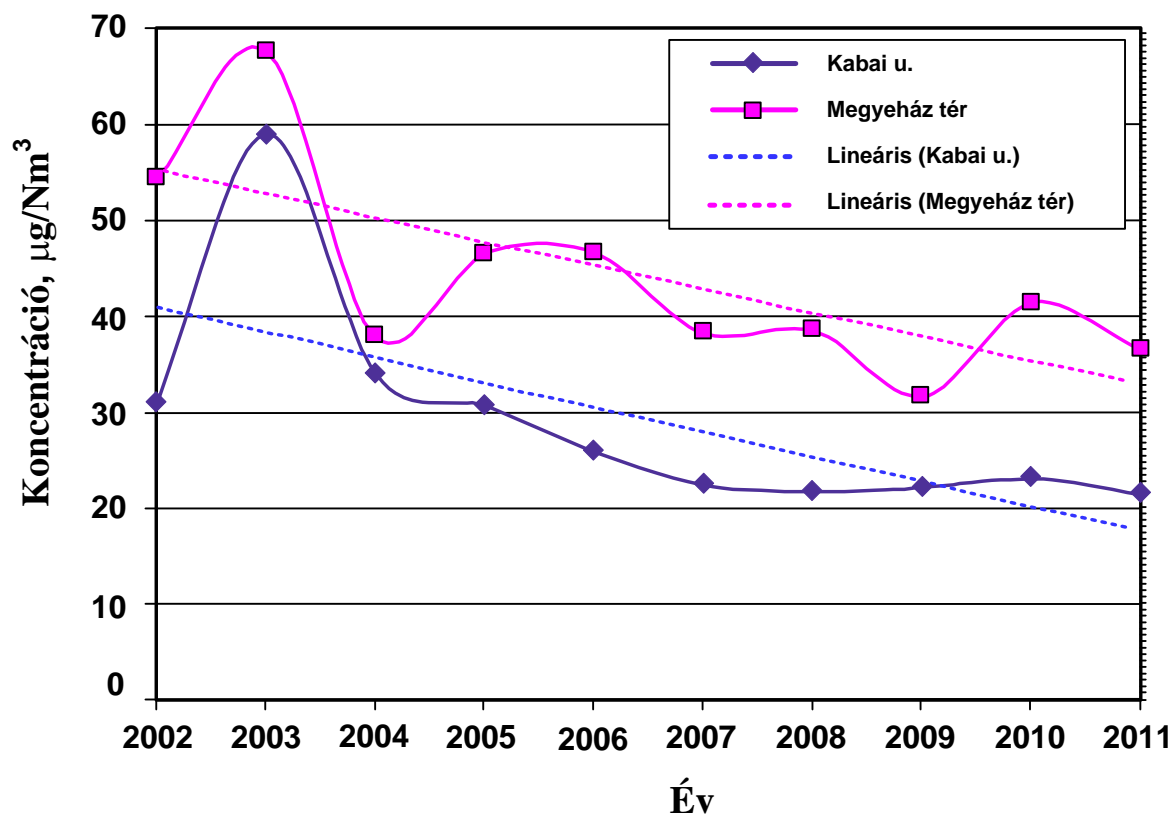
**4. táblázat 2011. évben Veszprémben a Megyeház tér és a Halle u. mérőhelyeken mért nitrogén-dioxid koncentrációk alakulása.**

Nap	M.H.	H.U.	Nap	M.H.	H.U.	Nap	M.H.	H.U.	Nap	M.H.	H.U.	Nap	M.H.	H.U.	Nap	M.H.	H.U.
	µg/m <sup>3</sup>			µg/m <sup>3</sup>			µg/m <sup>3</sup>			µg/m <sup>3</sup>			µg/m <sup>3</sup>			µg/m <sup>3</sup>	
01.01			03.01	64	44	05.01	36	16	07.01	15	7	09.01	67	23	11.01	53	42
01.02			03.02	49	18	05.02	26	18	07.02	11	7	09.02	19	21	11.02	65	
01.03			03.03	53	27	05.03	34	17	07.03	19	8	09.03	50	9	11.03	7	
01.04			03.04	6	1	05.04	18	10	07.04	18	5	09.04	47	19	11.04	50	
01.05	23	21	03.05	5	30	05.05	2	10	07.05	14	1	09.05	68	26	11.05	50	
01.06	47	51	03.06	5	5	05.06	30	32	07.06	22		09.06	27	14	11.06	48	
01.07	29	71	03.07	28	32	05.07	33	23	07.07	67		09.07	13	7	11.07	3	
01.08	40	59	03.08	47	44	05.08	28	15	07.08	53		09.08	17	12	11.08	29	
01.09	50	16	03.09	50	21	05.09	51	29	07.09	68		09.09	32	14	11.09	26	
01.10	55	45	03.10	76	72	05.10	32	28	07.10	34		09.10	50	27	11.10	30	
01.11	37	44	03.11	35	73	05.11	42	18	07.11	31		09.11	46	26	11.11	23	
01.12	20	25	03.12	82	32	05.12	75	21	07.12	42		09.12	23	14	11.12	42	
01.13	53	22	03.13	57	17	05.13	15	17	07.13	31		09.13	68	19	11.13	31	
01.14	87	24	03.14	42	18	05.14	46	20	07.14	45		09.14	37	7	11.14	65	
01.15	24	9	03.15	45	31	05.15	14	14	07.15	24		09.15	62	9	11.15	41	
01.16	35	21	03.16	30	41	05.16	26	9	07.16	37		09.16	70	37	11.16	92	68
01.17	81	65	03.17	35	45	05.17	9	15	07.17	36		09.17	68	31	11.17	68	59
01.18	56	6	03.18	14	23	05.18	37	26	07.18	27		09.18	40	11	11.18	51	35
01.19	47	27	03.19	15	12	05.19	70	26	07.19	46		09.19	31	14	11.19	34	18
01.20	32	13	03.20	40	11	05.20	80	28	07.20	34		09.20	23	15	11.20	46	17
01.21	25	12	03.21	53	30	05.21	39	21	07.21	13		09.21	15	6	11.21	43	23
01.22	27	13	03.22	11	24	05.22	47	18	07.22	0		09.22	27	10	11.22	56	27
01.23	22	17	03.23	47	21	05.23	19	12	07.23	41		09.23	42	22	11.23	38	17
01.24	38	11	03.24	62	22	05.24	69	25	07.24	16		09.24	34	16	11.24	59	2
01.25	56	5	03.25	30	7	05.25	34	11	07.25	21		09.25	3	11	11.25	15	5
01.26	47	45	03.26	24	16	05.26	3	17	07.26	27		09.26	69	32	11.26	1	18
01.27	40	11	03.27	53	43	05.27	55	18	07.27	60	9	09.27	48	28	11.27	37	23
01.28	70	13	03.28	56	28	05.28	17	1	07.28	8	18	09.28	25	6	11.28	46	19
01.29	63	31	03.29	39	32	05.29	24	8	07.29	25	24	09.29	28	23	11.29	25	17
01.30	59	65	03.30	36	37	05.30	67	10	07.30	8	2	09.30	27	35	11.30	21	25
01.31	65	32	03.31	79	21	05.31	13	28	07.31	15	2	10.01	35	20	12.01	29	21
02.01	54	22	04.01	18	25	06.01	45	18	08.01	11	2	10.02	24	10	12.02	11	26
02.02	30	42	04.02	2	10	06.02	22	10	08.02	35	14	10.03	67	51	12.03	46	26
02.03	1	31	04.03	4	28	06.03	18	28	08.03	62	31	10.04	68	33	12.04	38	25
02.04	30	38	04.04	52	28	06.04	39	18	08.04	59	4	10.05	55	27	12.05	16	9

02.05	69	43	04.05	18	14	06.05	42	13	08.05	34	15	10.06	52	19	12.06	56	24
02.06	37	33	04.06	1	16	06.06	55	21	08.06	31	16	10.07	26	11	12.07	57	36
02.07	88	68	04.07	27	7	06.07	57	19	08.07	29	19	10.08	18	7	12.08	27	14
02.08	47	43	04.08	18	8	06.08	43	19	08.08	42	15	10.09	12	6	12.09	45	17
02.09	45	9	04.09	9	4	06.09	23	13	08.09	8	2	10.10	22	16	12.10	60	7
02.10	47	12	04.10	1	21	06.10	3	4	08.10	21	13	10.11	30	23	12.11	41	22
02.11	20	9	04.11	21	9	06.11	7	1	08.11	40	21	10.12	25	17	12.12	42	29
02.12	15	7	04.12	27	12	06.12	0	5	08.12	79	34	10.13	25	17	12.13	38	18
02.13	26	1	04.13	14	10	06.13	36	8	08.13	32	64	10.14	11	20	12.14		
02.14	50	19	04.14	0	19	06.14	41	11	08.14	31	10	10.15	31	15	12.15		
02.15	11	2	04.15	35	10	06.15	8	38	08.15	72	15	10.16	12	29	12.16		
02.16	40	36	04.16	33	19	06.16	54	13	08.16	37	17	10.17	57	45	12.17		
02.17	45	47	04.17	28	27	06.17	50	17	08.17	78	16	10.18	62	41	12.18		
02.18	46	24	04.18	40	14	06.18	23	7	08.18	95	41	10.19	32	31	12.19		
02.19	15	24	04.19	62	25	06.19	9	10	08.19	60	23	10.20	11	2	12.20		
02.20	6	15	04.20	38	33	06.20	21	10	08.20	32	6	10.21	32	3	12.21		
02.21	48	29	04.21	51	38	06.21	59	13	08.21	68	18	10.22	21	34	12.22		
02.22	62	29	04.22	68	43	06.22	61	17	08.22	73	28	10.23	18	22	12.23		
02.23	50	24	04.23	45	20	06.23	31	12	08.23	73	38	10.24	15	35	12.24		
02.24	34	22	04.24	24	18	06.24	16	12	08.24	4	38	10.25	25	35	12.25		
02.25	37	28	04.25	29	4	06.25	21	10	08.25	56	32	10.26	23	32	12.26		
02.26	45	28	04.26	17	43	06.26	10	7	08.26	5	33	10.27	60	35	12.27		
02.27	34	31	04.27	69	4	06.27	13	11	08.27	25	4	10.28	44	29	12.28		
02.28	35	27	04.28	54	11	06.28	11	9	08.28	46	13	10.29	53	36	12.29		
			04.29	34	22	06.29	28	10	08.29	15	20	10.30	50	45	12.30		
			04.30	43	19	06.30	19	2	08.30	7	11	10.31	57	47	12.31		
									08.31	28	8						

A **4. táblázat** adataiból meghatározhatjuk az egyes mérőhelyeken (90 %-os lefedettség figyelembe vételével) a havi átlagos koncentrációt (pl. február hónapban a Megyeház térség elhelyezett monitoring pontnál  $38,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , míg a Halle u. 6. szám alatt elhelyezett mintavételi pontnál  $26,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  értékek adódtak. A többi hónapra is elvégezve az átlagértékek kiszámolását, meghatározhatjuk az éves nitrogén-dioxid átlagkoncentrációkat a két mérési helyre. A két mérőhelyre 2001. évben  $36,6$  és  $21,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  értékek adódtak.) A több éves időszakot lefedő intervallumra rendelkező adatok alapján a környezeti levegő éves nitrogén-dioxid átlagkoncentrációinak változását szemléltethetjük (**5. ábra**).

Az **5. ábrán** szemléltetett, az adott helyen mért értékekből számított éves nitrogén-dioxid átlagkoncentrációk értékei összevethetők a rendelet alapján előírt levegőminőségi határértékekkel, melyből megállapítható, hogy a lakott területekre vonatkozó környezeti levegő minőségéért felelős önkormányzatnak kiemelt figyelmet (nitrogén-dioxid kibocsátást csökkentő intézkedések) kell fordítania a Megyeház tér környezetére. A közel tíz évet lefedő környezeti monitoring eredményeként kapott adatbázis eredményeinek feldolgozásával megállapítható, hogy a vizsgált időszakban a vizsgált területeken a környezeti levegő nitrogén-dioxid éves átlagos koncentrációja trendszerűen csökken (a 2003. évi – relatíve jelentős-nitrogén-dioxid éves átlagos koncentrációjának növekedéséért a város területén, huzamosabb ideig dolgozó munkagépek [belváros közelében bevásárló központ építése] okozta emisszió lehet a felelős). 2012-ben elkezdett és folytatott belváros rekonstrukciója, a körforgalom kiépítése következtében –valószínű- hasonló nitrogén-dioxid koncentráció növekedés várható, hisz a nagyteljesítményű dízel üzemű munkagépek szinte egy helyben állva terhelték kipufogó gázaikkal a belváros levegőjét. (A két helyen végzett monitoring mérési adatok 2013. első negyedéve után lesznek nyilvánosan elérhetőek.)

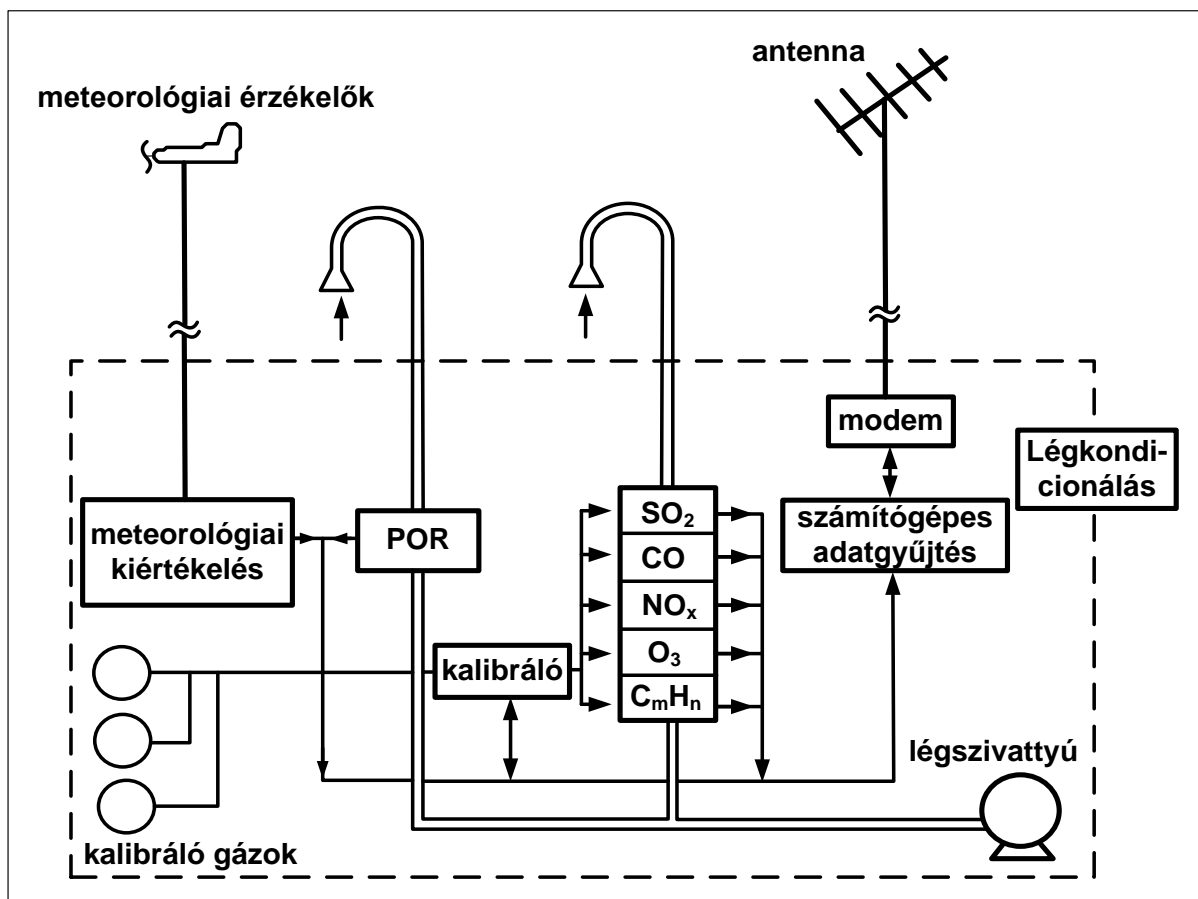


5. ábra A NO<sub>2</sub> napi átlagkoncentrációból becsült havi- és az abból becsült éves átlagos koncentráció a két monitoring helyen, µg/Nm<sup>3</sup>

#### 4.2. Példa: On-line környezeti monitoring

Korábban említettük a környezeti levegő –különösen az emberi egészségre káros komponenseinek- szennyezettségi koncentrációinak meghatározása és naprakész ismerete. A világszerte elfogadott, egységes elvek szerint felépített on-line környezeti levegő- minőség ellenőrző monitoring rendszer vázlatát, felépítését a **6. ábra** A környezeti levegő szennyezettségének meghatározására kiépített on-line monitoring egység elvi felépítése szemléltetjük.

A **6. ábrán** bemutatott on-line, környezeti levegő szennyezettséget mérő rendszer elvi felépítése is mutatja, hogy a monitoring egység folyamatos információt szolgáltat a környezeti levegő fizikai paramétereiről (hőmérséklet, nedvesség-tartalom, légnyomás, szélesség, szélirány, napsugárzás intenzitása, csapadék intenzitása, stb.), valamint a levegőszennyező anyagok közül kiválasztott komponensek időben változó koncentráció értékeiről. A rendszer üzemeltetésének előnyei közül ki kell emelni az azonnali mérési adatszolgáltatást (az adattároló kapacitás csökkentése érdekében a kvázi folyamatosan keletkező mérési adatokból az adatgyűjtő rendszer általában 15 percnként átlagértéket képez, s a 15 perc időtartamú mérések átlagértékeiből számolhatók az óras átlagértékek, ezekből pedig –a jogszabályi előírásoknak megfelelően- a 24 órás átlagértékek), így a rendszer szinte azonnal jelzi a vizsgált paraméterek koncentráció változásának trendjét, azaz alapvető, objektív mérésen alapuló információt szolgáltat a környezetminőség változásáról. Az esetleges kedvezőtlen környezetminőségi változások esetén alapvető adatokat szolgáltat a levegőminőség romlásának megakadályozására meghozandó preventív intézkedésekhez. Az egyes részegységek működési elveivel, a mért adatok feldolgozásával és felhasználásával a későbbiekben részletesen foglalkozunk.



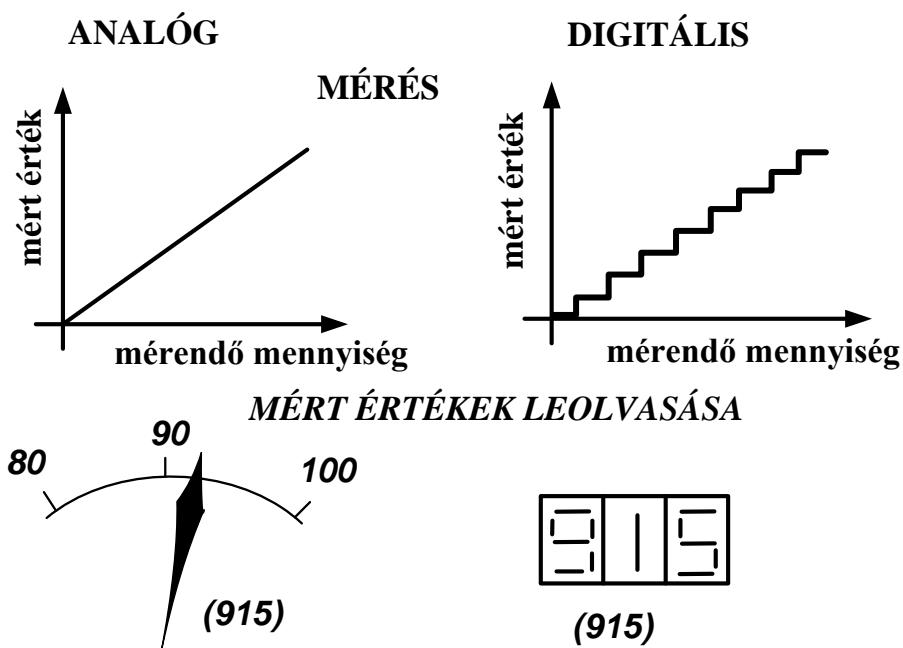
6. ábra A környezeti levegő szennyezettségének meghatározására kiépített on-line monitoring egység elvi felépítése

A 2. ábrán bemutatott szerkezeti felépítésű környezeti monitoring egység csoportosítható a környezeti elemről történő *mintavételezés* és a monitoring legfontosabb egységét képező *analizátor* által szolgáltatott jel *formátuma* alapján megkülönböztetjük az:

- *Analóg mérési eredményt* és a
- *Digitális mérési eredményt*

Az *analóg mérések*re az jellemző, hogy a mérendő mennyiség és az azzal arányos analóg (pl. ellenállás, kapacitás, frekvencia, feszültség, áramerősség, stb.) jel között közel lineáris kapcsolat áll fenn. Az analóg mérések eredményeinek nagy része - pl. egy mutató műszer kitérése - sem teljesen analóg, mert sűrűdési jelenségek és egyéb torzítások következtében a mérendő mennyiség igen kicsiny megváltozását nem feltétlenül követi a mért érték, különösen pedig a leolvasható érték megváltozása. A *digitális mérések*re az jellemző, hogy a mérendő mennyiséggel arányos analóg jelet a megjelenítés előtt *analóg/digitális* (A/D konverter) *jelátalakító*val digitális formába alakítják. Mind az analóg, mind a digitális mérések elve régóta ismeretes és használatos. Jó példa erre az időmérés két eltérő módja: az analóg mérés egyszerű, de hosszú idők mérésére pontatlan eszköze a homokóra, míg egy nagy pontosságú időalap (pl. inga lengési ideje) digitális jellegű számlálását fogaskerék rendszerekkel hosszú időtartamokra is igen pontosan el lehet végezni. Az analóg és digitális mérések közötti különbséget a 7. ábrán szemléltettük.





7. ábra Az analóg és a digitális mérés elvének összehasonlítása

A **7. ábra** a mérendő mennyiség és a mért érték közötti összefüggést ábrázolja, melyről jól látható, hogy a digitális jellegű méréseknél a mérendő mennyiség megváltozása nem szükségszerűen vonja maga után a mért érték megváltozását. Ez a jellemző azonban nem jelent hátrányt akkor, ha a mérendő értéktartomány, a kívánt mérési pontosság és a mérési alapmennyiség (kvantum nagyság) célszerűen lettek megválasztva.

A **2. ábrán** bemutatott szerkezeti felépítésű *környezeti monitorozás* csoportosítható a *monitoring egység* adatszolgáltatási jellegét illetően is. A környezeti monitorozás feladata lehet egy-egy szennyező forrás (pont-, vonal-, vagy területi forrás) által kibocsátott szennyező anyag fluxusának meghatározása, vagy a környezetbe kijutott szennyezőanyag szétoszlása, keveredése, elszállítódása (más néven transzmissziója) után kialakult koncentrációjának meghatározása. Ennek megfelelően csoportosíthatjuk:

- **Emisszió monitoringra** és
- **Immisszió monitoring** feladatra.

Általánosságban elmondható, hogy az *emissziós* és *immissziós* koncentrációk meghatározására kifejlesztett szakaszos, vagy a korszerű folyamatos és automatikus **mérőrendszerek felépítése azonos elven** alapul, legtöbbször az *érzékelő elve is ugyanaz*, a lényeges **különbség** az elektronikus *jelfogásban* és *jelfeldolgozásban* rejlik. Tételezzük fel, hogy az emissziós koncentráció értéke egy komponensre egységnyi, akkor az immissziós koncentráció - ezen forrástól való távolságtól és a terjedést befolyásoló tényezőktől függően akár  $10^{-6}$  -  $10^{-10}$  egységnyi is lehet. Ez azt jelenti, hogy ezen immissziómérő egységnek olyan "érzékenynek" kell lennie, hogy ezen kis koncentrációt is megbízhatóan, reprodukálhatóan nyomon kövesse és a mérés eredményeként legalább akkora elektronikus jelnek kell lennie, hogy a **jel/zaj viszony** még ekkor is 100-nál nagyobb legyen.

Itt kell megemlíteni a mérőrendszer **kimutatási határ**-koncentrációját (LOD, limit of detection), amely az alapvonalzaj háromszorosának megfelelő magasságú jelet adó koncentrációként vagy a standard deviáció háromszorosaként definiálják (ez alatt azt az értéket értjük, ahol a **jel/zaj arány**  $\geq 3$ .), addig a **mennyiségi meghatározási határ**-koncentráció

(LOQ, limit of quantification) azt a legkisebb koncentrációt jelenti, mely még megfelelő precizitással és helyességgel meghatározható (amely azt is jelenti, hogy a mennyiségi mérési határkoncentrációnál a  $jel/zaj \geq 10-15 \pm 10-20\%$ ). A mennyiségi meghatározási határkoncentráció kiszámításához a precizitás és a helyesség elfogadható szintjét is meg kell adni, melyek értéke a környezeti mérés céljától függ. A precizitásnak többnyire 10 % RSD alatt kell lennie. A LOQ-t sokszor a standard deviáció tízszeresének veszik. Ezek alapján a kimutatási, illetve meghatározási határok:

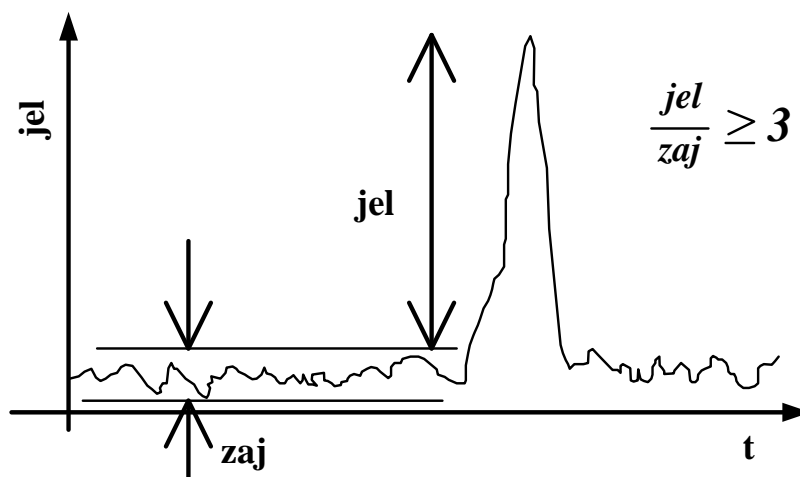
$$LOD = \frac{3 \cdot s}{S} \quad \text{vagy} \quad LOQ = \frac{10 \cdot s}{S}$$

ahol:

s – az alapvonal (un. „nulla” anyagok) szórása vagy standard deviációja (lásd később) S - az analitikai érzékenység

S – az analitikai érzékenység

A LOD/LOQ érték általában függ az adott mérési módszer sajátosságától, a mérőegység stabilitásától, a minta adagolás reprodukálásától, stb. A kimutatási- és meghatározási koncentráció értelmezését a **8. ábrán** mutatjuk be.



8. ábra A kimutatási- és mennyiségi meghatározás határ-koncentrációjának szemléltetése

A **2. ábrán** bemutatott szerkezeti felépítésű *környezeti monitorozás* csoportosítható az alapján is, hogy mely *környezeti elemből* történik a *mintavételezés*, minta-előkészítés, analízis, azaz *mely környezeti elem* környezeti monitoringját végezzük. Ennek megfelelően a csoport tagjai:

- **Környezeti levegő** monitoring
- **Vízmonitoring** (felszíni- és felszín alatti víz)
- **Talajmonitoring**
- **Tájmonitoring**
- **Épített környezet** monitoring, stb.

## 5. Környezeti elemek specifikumai, mint a mérés-technika alapja. Környezeti levegő monitoring

A környezeti levegőbe kijutott szennyező anyagok koncentrációjának meghatározása, a koncentráció változásának naprakész nyomon követése rendkívül fontos, hisz a szennyező anyagok a tér mindhárom irányába majdnem szabadon terjednek, bizonyos komponensek között –számukra kedvező környezeti körülmények esetén- átalakulások játszódhatnak le, s a másodlagosan keletkező szennyező anyag esetleg a környezetre ártalmasabb. A környezetbe kijutott szennyező anyagok terjedését a levegő fizikai állapotában bekövetkező változások determinálják, ennek megfelelően a szennyezőanyagok koncentrációjának meghatározása mellett a levegő fizikai állapotára jellemző paraméterek meghatározása elengedhetetlen, azaz ezen monitoring egységek (munkaállomások) két részből állnak (a levegő állapotának és szennyezettségének meghatározására alkalmas alkotók).

### 5.1. Hőmérséklet, nyomás, áramlás, vezetőképesség mérésén alapuló mérés-technikák. Környezeti levegő fizikai állapotának meghatározása

A *levegőállapotot mérő állomás létrehozásának több célja* lehet, s a munkaállomás kiépítettségének műszaki színvonala az állomással szemben támasztott követelményektől függ. Mások a követelmények egy *légkörkutatóshoz* alapadatokat szolgáló levegőállapot megfigyelőállomással szemben, mint pl. egy, a *légi közlekedéshez időjárási alapadatokat* szolgáló megfigyelőállomással szemben, és ezek az igények évszakoktól függően is változhatnak.

Toussaint, L.F. [9] és Crutcher, H.L. [10] részletesen tárgyalja az egyes érzékelők *elhelyezésének helyét, térbeli sűrűségét és az adatgyűjtés sűrűségét* a fenti kívánalmak függvényében. A **légköri változások** nyomon követéséhez Lenschow [11] a következő *négy alapvető követelményt* állította össze a meteorológiai szenzorokkal kapcsolatban:

- A **vízszintes széleloszlás** meghatározásához több állomás adatait kell felhasználni, melyek száma a szélmező vízszintes irányú eloszlásától függ. A mért szélsébség és szélirány adatokból egy behálózott területi térképen interpolálással meghatározhatók a vízszintes szélmező adatai. A szélsébség méréséhez használt kanalas anemométernek  $0,2 \text{ m/s} \pm 5 \%$  pontosságúnak kell lennie  $0,5 \text{ m/s}$ -nél kisebb alsó méréshatárral. A széliránymérő felbontásának legalább  $1^\circ$ -nak kell lennie minimum  $5^\circ$  pontosság mellett. 60 vagy annál nagyobb számú "mérést" kell elvégeznie percenként, és 1 másodperces válaszüddővel 1-5 másodperces intervallumként átlagértéket kell számolnia és kijelezni. Legalább 360 adatot kell összegyűjteni és átlagolni, hogy 5-10 % hibahatáron belül legyen megadható az egy óra időtartamra vonatkozó átlagérték.
- A **légkör stabilitását** - amelytől függ a szennyezőanyagok térbeli és időbeli eloszlása - a függőleges hőmérsékleti gradiensből, a szélirány fluktuálásából, a szél sebességéből, a globális napsugárzásból és a száraz hőmérsékletből megfelelő modell alapján számolnia kell. A hőmérsékletgradiens mérése  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  pontosságot  $0,02 \text{ }^\circ\text{C}$  felbontásban követeli meg.
- A **kevert réteg** - amely függ a hősugárzás hatására létrejövő konvektív hőáramtól vagy a szélsébség különbség következtében kialakuló turbulenciától - magasságának meghatározása elengedhetetlen. Ezt a rétegvastagságot akusztikus mélységmérővel határozzák meg, melynek felbontása 10 m, és mérésstartománya

- 50-1000 m. Tekintettel arra, hogy a kevert réteg vastagsága általában 200 m-nél kisebb, így az akusztikus mélységmérőt egy magas tornyon célszerű elhelyezni.
- **Turbulens diffúziós koefficiens** meghatározása. Ez a koefficiens a szennyező forrástól mért távolságból és a légtér stabilitásából számolható ki a Paquill-Gifford stabilitási elmélet alapján.

Egy-egy terület éghajlati tulajdonságainak meghatározásához legalább egy évig kell folyamatos mérést végezni, de a legtöbb tanulmány legalább öt éves időtartamot említ, melyből kiválasztható az adott területet reprezentáló éghajlati viszony, illetve a változások trendje ezen öt éves adathalmazból meghatározható. A fenti kívánalmakat kielégítő levegő monitoring érzékelőit a Magyarországon is *elterjedten* alkalmazott, a WMO (World Meteorological Organisation) rendszeréhez kapcsolódó **meteorológiai állomás** érzékelőit, azok működési elvét az alábbiakban tekintjük át.

a/ **Szélességmérő (9. ábra)** vagy idegen nevén anemométer, amelynél a három kónikus "szélkanál" tengelyén egy réselt tárcsa található, s a tárcsa forgási sebességének függvényében a forgó tárcsa fölött elhelyezett infravörös fényforrás sugara impulzusonként szaggatva jut el a tárcsa alatt, a fényforrás irányában elhelyezett, érzékelő fototranzisztorra. A fototranzisztoron érzékelt a pulzálási sebesség arányos a mérő forgási sebességével, azaz a szélességgel. A készülék 0,4-75 m/s méréstartományban üzemeltethető, 4 °C-nál kisebb hőmérsékleten a beépített belső fűtőtest automatikusan üzembe lép, és a kanalak illetve az egész rendszer hőmérsékletét 4 °C-ra növeli, s ezzel megakadályozza a víz kikondenzálódását és kifagyását. A mérő a teljes méréstartományában lineáris.

b/ **Szélirányjelző (9. ábra)** felépítése nagyon hasonlít az anemométer felépítéséhez, eltérés, hogy a szélirány mérő-jelző tengelyén elhelyezett forgó tárcsán 5,6 °-onként kódolt rések találhatók. A tárcsa fölött infravörös fényforrások, alatta pedig fototranzisztorok találhatók. A réselt (kódolt) tárcsa elfordulásával az infravörös fény más-más 6 bites kódolt részen haladhat át, s a készülék ebből határozza meg a szél irányát. Ennek megfelelően a



a)



b)

9. ábra A szél sebességét (a) és irányát (b) mérő egység felépítése

felbontása 5,6 °, mérési tartománya 0-360°. A 4 °C-nál kisebb hőmérsékleten a beépített 10 W teljesítményű fűtőegység állandó hőmérsékleten fogja tartani. az egész egységet, s ezzel a vízgőz esetleges kifagyásából következő "lemerevedések" megakadályozhatók. A szélirányjelző elektronikus jele közvetlenül megjeleníthető, illetve megfelelő A/D konverter közbeiktatásával a mért érték RS-232 csatlakozással adatgyűjtőre vagy adatfeldolgozóra (PC) kerül.

c/ A levegő áramlási sebességének és irányának meghatározása mellett rendkívül fontos a **sűrűségének** ismerete is. A levegő sűrűsége függ az összetételétől (a 20,8 v/v% O<sub>2</sub>, a 78 v/v% N<sub>2</sub> és 1 v/v% Ar a sűrűségváltozás tartományát jól limitálja), nyomásától és hőmérsékletétől. A **maximális levegő-nedvességtartalmat**, amely a víz atmoszférikus nyomású egyensúlyi gőztenziójából meghatározható különböző hőmérsékletekre az **5. táblázat** tartalmazza.

A táblázat adataiból látható, hogy különösen nyári meleg, esős időszakokban a levegő vízgőztartalma 10-15 v/v%-ot is elérhet, így az oxigén és nitrogén összetevő mellett a sűrűséget jelentősen befolyásolja a vízgőztartalom (köznyelven páratartalom). Ki kell hangsúlyoznunk egy korábban megismert fogalom fontosságát és felhasználását, nevezetesen a **relatív nedvességtartalmat** (jelölése: s,%), amely azt mutatja meg, hogy a levegőben levő vízgőz gőznyomása (P<sub>vg</sub>) hány százaléka az **egyensúlyi gőznyomásnak** (P<sub>vg</sub><sup>0</sup>).

$$s = \frac{P_{vg}}{P_{vg}^0} \cdot 100, \%$$

A jobb megértéshez lássunk egy példát: tegyük fel, hogy a levegő hőmérséklete 27 °C és relatív nedvességtartalma 65,5 % (ezt hallottuk a tömegkommunikáció időjárás-jelentéséből). A táblázatból láthatjuk, hogy a 27 °C-os levegőben a vízgőz maximális parciális nyomása atmoszférikus nyomáson 3564 Pa, így a 65,5 % páratartalmú levegőben a vízgőz parciális nyomása 3564 • 0,655 = 2338 Pa. A táblázatból azt is látjuk, hogy a vízgőz egyensúlyi gőznyomása 20 °C-on közel megegyezik ezzel az értékkel, így ha ezt a levegőt 20 °C alá hűtjük - pl. légkondicionálóban - akkor a vízgőz egy része kikondenzál. Korábbi tanulmányokból ismeretes, hogy az a hőmérséklet, amelyen a vízgőz gőznyomása az egyensúlyi gőznyomással azonos értékű a levegő harmatpontja (t<sub>h</sub>), mert amennyiben a hőmérséklet ezen érték alá csökken, akkor víz kondenzálódik ki a levegőből, azaz "harmat" képződik.

A gyakorlatban sok esetben szükségünk van a környezeti levegő (légnomása, P<sub>b</sub>) abszolút nedvességtartalmára (Y) is, amely megadja, hogy 1 kg száraz levegő hány kg vízgőzt szállít magával. Az abszolút nedvességtartalom a relatív nedvességtartalomból könnyen származtatható:

$$Y = \frac{P_{vg}}{P_b - P_{vg}} \cdot \frac{18}{29} = \frac{\frac{S}{100} \cdot P_{vg}^0}{P_b - \frac{S}{100} \cdot P_{vg}^0} \cdot \frac{18}{29}$$

A fent leírtakból jól látható, hogy a hőmérsékletmérés egyúttal felhasználható a levegő sűrűségét befolyásoló **nedvességtartalom** meghatározására is. Ehhez mérnünk kell az un. **száraz és nedves** hőmérsékletet. A **száraz hőmérséklet** egyszerűen mérhető. A hőmérsékletmérést valamely anyag hőmérsékletváltozásra bekövetkező fizikai (fiziko-kémiai) tulajdonságváltozására vezetik vissza. Pl. **folyadékok hőtágulása** alapján működik a jól ismert higanyos, borszeszes hőmérő, vagy a **szilárd fém platina ellenállásának** értéke függ a hőmérséklettől. Az előbbi esetben a folyamatos adatgyűjtéshez a higanynivó, borszesznívó

elmozdulását elektromos jellé kell alakítani, míg az utóbbi esetben az ellenállás mérése egy elektromos áramkör aktív elemének paraméterváltozását követi, így az elektromos jel rendelkezésre áll.

5. táblázat A vízgőz egyensúlyi gőznyomása és koncentrációja az atmoszférikus levegőben

hőmérséklet, °C	vígőz egyensúlyi gőznyomása, Pa bar		vígőz egy.súlyi konc. v/v%	hőmérséklet, °C	vígőz egyensúlyi gőznyomás, Pa bar		vígőz egy.súlyi konc. v/v%
0	611	0,0061	0,61	31	4491	0,0443	4,43
1	657	0,0065	0,65	32	4753	0,0469	4,69
2	705	0,0070	0,70	33	5029	0,0496	4,96
3	757	0,0075	0,75	34	5318	0,0525	5,25
4	813	0,0080	0,90	35	5622	0,0555	5,55
5	872	0,0086	0,86	36	5940	0,0586	5,86
6	935	0,0092	0,92	37	6274	0,0619	6,19
7	1001	0,0099	0,99	38	6624	0,0654	6,54
8	1072	0,0106	1,06	39	6991	0,0690	6,90
9	1147	0,0113	1,13	<b>40</b>	<b>7375</b>	<b>0,0728</b>	<b>7,28</b>
<b>10</b>	<b>1227</b>	<b>0,0121</b>	<b>1,21</b>	41	7778	0,0768	7,68
11	1312	0,0129	1,29	42	8198	0,0809	8,09
12	1402	0,0138	1,38	43	8637	0,0853	8,53
13	1497	0,0148	1,48	44	9100	0,0898	8,98
14	1597	0,0158	1,58	45	9582	0,0946	9,46
15	1704	0,0168	1,68	46	10085	0,0995	9,95
16	1817	0,0179	1,79	47	10612	0,1047	10,5
17	1936	0,0191	1,91	48	11162	0,1102	11,0
18	2062	0,0204	2,04	49	11736	0,0058	11,6
19	2196	0,0217	2,17	<b>50</b>	<b>12335</b>	<b>0,1217</b>	<b>12,2</b>
<b>20</b>	<b>2337</b>	<b>0,0231</b>	<b>2,31</b>	51	12960	0,1279	12,8
21	2486	0,0245	2,45	52	13612	0,1343	13,4
22	2643	0,0261	2,61	53	14292	0,1411	14,1
23	2808	0,0277	2,77	54	15001	0,1481	14,8
24	2982	0,0294	2,94	55	15740	0,1553	15,5
25	3167	0,0313	3,13	56	16510	0,1629	16,3
26	3360	0,0332	3,32	57	17312	0,1709	17,1
27	3564	0,0352	3,52	58	18146	0,1791	17,9
28	3779	0,0373	3,73	59	19015	0,1877	18,8
29	4004	0,0395	3,95				
<b>30</b>	<b>4241</b>	<b>0,0419</b>	<b>4,19</b>				

A környezeti levegő vízgőz- (pára-)tartalmát úgy tudjuk meghatározni, hogy megmérjük a *levegő harmatpontját*, azaz azt a hőmérsékletet, amelyen a vízgőz koncentrációja egyensúlyi értékű. Ehhez a hőmérő érzékelő részét olyan, a környezeti levegővel érintkező, nagy párolgási felületű vízzel túltelített térbe kell tartani, ahol a víz elpárolog és a forráspontot mérjük, ez viszont megegyezik a harmatponttal (elhanyagoljuk, hogy többkomponensű rendszerrel állunk szemben). Ezen nedves hőmérséklet méréséhez meg kell várnunk az egyensúly beálltát, a "végtelen" hosszú ideig kell várnunk a pontos egyensúlyi érték meghatározásához. A változó

légköri viszonyok közepette a levegő állapota ez idő alatt már meg is változhat, így ez a módszer csak gyors, tájékoztató eredményt adhat.

A levegő nedvességtartalmának méréséhez felhasználható bizonyos anyagok valamilyen fizikai tulajdonságának változása (pl. nagyfelületű adszorbensek tömegváltozása, cellulóz, fa méretváltozása vagy a lószőr hosszúságváltozása). Sajnos ezen fizikai tulajdonságváltozások számszerű értékeinek a levegő nedvességtartalmának növekedése és csökkenése esetén jelentős hiszterézise van, így *levegő-monitoring*hoz csak nagy holtidejű rendszereknél alkalmazhatók; *nem elégitik ki* a Lenschow D.H. által is *megfogalmazott igényeket*.

Közismert, hogy a levegőtöltésű **kondenzátorok kapacitása** függ az "elektrolit" összetételétől, azaz az elektrolit *nedvességtartalmától*. Ez a nedvességtartalom-függésen alapuló kapacitásmérés felhasználható a páratartalom meghatározására. Feltehetően ezt az elvet alkalmazza a legelterjedtebben használt HMP 35D típusú "Humicap<sup>R</sup>" márkanéven szabadalmaztatott és mérés technikában alkalmazott folyamatos nedvesség-meghatározó érzékelője. A szenzor 0-100 % relatív nedvességtartalom tartományban alkalmazható, pontossága  $\pm 1$  % relatív nedvességtartalom, míg a válaszideje 20 °C-on 15 s-nél nem nagyobb.

A -40 - +60 °C méréstartományban használható "Humicap<sup>R</sup>" H-senzort egy 235 mm hosszúságú, 24 mm átmérőjű krómozott csőben helyezték el, így a kis helyigénye különösen alkalmassá teszi a széleskörű felhasználásra. A *szenzor* beépített hőmérőt tartalmaz, így a *nedvességtartalommal arányos elektromos jel* mellett a **hőmérsékleti jel** is továbbítható a megfelelő adatfeldolgozó egységhez. Az elektronikus hőmérsékletmérés érzékelője leggyakrabban a platina-huzal ellenállása (Pt-100) vagy egy termisztor ellenállása. A termisztor egy TNK-típusú félvezető, amelynek ellenállása a hőmérséklet növekedésével igen erősen csökken, de ez a csökkenés nem lineáris. A termisztorok stabilitása kisebb a platina ellenállás hőmérőkhöz viszonyítva, így a hőmérséklet hitelesítési értékei csak korlátozott ideig érvényesek, kettő-négy havonta kalibrálásuk elvégzése elengedhetetlen, viszont különös előnyük a kis tehetetlenségük, azaz a rövid válaszidejük.

A **hőmérséklet és a nedvességtartalom** változásának egyidejű detektálására -a különösen zárt helyiségekben- elterjedten alkalmazták az ún. **termohigrográfot**, amely egy önírós műszer. Egy folyamatosan forgó íróhenger felületére erősített regisztrálószalagra kerül rá a léghőmérséklet és a légnedvesség időbeni változásainak egyidejű menete. E műszerekben a **hőmérséklet** mérésére a két különböző hődilatációjú **fémlemez** összehengerlésével készült **bimetált**, míg a **légnedvesség** érzékelésére a **hajszálköteg** nedvesség hatására bekövetkező **hosszváltozását** használják. (Relatív értékeket rögzít, környezeti monitoringra alkalmatlan, az elektronikus jel előállításával napjainkig nem foglalkoztak.)

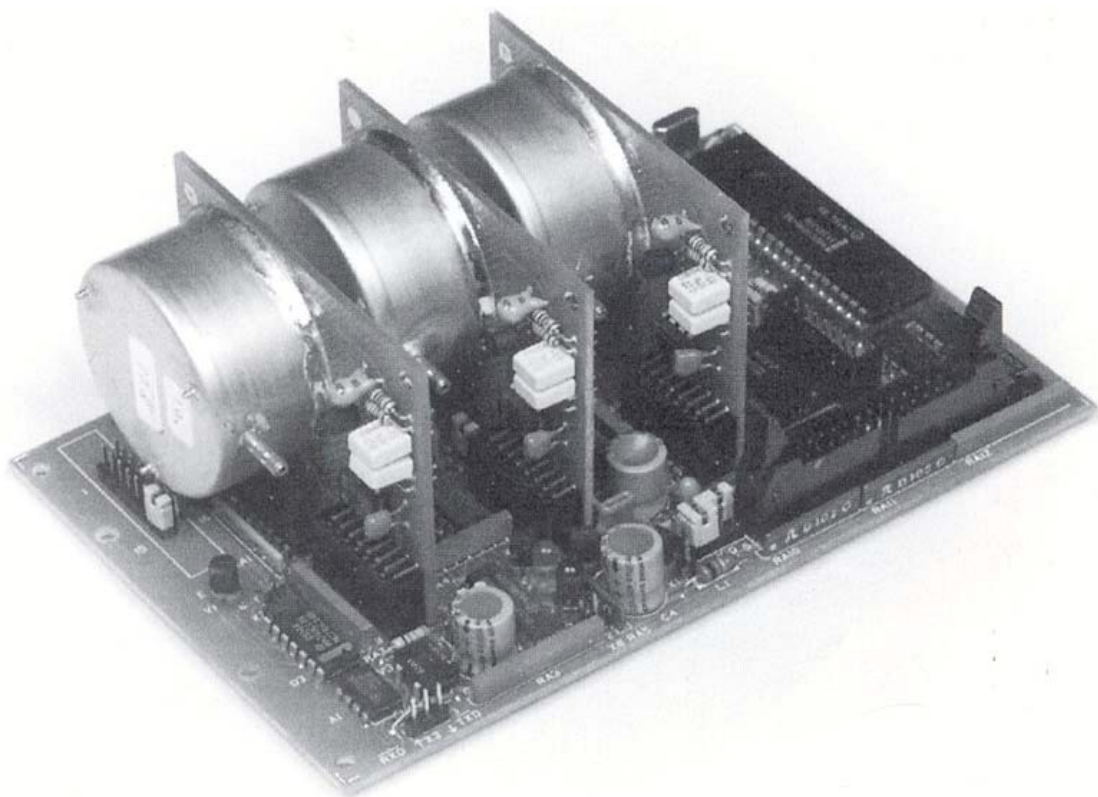
A fent említett platina ellenállás-hőmérő és a termisztor -100 és +100 °C hőmérséklettartományban 0,1-0,2 °C pontossággal használható. A pontosságuk, kis méretük, **rövid válaszidejük** miatt a környezeti monitoring fontos pillérét alkotják.

Itt kell megemlíteni az egyéb hőmérsékletmérési módszereket is, úgymint a 600-1200 °C hőmérsékletáig alkalmazható, a két különböző fém összeforrasztási helyén keletkező termofeszültség mérési elvén alapuló termoelemeket és a nagyobb hőmérséklettartományban alkalmazható pirométereket (ezek tulajdonképpen színmérők).

**d/Légnyomás monitoring** A környezeti levegő sűrűsége lineárisan változik a **nyomásának** változásával. A légköri levegő nyomásának meghatározására és regisztrálására kifejlesztett eszközök gyűjtőneve a **barométer**. A **higanyos barométer** felépítése lényegében Toricelli 1643-ban végzett kísérlete óta elviekben nem változott; egy kb. 1 méter hosszúságú felső végén leforrasztott és higannyal feltöltött alul nyitott üvegcső nyitott felületű higanyba merül. A nyitott higanyfelületre a légköri nyomás nehezedik, míg a higanyoszlop felett "légüres" tér található, így a higanyoszlop magassága változik a légnomással. Amennyiben a higannyal töltött fölül lezárt üvegcsövet U-alakúra hajlítják, akkor a barometrikus nyomásváltozásra az

U-cső nyitott végén is higanyszint-változás következik be, és ezen egy úszó lebeg. A higanyszint változásai az *úszóhoz kapcsolt áttételek segítségével regisztrálókart* hoznak mozgásba és így a mindenkori barométerállás regisztrálható. Közismert, hogy a higanyban a levegő és annak szennyezései kismértékben oldódnak, így a Toricelli csőben a nyomás változhat, továbbá az itt uralkodó nyomást a hőmérséklettől függő higanygőznyomás is befolyásolja.

A légnyomásmérés pontosságának növeléséhez, a megbízható, légnyomással arányos elektromos jel biztosításához napjainkban az **aneroid szelencéket** alkalmazó aneroid barométereket (**10. ábra**) használják. Az aneroid szó jelentése folyadékmentes. A szelencéket (kapszulákat) két-két körszimmetrikusan hullámosított fémlemez gázzáró összeillesztésével készítik, s a lezárás előtt a levegő egy részét kiszívják. A külső légnyomás hatására a rugalmas lemezek elmozdulnak, s ez az *elmozdulás* elektromos jellé alakítható, és így a *megfigyelő állomás adatgyűjtő, adatfeldolgozó rendszeréhez* csatlakoztatható. A mérés pontosságának növeléséhez a hőmérsékletváltozásból adódó alakváltozást korrigálni kell. Régebben ezt bimetallos elven működő hőmérsékletváltozási kompenzátorral korrigálták. Napjainkban a hőmérsékleti korrekció - a hőmérséklet egyidejű mérésével - elektronikus úton történik. A **10. ábrán** bemutatott készülék **három egymástól függetlenül működő aneroid** érzékelőt tartalmaz, a mikroprocesszor összehasonlítja a három "légnyomásértéket", s hibajelzést ad, amennyiben a három jel a megadott pontosságnál nagyobb mértékben eltér. A **10. ábrán** bemutatott egység a kapszulák méretváltozásából adódó *kapacitásváltozást* méri, így az elektromos jelátalakító egy nyomás-frekvencia transzducer. Az elektromos hőmérsékletkompenzáció  $-40 - +55\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os felhasználási hőmérsékletintervallumban az  $500-1050\text{ hPa}$  mérési tartományban  $\pm 0,3\text{ hPa}$  pontosságot biztosít.



10. ábra Aneroid barométer a nyomás-átalakító és hőmérséklet-kompenzációs egységgel

Újabban elterjedőben van a *szilikonkristályok ellasztikus* tulajdonságait felhasználó *integrált áramkörökkel* történő barometrikus nyomásmérés, melyek kitűnnek nagyon jó linearitásukkal,



pontosságukkal és gyakorlatilag a nyomásváltozás nem okoz hiszterézis jelenséget a működésükben.

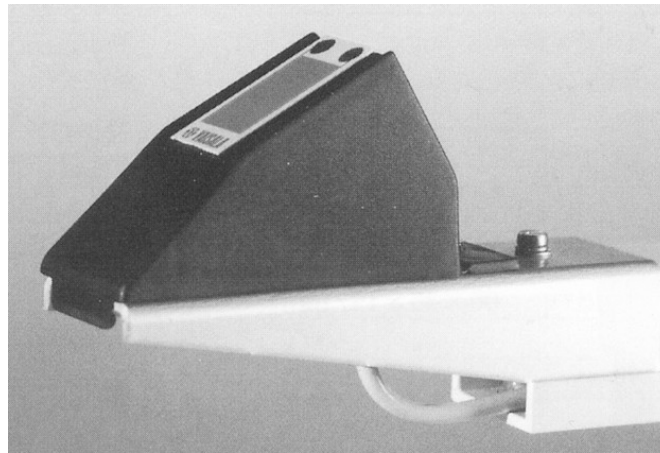
e/ A környezeti levegő állapotának változásához, illetve a levegőstabilitás prognosztizálásához a levegő fizikai állapotát is mérő állomásokat felszerelik a lehulló **csapadék mennyiségének** és **intenzitásának** mérésére alkalmas készülékekkel. Ennek legegyszerűbb elektromechanikus változatát a **11. ábra** szemlélteti. Az egység - felépítéstől függően - 0,2-0,5 mm csapadékmennyiségként egy pulzáló jelet ad. A készülék fő része az alumíniumból készült **400 mm<sup>2</sup> kör felületű fűthető hengertest**, mely **felül tölcser alakban** van kiképezve. A tölcser egy függőlegesen lefelé nyúló csőben végződik. Alul egy 2-5 g tömeggel ellenfeszített, középen két részre osztott vályú található a **felfogott csapadék** gyűjtésére. Amikor a vályú felső helyzetű felében összegyűjtött csapadék tömege egyenlő lesz az ellenfeszítéssel, a vályú átfordul, a 2-5 cm<sup>3</sup> víz kifolyik és a csapadék a vályú másik felében gyűlik össze. A készülék minden **átforduláskor** egy-egy **impulzust regisztrál**, így regisztrálható az az időtartam, amely alatt a 2-5 cm<sup>3</sup> csapadék összegyűlik.

A készülék **előnye** - az egyszerű kivitel mellett - hogy megfelelő automatizáltsággal a bal és jobb oldalra lefolyó 2-5 cm<sup>3</sup> térfogatú **csapadékvíz minták** külön-külön is **összegyűjthetők** és - a későbbiekben tárgyalandó módon - összetétele, tulajdonsága és annak változása meghatározható. A készülék érzékenysége (a vályú méretétől függően) általában 0,2 mm csapadék/impulzus. 4 °C-nál kisebb hőmérsékleten a készülékbe épített elektromos fűtőtest az egység hőmérsékletét 4 °C hőmérséklet értékre szabályozza, így a szilárd halmazállapotú csapadék is mérhető.



11. ábra Csapadékmennyiség és intenzitásmérő egység

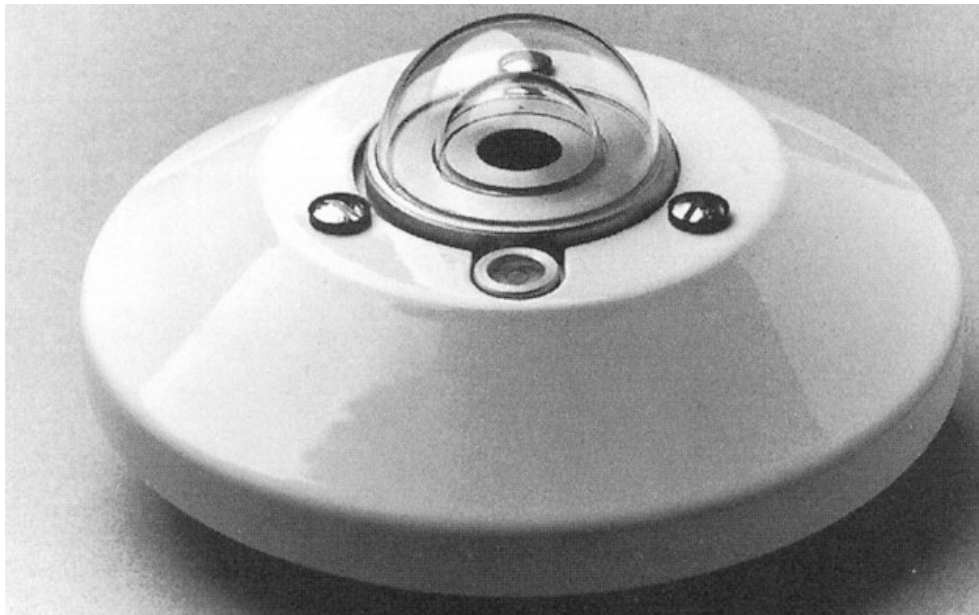
A **csapadékos** időszak illetve **időtartam** pontosabb mérésére szolgál a **12. ábrán** szemléltetett **csapadék detektor**, mely lényege egy 30°-os szögben elhelyezett két fűtőtesttel ellátott **kapacitív** elven működő **érzékelő**. Az esőcsepp hatására a vékonyréteg szenzor kapacitása megváltozik, a fűtőtest elektronikája a fűtést 2 perc eltelte után bekapcsolja, hogy az érzékelő anyaga "megszáradjon". Az elektronikus kiépítettsége lehetővé teszi, hogy önmaga meghatározott három csapadékinzitivitás intervallumban (< 2 mm/h, 2-8 mm/h és > 8 mm/h) működjön, illetve a 4 °C-nál alacsonyabb hőmérsékleten az egységet automatikusan 4 °C-ra fűti fel, így a havas időszak detektálására is alkalmazható.



12. ábra Csapadékdetektor

e/ A meteorológiai monitoring fontos része a **napsütéses időszak** és a **napsugárzás intenzitásának** nyomonkövetése. A **napsütéses időszak** méréséhez a **fekete test hőelnyelő** képességét és az ennek hatására bekövetkező **felmelegedés** elvét használják. Egy polimetilmetakrilát félgömb házba 6 pár, páronként egymással nem érintkező félgöombszelet alakú bimetált építenek be. Egy-egy pár bimetálnál a kívül elhelyezkedők fekete színűek, míg a belsők fehérek. A napsugárzás hatására a félgöombszelet alakú külső fekete bimetallók összehajlanak, az alattuk elhelyezkedő (kisebb sugarú) azonos anyagú fehér színű bimetállal fémes kontaktus lép fel, így a szegmens zárja a két bimetál közötti áramkört, és a zárt állapot időtartama regisztrálható. A félgömb alakú kiképzés következtében gyakorlatilag nem irányérzékeny, a déli nagy intenzitású napsugárzásakor a merőlegesen beeső fény kisebb felületet melegít. Az alsó érzékenységi határa  $80 \text{ w/m}^2$ , kicsi a hőmérséklet érzékenysége ( $\pm 2 \text{ w/m}^2/\text{C}$  értékű).

A **napsugárzás intenzitásának** (egy  $\text{m}^2$  felületre hány  $\text{W}$  energia jut) méréséhez olyan műszert kellett kifejleszteni, amely a  $2\pi$  **nyílásszögű féltérből** egységnyi felületre érkező **napsugárzásáram** meghatározására alkalmas. A **piranométer** (napsugárzás intenzitás mérő) méri a rövidhullámú globálsugárzást, a visszavert globál sugárzást és az égbolt felől érkező szórt sugárzást is. Az árnyékoló koronggal vagy gyűrűvel ellátott piranométerrel a látóhatár feletti  $2\pi$  szélességű szögtartományból vízszintes felületre érkező sugárzást méri oly módon, hogy a napkorong felől érkező közvetlen sugarakat az árnyékoló berendezés segítségével a mérésből kizárják. A **13. ábrán** szemléltetett piranométer fehér színű alumíniumháza épített kettős, teljesen átlátszó félgömbből áll. A poliuretánnal bevont fehér színű alumíniumtest jó termikus stabilitást biztosít, míg a kettős üveg félgömb több funkciót lát el. Egyrészt a külső félgömb kiküszöböli a szél és egyéb időjárás-változás hatását, másrészt megtöri a fény útját.



13. ábra A piranométer képe

A két félgömb közötti tér csökkenti a belső tér *konvektív hőveszteségét*. A piranométer közepén elhelyezkedő termikusan izolált *érzékelője egy 14 mm átmérőjű fekete tárcsa*, melyben egy 8 mm átmérőjű körön 60-80 db nikkell-krómnikkell termoelem található. A közepén elhelyezkedő érzékelő tárcsára *beeső napsugárzás* hatására a sugárzás energiájával arányos, a sorbakapcsolt termoelemeken *polarizált egyenfeszültség* keletkezik, mely napsugárzás *intenzitására kalibrált*.

A légköri változások előre jelzéséhez ismerni kell a közvetlenül *beeső* és a *visszavert* sugárzás arányát (*albedoját*). A sugárzásnak kitett felületek visszaverő képességének, albedojának méréséhez az albedométert alkalmazzák. A műszer általában *két piranométerből áll*, melyből az egyik felfelé, a másik pedig vízszintes tengelyre szimmetrikusan lefelé néz, ílymódon biztosítják a közvetlenül beérkező és a visszavert elektromágneses sugárzás energiájának mérését. Megfelelő elektronikai kapcsolással biztosítható, hogy a két energia külön-külön is mérhető, illetve annak aránya kijelvezhető.

f/ A környezeti levegő állapota (sűrűség, stb.) függ a *szennyező anyagok minőségétől* és *mennyiségétől*. A szennyező anyagok megfigyelésére (monitoringjára) alkalmas eszközök egy részét a meteorológiai állomásokon helyezik el és üzemeltetik. Didaktikai szempontból ezeket a jegyzet más fejezeteiben tárgyaljuk, így a levegő "átlátszóságának" mérésére alkalmas eszközöket is. Közismert, hogy a levegő *átlátszósága* elsősorban a levegőben jelenlevő *aeroszolak, aeroszol elegyek, a köd és szilárd részecskék (szállópor) koncentrációjától függ*.

## 5.2. A környezeti levegő összetétel-változásának objektív mérése

A *környezeti levegő összetétel-változása* a **közvetlen monitorozással** (immissziómérés a környezeti levegő különböző horizontális és vertikális tereiben) határozható meg. A helyhez kötött, *földi telepítésű immissziós levegő-monitoring* rendszerek telepítésének, üzemeltetésének elsődleges *célja*, hogy a közvetlen környezetünk *levegőminőségét* és minőségi változásait objektív mérésen alapuló adatokkal *számszerűsítsük*. Az eddigi tanulmányokból ismeretes, hogy a környezeti levegő állapotát elsősorban a különböző pont-, vonal-, esetleg területi források okozta szennyezések befolyásolják, így a fejezetben külön tárgyaljuk az immissziós levegő monitoring rendszereket és az emissziós monitoring

rendszereket, annál is inkább, mivel ezen utóbbi rendszerek elsősorban az üzemeltető szakembereknek nyújtanak hasznos információkat a technológiák üzemviteli állapotáról, az üzemeltetés gazdaságosságáról. Természetesen az **emisszió** és **immissziós monitoring** munkaállomások szolgáltatata - esetleg időben változó - adatok felhasználhatók a környezetváltozások leírására kifejlesztett szimulációs matematikai modellek ellenőrzésére, fejlesztésére is.

A környezeti levegőminőség változásának nyomonkövetésére kiépített **monitoring rendszerek térbeli** elhelyezését, a **mintavételezések idejét, időtartamát**, a kapott **adatok megbízhatóságát** nagyon sok tényező befolyásolja [12]. Amennyiben a monitoring feladata az atmoszférikus változások **kis területi hatásainak** vizsgálata a **percenként mintázó** mintavevőket **néhány (tíz-száz-)méter távolságra** telepítik, **mezoskálás** változások észleléséhez

**5-10 km távolságra** telepített rendszerekkel **órás átlagértéket** képezve mérik az adott komponensek koncentrációit, míg a **kicsi átlagos területi (szinoptikus)** monitoringhoz **100 km-es** távolságokra telepített, azonos műszaki tartalommal felépített állomásokat alkalmazzák a folyamatos mérés adatbázisából képzett **órás**, esetleg **napi átlagértékenkénti** adatbázissal és adatfeldolgozással, míg a **nagy átlagos területi (szinoptikus)** monitoringnál **100-500 km-es** távolságra telepítik az állomásokat a kvázifolyamatos mérések eredményeiből számolt **órás**, majd ebből **napi átlagos koncentráció** értékek gyűjtésével. Ezen, un. **háttérszennyezettség monitoring** egységek adatgyűjtő rendszere nemzetközi adatbázisa továbbítják az adatokat. Ismételten ki kell hangsúlyoznunk, hogy az átlagolási periódusra képzett átlagérték értéke mellett mindig meg kell őrizni az átlagolási időszakban mért legkisebb és legnagyobb mért paraméter értékét. Az optimális telepítési távolság meghatározásánál abból kell kiindulni, hogy a megfigyelő állomások reprodukciós képessége közel megegyezzen a várható átlagos koncentrációval, és lehetőleg a **helyi maximum és minimum értékek érzékelhetőek legyenek**. A gyakorlatban az adatnyerés költségéből kiindulva egy reális kompromisszum alapján határozzák meg a munkaállomások helyét és az adatgyűjtés időintervallumát. Noll és Miller azt javasolták [13], hogy az állomások száma egy optimális értékre csökkenthető, megbecsülve a várható maximális koncentrációt az adott állomásokon ( $\pm 10\%$  biztonsággal) kiegészítve azt a várható legkisebb koncentráció értékével. Természetesen ebben az esetben a két mérőállomás közötti levegőminőség átlagos értéke nagyobb bizonytalansággal becsülhető. Az adatgyűjtés (megfigyelés) időperiódusának rendkívül fontos szerepe van, amennyiben túl gyors az adatgyűjtés, azaz nagyon rövid idejű a mintázás, a háttérzaj problémát okozhat, míg a túl ritkán végzett mintázással az esetleges helyi oszcilláció, periodicitás, maximális-minimális koncentrációértékek elveszhetnek.

A **szennyező anyagok koncentrációsintjének** megfigyelésekor a következőkre feltétlenül figyelemmel kell lenni:

- a környezeti levegő monitoring **területi méretére és időtartamára**,
- a **szennyező anyagok típusára** (aeroszolkok, porok, ózon, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>x</sub>, BTEX, stb.)
- a **várható koncentrációsintre**
- a szennyezőkomponensek **szelektív érzékelőinek kalibrációjára** (installációkor, üzemvitel során, illetve a leginformatívabb adatok gyűjtésekor
- a **szennyező anyagok között kémiai reakciók**, fizikai folyamatok játszódhatnak le, melyek a monitoring megbízhatóságát befolyásolják (pl. gázok oldódnak a lecsapódó vízgőzben).

Az **immissziómérő-állomások** működtetésének elsődleges célja a **háttérszennyezettség** meghatározása és a környezeti levegő minőség változások megfigyelése. Ilyen esetekben a monitoring állomásoknak legalább **40-60 km távolságra** kell lenniük a jelentősebb **szennyező**

*forrásoktól, és nem telepíthetők lakott területre, közlekedési útvonalak közelébe, poros talajú területekre stb., ugyanakkor megfelelő infrastruktúrával (szilárd burkolatú útvonal, víz-, energia-, telekommunikáció-ellátottság) kell, hogy rendelkezzenek. (A részletes, egyezményes követelményeket a [14] kiadványban részletesen megtaláljuk.) A telepítés helyének kiválasztásánál fontos követelmény, hogy a monitoring állomások *nem helyezhetők zárt völgyekbe, illetve 1000 m-nél magasabbra kiemelkedő hegyekre. A háttérmonitoringhoz viszonylag kevés mérőállomás* elegendő, viszont a *környezetvédelmi célú mérésekhez* meglehetősen *sűrű állomáshálózat* szükséges, ugyanis a levegőszennyezettség túlterjed a települések, ipari régiók szűkebb környezetén, nagyobb területeket veszélyeztet. Iparvidékeken, nagy népességsűrűségű területeken a települések okozta levegőszennyezettség összefolyik, esetenként szennyezett körzetek alakulnak ki (pl. Magyarországon a legszennyezettebb városok vidéke). Az orográfiai és meteorológiai viszonyok esetenkénti közrehatásával többszáz vagy akár néhány ezer km<sup>2</sup>-es területen válik szükségessé a levegőszennyezettség ellenőrzése.*

A levegő környezeti állapotát megfigyelő állomások **telepíthetők geometriai rendszerben**, célszerűen a térképre felvitt *négyzetháló rácspontjainak* kijelölésével. A háló sűrűségét a terület nagysága, a rendelkezésre álló műszer és munkaerő, a szennyezőforrások sűrűsége és elhelyezkedése, a népsűrűség, a helyrajzi viszonyok stb. figyelembevételével gazdasági számítással határozzák meg. Olyan esetekben amikor a négyzethálós telepítés nem alkalmazható (folyóvölgyekben fekvő iparterület stb.) akkor is arra kell törekedni, hogy a terület lefedése egyenletes és reprezentatív legyen. Meg kell jegyezni, hogy ezen rendszer nélküli állomáshálózat hatékonysága, megbízhatósága rosszabb, mint a szisztematikusé.

Általános követelményként fogalmazható meg, hogy a ***mintavételi pont*** álljon *szabadon*, ahol a levegő *akadálytalanul áramlik*, nem pang. Pormintavételi helyek esetén a szabad égbolt a mintavételi helyen a talajtól számított 45 °-os szögtől szabadon látszódjék, ne boruljanak fölé fák, épületrészek. Gázmintavételi csövégek az *épület falától legalább 50 cm távolságig* nyúljanak ki, a mintavételi hely a *talajtól 1,50-5,00 m magasságban* helyezkedjen el. Figyelembe kell venni a mérést zavaró helyi körülményeket, így a porzó útfelületet, közeli kéményt stb. is. A vizsgálandó *szennyező anyagok általában* a szén-dioxid, kén-dioxid, nitrogén-oxidok, szén-monoxid, az ózon, a szállópor (angol megnevezése: particulate matter, melyet méret szerinti eloszlásban mérik, mint PM<sub>10</sub> vagy PM<sub>2,5</sub>), összes ülepedő por (angol megnevezése total suspended particles = TSP). *Közlekedési hatás* esetében az *ólom*, közeli iparvidék jellemző emissziói esetén az összes szén-hidrogének (angolul total non-methane hydrocarbons = NMHC) vagy külön az aromás szénhidrogének (angolul Benzole, Toluole, Ethyl-Benzole, Xylols = BTEX) immissziós koncentrációinak megfigyelése indokolt.

Magyarországon 2004. április óta a több névváltozáson átesett, jelenleg ***Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségek*** üzemeltetésében 38 on-line levegőminőségi mérőegység működik, az ***Országos Levegőminőségi Mérőhálózat*** (OLM) hálózati rendszerében. [Korábban a ***Népjóléti Minisztérium*** felügyelete alatt, az ***Országos Közegészségügyi Intézet*** szakirányításával, az ***Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat*** fővárosi és megyei intézetei (volt KÖJÁL-ok) üzemeltették az ***Országos Immisszió-Mérő Hálózatot***.] Az on-line mérőrendszer mellett mintegy 150 településen, 9 régióban összesen 350-hez közeli mérőállomáson (1992-es adat) mérik az SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO koncentrációkat folyamatos, a korábban említett, 24 órás mintavételezéssel. Az ülepedő porterhelést körülbelül 450 mérőhelyen vizsgálják. Az egyes vizsgálati pontokra érvényes levegőszennyezettségi adatok interneten keresztül a <http://www.kvvm.hu/olm> honlapon elérhetők, az on-line rendszerek adatai akár táblázatos, vagy diagrammon történő megjelenítéssel lekérdezhetők, míg a szakaszosan ismétlődő (Regionális Immisszió Vizsgálat = RIV) mérőhálózat adatai táblázatos formában rendelkezésre állnak.

A levegő-immissziós monitoring rendszerek közül ki kell emelni a *Szentgotthárd- Farkasfán*, a Kecskemét melletti *K-pusztán* és a Nyíregyháza melletti *Napkoron* üzemelő állomást, melyek nemzetközi együttműködés keretében közvetlen adatokat szolgáltatnak a WMO részére is. Hasonlóan ki kell emelni az 1995. szeptemberében a Hanságban található *Sarród* falu közigazgatási területére telepített **háttér-immisszió-mérő állomást** (ökológiai megfigyelő rendszerrel kiépítve). Ezen utóbbi állomás különös jelentőségű, hisz iparterületektől, nagyvárosoktól távol található, s így az un. háttér-koncentráció megbízható értékeit szolgáltatja.

A folyamatos "air monitoring" rendszerekkel az alkalmazott érzékelő műszerek *rugalmasságától függően* néhány másodperces vagy néhány perces időtartamokra is értékelhető szennyezettség értékeket kaphatunk, a kapott koncentráció értékek - a korábban már említett - adatgyűjtő-feldolgozó rendszeren keresztül számítógépes adattároló egységre jutnak. A *mintavétel* és az *analízis módszerei* általában minden fejlettebb országban *szabványokban* vannak rögzítve, ajánlásokat ad az **Egészségügyi Világszervezet** (World Health Organization = WHO), a **Meteorológiai Világszervezet** (World Meteorology Organization = WMO), elfogadhatók és az adott ország körülményeihez adaptálhatók az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala (Environmental Protection Agency = EPA), vagy az Európai Unió (European Union Environmental Programme = UNEP) által előírt szabványok, stb.

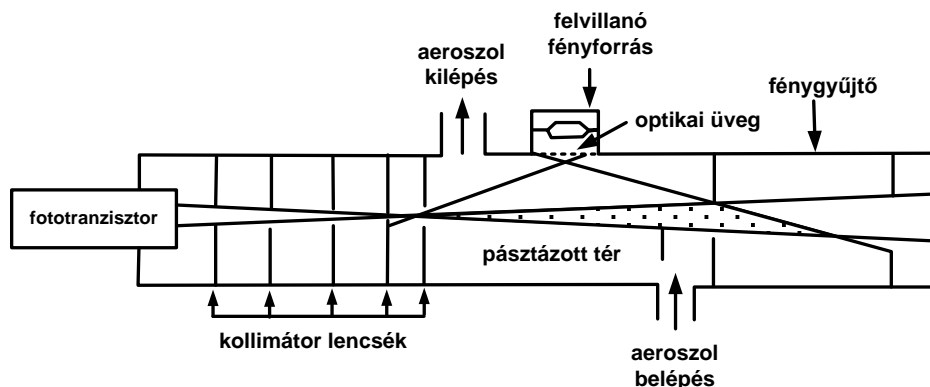
A folyamatos működésű levegővizsgáló műszerek (air monitorok) működési elvei általában az *anyag és az elektromágneses sugár közötti kölcsönhatást* alkalmazzák, úgy mint:

- az **aeroszol részecskék** (szálló por) koncentrációjának meghatározására *fotoelektromos* berendezést számítógépes rendszerhez csatlakoztatva,
- az **összes por koncentrációjának** meghatározását általában különböző méretű *szűrőrendszerekkel* gravimetrikus úton, vagy *szűrőrétegenfennmaradó részecskék  $\beta$ -sugár elnyelő képességének* elvén végzik,
- a **szén-monoxid, szén-dioxid koncentrációját** *nem-diszperz infravörös analízátorral* végzik,
- az **ózon** és a **kén-dioxid koncentrációjának** meghatározását *ultraibolya fényabszorpció* elvén működő analízátorral,
- a **nitrogén-oxidok koncentrációját** *kemiluminencia* elvén működő *analízátorral* végzik,
- az *új generációs monitoring* műszerekkel **egyidejűleg több komponens koncentrációja** is meghatározható. Ezen műszerek az elektronika fejlődésével a jelfeldolgozásban és jel-szelektálásban bekövetkezett minőségi változást használják ki. Ide sorolhatók a *fotoakusztikus* elven működő analízátor, illetve az integrális (hosszú fényutas) *infravörös fényabszorpció* elvét használó **OP SIS rendszer**, vagy az un. **LIDAR-rendszer**.

Az alábbiakban példaként röviden áttekintjük a fent ismertetett elvek szerint működő egységek működési, mérési elvét.

- o *Aeroszol koncentráció* meghatározására a **nefelométer (14. ábra)** szolgál. A műszer a levegőben *lebegő részecskék mennyiségének és méretének optikai módszerrel történő* meghatározására szolgál. A mérés az *átbocsájtott fény szóródási függvényének* meghatározásából áll. Ez a függvény a beeső fény irányához viszonyított irányszögtől is függ, ezért értékét több irányból mérik. A mérőcsövön állandó és ismert áramlási sebességgel áthaladó aeroszol tartalmú levegőt közel 0-180 ° intervallumban szórt fényvel világítják meg, az *áramló részecskékről visszaverődő fény egy kollimátor*

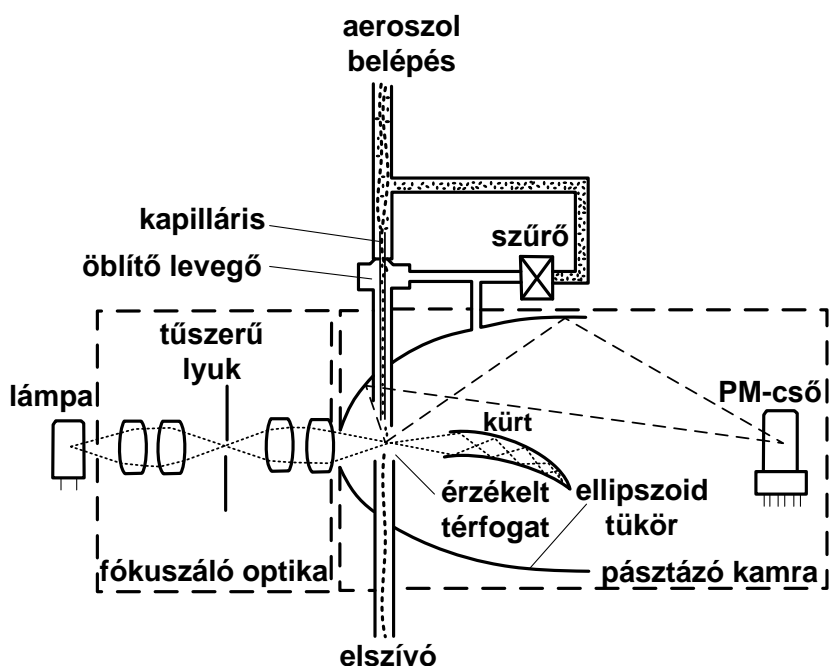
*lencserendszeren keresztül fototranzisztorra jut, amelyen keletkező elektromos jel nagysága arányos az aeroszol koncentrációjával.*



14. ábra Az aeroszolkoncentrációjának meghatározására kifejlesztett nefelométer működési vázlat

A fototranzisztorra jutó fényvillanások időegység alatti száma arányos a részecskeszámmal, míg a fényáram nagysága a szemcsemérettel arányos. Az elektrotechnika fejlődésével a fényfelbontás tökéletesedett, s ezzel az alsó kimutathatósági határ csökkent mind a szemcseszámot, mind pedig a szemcseméretet illetően. A **15. ábrán** bemutatott ellipszoid tükröt tartalmazó részecskeszámoló ezen fejlesztés eredményeként született. A technikai fejlődéssel *ugyanazon méretű* de más alakú, illetve az ugyanazon *geometriájú* de *más méretű részecskék* is megkülönböztethetők.

A fenti elven alapszik az egyik forgalmazó cég *optikai aeroszol analízátor*, mellyel a 0,007-0,42  $\mu\text{m}$  mérettartományú aeroszol részecskék koncentrációja mérhető, a *lézer fényforrású optikai aeroszol analízátorral* a 0,095-2,83  $\mu\text{m}$  átmérőjű, míg egy másik cég *fehér fényforrást* alkalmazó optikai részecskeszámolóval a 0,72-9  $\mu\text{m}$  méretű aeroszolkoncentrációja monitoringozható.

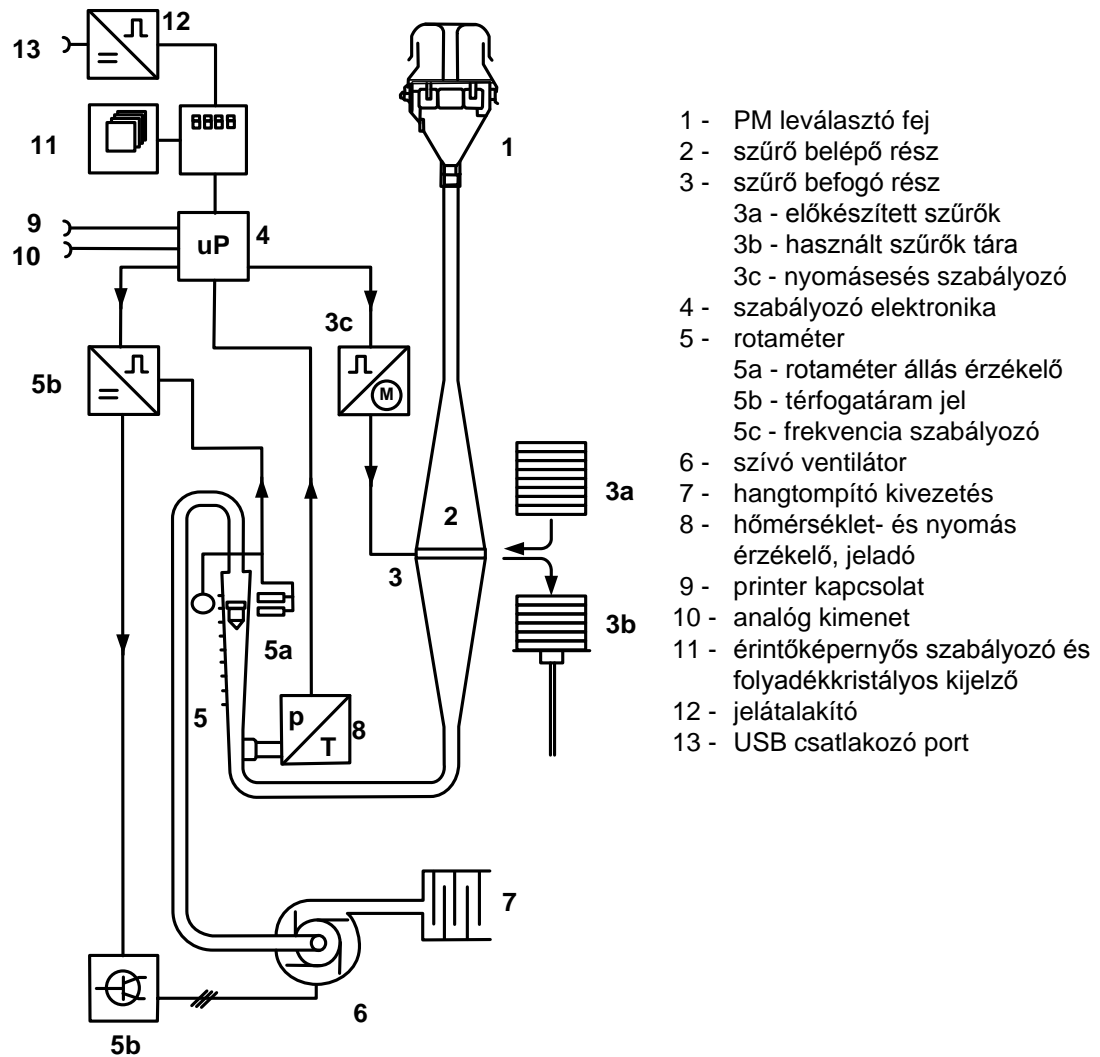


15. ábra Az ellipszoid tükrös részecskeszámoló működési elve.

- A környezeti levegőben szálló, *összes por koncentrációjának és szemcseméret-eloszlásának* közvetlen monitoringozása napjainkban is komoly problémát okoz, ugyanis mint a Stokes-féle ülepedési törvényekből ismerjük, az ülepedés sebessége a szemcseátmérő négyzetével arányos, így a "nagyobb" szemcseméretű porok a forrás közelében kiülepednek, különösen ha a környezeti levegő nagy páratartalma és intenzív keveredése a szemcsék összetapadását is elősegíti. Elsősorban ezen okok miatt a ***folyamatos működésű összporkoncentráció és szemcseméret eloszlás*** monitoringozására alkalmas műszereket (pl. egy cég által fejlesztett lézeres részecske számláló alkalmas 1-3000 µm tartományba kiválasztott 100 szemcseméret-tartományban analizálni) ritkán alkalmazzák pormonitoringhoz. Az érzékelő egy *letapogató fókuszáló lencse* segítségével másodpercenként 200000 szemcséről visszavert, megtört lézer fénysugár intenzitását méri beépített szín és reflexiós koefficiens korrekcióval.

Az általában használt nagy térfogatáramú por (helyesebben: ***részecske***) mintavevők olyan rendszerek, melyekkel por és aeroszol részecskék gyűjthetők későbbi kiértékelés és analízis céljából, általános angol elnevezésük „High Volume Samplers”. A készülékek megfelelnek a nemzetközi és hazai szabványokban előírt referencia követelményeknek. A beszívott levegőben lévő részecskéket, ahogy a **16. ábra** is szemlélteti, egy kerek szűrő fogja fel. Az erre a célra szolgáló tartóban maximum 15 szűrő helyezhető el, melyek automatikusan cserélődnek a mérési helyen az előre megadott, beprogramozott időpontban. A cserélő automatika alkatrészei, a vezetőelemek, a motor, a csővezeték, az áramlási tér és a szűrőtartó nagy korrózió-ellenállású és különlegesen sima „Ematal” felülettel vannak ellátva. A berendezés a szükséges légáramlást egy rotaméter segítségével állítja be. Mintavétel közben a pumpa szívóerejét dinamikusan szabályozza a készülék, így ez az érték állandó és hosszútávon stabil lesz. A folytonos térfogatáram szabályozásra a használt szűrő ellenállásának változása, valamint a beszívott környező levegő hőmérsékletének és nyomásának változása miatt van szükség. A készülék és a fej fűthető is. Az esetlegesen lecsapódott pára kondenzvízként egy csövön keresztül van elvezetve. A PM<sub>10</sub> és PM<sub>2,5</sub> leválasztó-fejben elhelyezett fűvókák együttemű impaktorként működnek, óránkénti 30 m<sup>3</sup>-es működési áramlás sebességre tervezték.





16. ábra A nagy térfogatáramú porminta-vevő vázlatja

A készülék fényképe a **17. ábrán** látható.



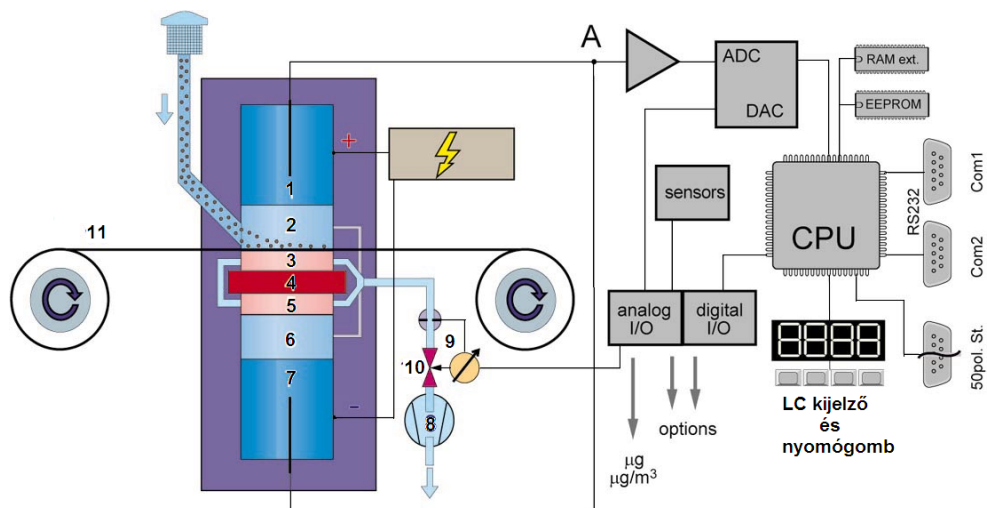
17. ábra A nagy térfogatúramú pormonitor fényképe

A 16. és 17. ábrán bemutatott készülék a levegőt az alul elhelyezett motor szívja be (1), az elő leválasztón keresztül, függőlegesen fentről lefelé a szűrőn át (3), mely egy kiszélesedő kamrában van elhelyezve (2). A szűrőcsere automatikusan történik. A szűrő után az átszívott levegő mennyiségét egy rotaméter méri (5). Az úszó pozícióját egy kettős foto szenzor (5a) érzékeli. A motor teljesítményét (6) a vezérlő elektronikával összekapcsolva (5b, 5c) a fordulatszámmal szabályozzák, így az átszívott levegő mennyisége a beállított értéken marad. A levegő nyomását és hőmérsékletét a készülék az áramlásmérő előtt folyamatosan méri és rögzíti. A mérés befejeztével a beépített szoftver a mintavételi idő és a szabályozott térfogat alapján a levegő hőmérséklete és nyomása ismeretében kiszámítja a szűrőn átszívott levegő térfogatát és átszámítja az előre beprogramozott hőmérséklet és nyomás értékére. A készülék a levegőt egy hangfogón keresztül csökkentett zajjal engedi a szabadba. A készüléket általában 24-24 órás működésre programozzák, így az egy-egy szűrő tányéron összegyűlt por és részecske tömegméréséből a napi átlagos PM<sub>10</sub> és PM<sub>2,5</sub> koncentráció megadható. A készülékkel végzett monitorozáskor az MSZ EN 12341:2000 szabvány alapján a >99,5% leválasztási határfokú szűrőket azonos módon kell kezelni. A használat előtt a tiszta szűrőről a laza szálakat el kell távolítani, végül a tiszta szűrőket klimatizált mérlegszobában 48 óráig ( $20 \pm 1$ ) °C hőmérsékleten és ( $50 \pm 5$ ) % relatív légnedvességen kell tárolni, majd a grammos skálán öt tizedes pontossággal kell mérni a tömegét. Később a porokat tartalmazó szűrőket ugyanilyen körülmények között kell a tömegmérés előtt kondicionálni. Az alábbi, 6. táblázat egy elvégzett monitorozási adatokat tartalmazza:

6. táblázat Napi átlagos PM10 koncentráció mérési adatai

minta azonosító		Dátum/Idő Indul/leáll	Minta- vétel [min]	Nyomás minta hely [mbar]	Hőmérs. minta hely [°C]	Átszívott térfogat [m <sup>3</sup> ]	Korrigált térfogat [m <sup>3</sup> ] <sup>*</sup>	Por- tömeg [mg]
861/1	P1	szept.04 16:00 szept.05 16:00	1440	957	25,6	754,2	699,2	10,0
861/2	P2	szept.05 16:00 szept.06 16:00	1440	958	26,8	755,3	698,0	12,9
861/3	P3	szept.06 16:00 szept.07 16:00	1440	954	28,4	758,9	694,7	29,3
963/1	P4	szept.04 16:00 szept.05 16:00	1440	958	25,4	753,6	699,8	9,5
963/2	P5	szept.05 16:00 szept.06 16:00	1440	954	26,9	757,0	696,5	13,4
963/3	P6	szept.06 16:00 szept.07 16:00	1440	954	28,4	758,9	694,7	28,9
861/1	P7	okt.27 15:00 okt.28 15:00	1440	944	13,9	706,0	708,4	50,9
861/2	P8	okt.28 15:00 okt.29 15:00	1440	942	15,5	709,3	705,6	29,3
861/3	P9	okt.29 15:00 okt.30 15:00	1440	937	16,8	711,9	702,2	10,7
963/1	P10	okt.27 15:00 okt.28 15:00	1440	944	14,2	708,5	708,1	50,5
963/2	P11	okt.28 15:00 okt.29 15:00	1440	942	15,9	711,2	705,1	29,2
963/3	P12	okt.29 15:00 okt.30 15:00	1440	935	17,7	713,7	700,3	10,9

A környezeti levegő szálló por koncentrációjának monitorozására a **18. ábrán** bemutatott,  $\beta$ -sugár elnyelés elvén működő rendszert fejlesztették ki. A környezeti levegőből a leválasztó fejen keresztül a PM<sub>10</sub> vagy PM<sub>2,5</sub> méret alatti részecskéket tartalmazó mintát egy állandó térfogatáramra vezérelt szivattyú (8) egy meghatározott időközönként tovább haladó szűrőn (11) szívja át. A szűrőrétegen fennmaradó részecskék mennyiségét egy C<sup>14</sup> izotóp tartalmú  $\beta$ -sugár forrásból érkező sugárnyaláb Geiger-Müller detektorral (7) mért intenzitás csökkenéséből határozhatjuk meg. A készülék a tiszta, részecske mentes, szűrőréteg fölé helyezett kalibráló fóliákkal hitelesíthető, s a mérési eredményt porkoncentráció egységben (pl.  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) jelzi ki, illetve továbbítja az adatgyűjtőhöz. A monitoringozás közben a szűrőréteg ellenállása – az egyre nagyobb mennyiségben lerakódó részecskék növekvő hidrodinamikai ellenállása következtében- folyamatosan nő, ezért a rendszer a szűrő előtti tér (2) és a szűrő utáni tér (6) nyomását folyamatosan méri és az áramlási sebesség szabályozó (9) folyamatosan csökkenő térfogatáramú környezeti levegőt enged be egy szabályozó szelepen (10) keresztül a szivattyúhoz. Amennyiben a szűrőréteg ellenállása az előre beállított értéket meghaladja, a készülék automatikusan megszakítja a mintavételt, a szűrőt beszorító szerkezet fellazul és a szűrőréteg tovább tekerceselődik, hogy tiszta szűrőfelület kerüljön a majdan átszívott gáz útjába. Ezen néhány másodperces művelet után a befogófej újra rászorul a szűrőrétegre és a környezeti levegő átszívásával újra indul a monitoring. Elterjedt a készüléknél a 15 perces átszívás utáni sugárintenzitás csökkenés meghatározása, így óránként négy adat keletkezik, melyek segítségével becsülhető az óras átlagkoncentráció, illetve az óras átlagkoncentráció értékekből a napi átlagos porkoncentráció.



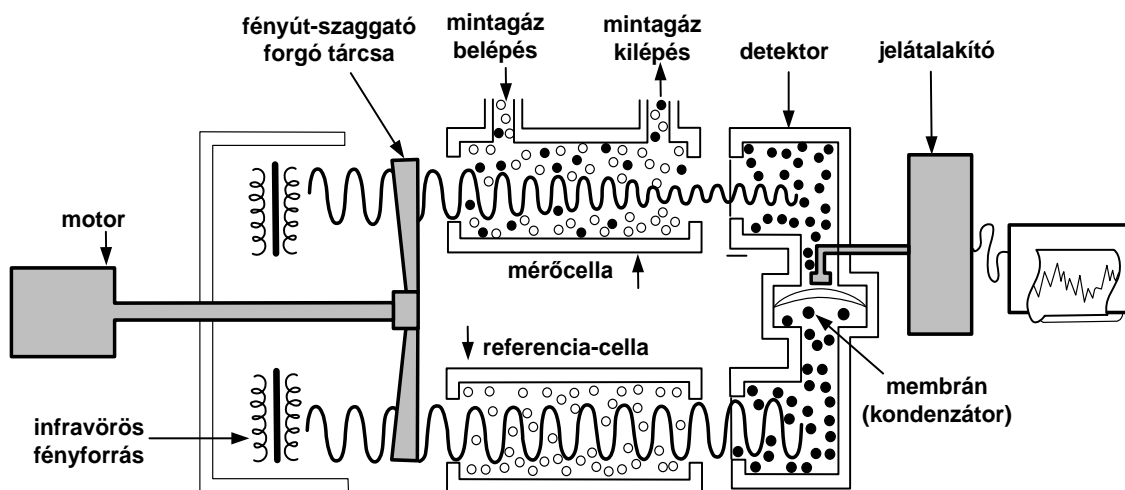
18. ábra A  $\beta$ -sugár elnyelésen alapuló pormonitor vázlatja

- A környezeti levegő szén-monoxid, szén-dioxid és szén-hidrogén immissziós koncentrációjának monitoringozására a **nem diszperz infravörös fényabszorpció** elvén működő folyamatos analizátorokat alkalmazzák. A korábbi tanulmányokból megismert, a fény korpuszkula jellegéből következő módon, a fény *elektromágneses hullámtermészetét* felhasználva a fény és a molekulák közötti kölcsönhatás eredményeként *fényabszorbancia* lép fel. Néhány - a természetben gyakran előforduló gáz - *infravörös fényabszorpciós hullámsávját* a **7. táblázat** mutatja.

7. táblázat Néhány, a természetben előforduló gáz infravörös fényabszorpciós tartomány

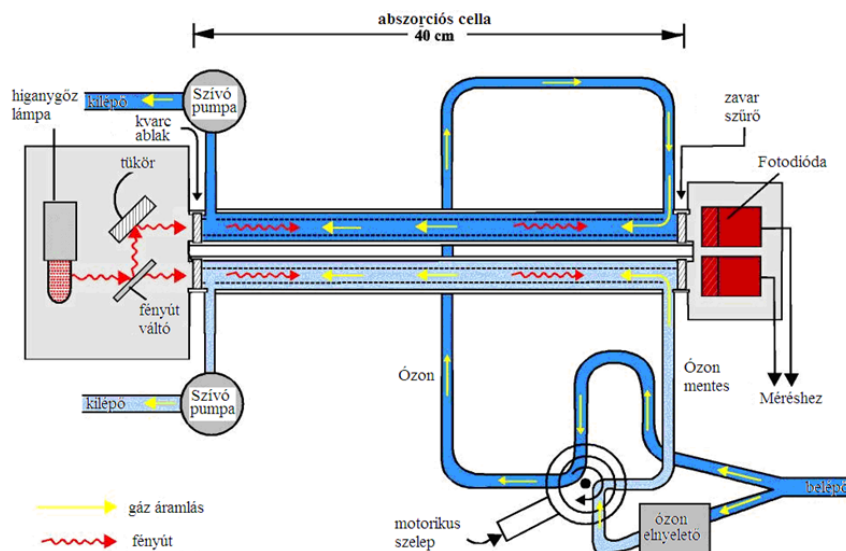
Gáz	Kötéscentrumok távolsága ( $\mu\text{m}$ )	Elnyelési hullám-szám ( $\text{cm}^{-1}$ )
NO	5,0-5,5	1800-2000
NO <sub>2</sub>	5,5-20	500-1800
SO <sub>2</sub>	8-14	700-125
H <sub>2</sub> O	3,1	1000-1400
	5,0-5,5	1800-2000
	7,1-10	3200
CO	2,3	2200
	4,6	4300
CO <sub>2</sub>	2,7	850-1250
	5,2	1900
	8-12	3700
NH <sub>3</sub>	10,5	950
CH <sub>4</sub>	3,3	1300
	7,7	3000
Aldehidek	3,4-3,9	2550-2950

A nem-diszperz szó azt jelenti, hogy a fényforrás fényét fénytörés vagy hasonló elven működő prizával *nem bontjuk alkotóira*, azaz egy széles - a fényforrástól függő - hullámhossz tartományú fényt kapunk, melyet a mérő és a referenciacellán impulzusszerűen keresztülvezetjük a **19. ábrán** rajzolt elv alapján. Az infravörös fény áthalad a **mérő-** és a **referenciacellán**, mely utóbbi a mérendő gázt tartalmazó gázeleggyel van töltve. Amikor az infravörös fény ütközik a mérendő gázmolekulával, a fényenergia abszorbeálódik, s így ezen cellában a *gázok energiája megnő*, azaz **nő a hőmérsékletük** és ennek következtében a *nyomásuk*. A mérő és a referenciacella között nyomáskülönbség alakul ki, mely arányos a szennyező gázkomponens koncentrációjával. A **7. táblázat** adataiból látható, hogy nehéz olyan hullámszám tartományt találni, amely szelektív, tehát pl. a szén-monoxid elemzését nem befolyásolja a szén-dioxid vagy a vízgőz jelenléte. Ez úgy küszöbölhető ki, hogy a **19. ábrán** bemutatott mérőrendszer *detektorait* nem párhuzamosan, hanem *sorba kötik*, azaz a mérő- és a referenciacellán áthaladó fény egy un. **első** és egy un. **hátsó mérődetektoron** halad keresztül, és a két detektor közötti nyomáskülönbséget vagy más fizikai tulajdonságot regisztrálják (ez az un. *negatív visszacsatolású NDIR gázmonitor*).



19. ábra. A nem-diszperz infravörös gázmonitor elve

- Az *ultraibolya fény abszorbanciájának* elvét (a **20. ábrán** vázolt kapcsolat szerint) alkalmazzák az **ózon** koncentrációjának monitorozásához. Az ózon koncentrációváltozás megfigyeléséhez régebben az un. Dobson típusú átáramlásos spektrofotométerek terjedtek el, melyek elve, hogy az *ózon a 305,5 nm hullámhosszúságú UV (ibolyántúli) sugarakat elnyeli*, míg *a 325,4 nm hullámhosszúakat nem*. A műszer elektronikája optikai úton ezen utóbbi hullámhosszúságú sugárzás energiáját csökkenti mindaddig, míg az elnyeletéssel csökkentett 305,5 nm hullámhosszúságú sugárzás intenzitásával megegyezik. Ez az intenzitáscsökkenés arányos lesz az ózon koncentrációjával. Megfelelő elektronikai kapcsolással a mérés folyamatosan nagy pontossággal (0-30 ppb tartományban  $\pm 1$  ppb pontosság) elvégezhető.



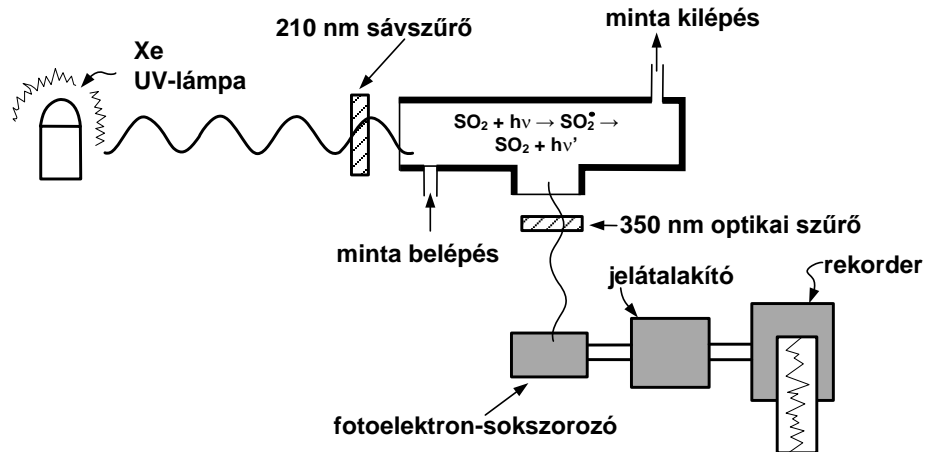
20. ábra UV-abszorbanca elvén működő ózon monitor elve

Napjainkban megoldott, hogy 305 nm hullámhosszúságú ultraibolya fényforrást üzemeltessünk, valamint a környezeti levegő ózon-tartalmának adszorpciós eltávolítása és a 305 nm hullámhosszúságú fény intenzitásának mérése fototranzisztort tartalmazó áramkörrel, így a **20. ábrán** bemutatott rendszerrel az ózon koncentrációja folyamatosan mérhető.

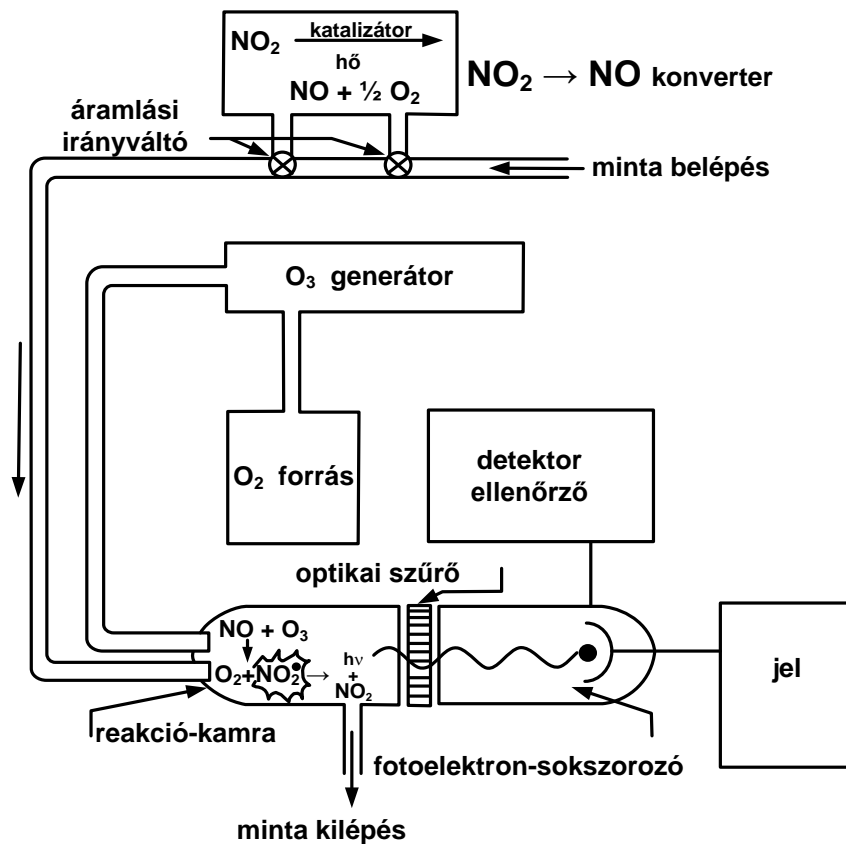
- A korábbi tanulmányokból ismeretes, hogy a *fény* és *bizonyos molekulák* között olyan **intenzív kölcsönhatás** léphet fel, hogy egy másik anyag - pl. **foton** - keletkezik, hasonlóan kémiai reakció során is keletkezhet olyan "gerjesztett" molekula, mely fotonkibocsátással bomlik. A foton kibocsátást **luminenciának** nevezik, s innen ered a **photoluminencia** és **kemiluminencia** elnevezés. A **21. ábrán** bemutatott **photoluminenciás** (fluoreszcens) analizátor elve, hogy a Xe töltésű UV-lámpa fényalábjából a  $\text{SO}_2$  molekula a 280 nm hullámhosszúságú fényt *abszorbeálja* legjobban, s a gerjesztett molekula a *vibrációs és rotációs energiátöbbletének* egy részét kisebb energiájú (nagyobb hullámhosszúságú) fény *formájában emittálja*. Tekintettel arra, hogy az emittált fluoreszcens fény interferálhat, így a kibocsátott fény megfelelő szűrőlencsén keresztül jut a fotoelektron-sokszorozóba (fotomultiplájér), s az így felerősített jelet detektálják. A környezeti levegő más összetevőinek ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , vízgőz, részecskék, stb.) koncentrációváltozása befolyásolja a monitor megbízhatóságát, így a mérőküvettnél áthaladó levegőnek por- és vízgőzmentesnek kell lennie, az oxigén koncentrációváltozása pedig elhanyagolható, továbbá az oxigén és a szén-dioxid zavaró hatása ugyanabba a hullámhossz tartományba esik, így a  $\text{CO}_2$  koncentrációváltozás hatása elhanyagolható.

Az 1960-as évek végén kimutatták, hogy a **NO a levegő  $\text{O}_3$  tartalmával reakcióba lép** és **fotoaktív  $\text{NO}_2$**  keletkezik, mely 500-3000 nm hullámhossz tartományú fotonokat emittál 1200 nm-nél intenzitás maximummal. A **kemilumineszcens monitor** optikai szűrője a 600-900 nm hullámhossz tartományt engedi át. A **22. ábrán** látható analizátor működésének első fázisában az áramlást irányító szelepeken a mintagáz egyenesen halad tovább, majd találkozik az ózongenerátorból jövő ózontartalmú levegővel, s az NO és az  $\text{O}_3$  között a reakciókamrában lejátsszódik a reakció, a kibocsátott fotonok az optikai szűrőn át a fotoelektron-sokszorozóba és a fotodetektorra jutnak. A készülék alkalmas az NO és  $\text{NO}_2$  együttes meghatározására

is, ekkor az áramlásirányító mágnesszelepek segítségével egy nagyhőmérsékletű (600-800 °C) katalitikus reakciókamrába jut a gázelegy, itt az NO<sub>2</sub> elbomlik NO-ra és O<sub>2</sub>-re, s így az NO és az NO<sub>2</sub>-ből keletkező NO együttesen határozható meg. Tulajdonképpen a *lumineszcens analizátorok* közé sorolhatjuk az egyéb kéntartalmú gőzök monitorozásához használt *lángfotometriás* elven működő műszereket is. A levegőminta egy hidrogénlángon halad keresztül, s a nagy hőmérsékleten gerjesztett molekulák kén atomja fotont bocsát ki, mely optikai szűrőn, fotoelektron-sokszorozón keresztül az elektrométerre jut, ahol a kén *koncentrációjával arányos elektromos jelet* kapunk, mely regisztrálható, tárolható, vagy közvetlenül a monitoring rendszer adatfeldolgozó központjába jut.

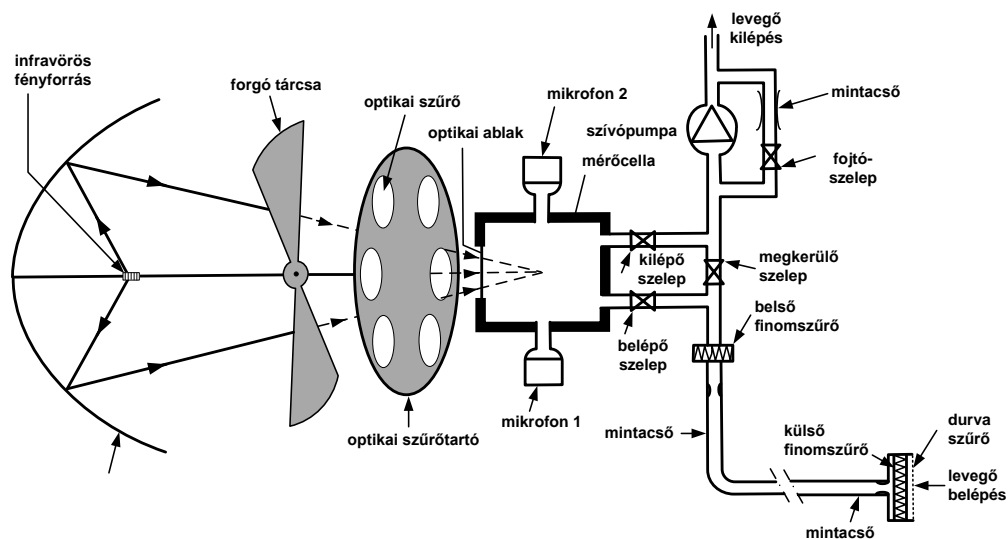


21. ábra Az UV-fény abszorbanca elvén működő kén-dioxid analizátor



22. ábra A kemilumineszcens nitrogén-oxid monitor elvi felépítése

- **Új generációs immisszió-monitoring** rendszerek közé soroljuk a fény és a gáz-, gőz- és szilárd halmazállapotú részecskék közötti "kölsönhatás érzékelőinek" továbbfejlesztett változatait. Ezek közül kiemelnénk a **fotoakusztikus** elven működő gázmonitort illetve a **nagy áthatoló képességű infravörös** fényelnyelés elvén működő OPSIS gáz és szilárd részecske monitort. A fotoakusztikus monitor elvét szemlélteti a **23. ábra**. A készülék által ellenőrzött ventilátor a környezeti levegőmintát beépített szűrőkön és a mérőcellán átszívja, az atmoszférikus nyomás beállításakor a mintatartó be- és kilépő szelepét zárja a készülék. A készülék infravörös fényforrásából a fény egy tükrön visszaverődik, s egy folyamatosan forgó résealt tárcsán és az optikai szűrőket tartalmazó lencsén keresztül a mintatartó cellába jut, ahol a megfelelő szennyező anyaggal kölcsönhatásba lép. A kölcsönhatás hatására a gáz *felmelegszik* (illetve a pulzáló fényhatás miatt le is hül), így a zárt térben *nyomásnövekedés* és *nyomáscsökkenés* lép fel. A mintatartó mérőcella falába épített **mikrofonokon** a nyomásingadozás következtében akusztikus jel képződik, melynek intenzitása arányos a szennyező komponens koncentrációjával. Az *optikai szűrőt tartalmazó lencse elfordulásával* a következő komponensek koncentrációi határozhatók meg, így a készülék *egyszerre 6 különféle gáz (gőz) monitoringját* tudja elvégezni. Az optikai szűrők cseréjével elvileg minden gáz és gőz (amely IR abszorbanciát mutat) koncentrációja nyomomonkövethető.

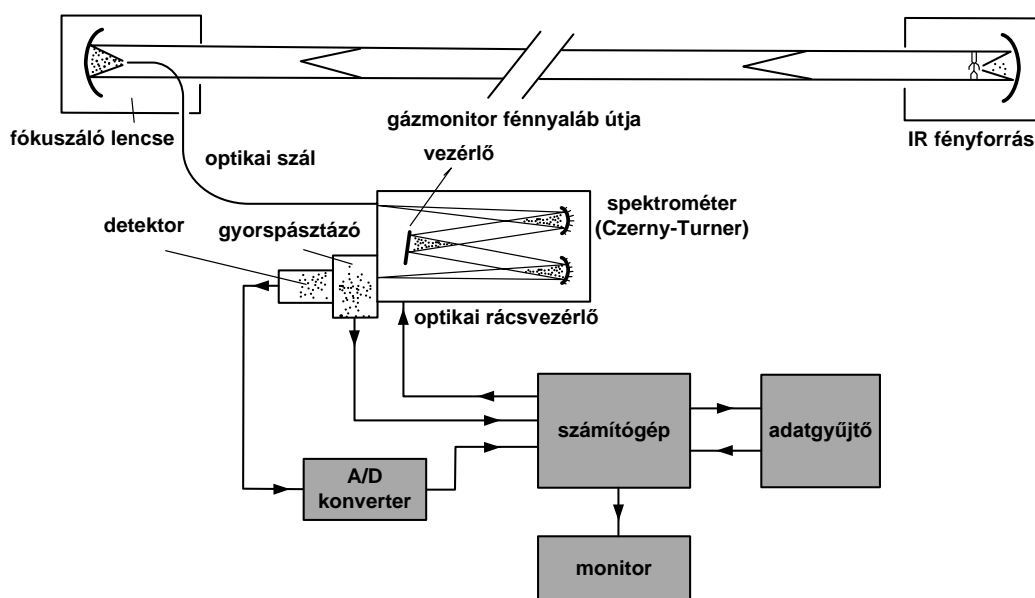


23. ábra Fotoakusztikus elven működő gázmonitor vázlata

Közismert, hogy a fény abszorbanciája **arányos** a fényelnyelő közeg **vastagságával**, azaz a **mérőcella hosszával**. Az **Opsis rendszer** elve az, hogy a nagy nyomású Xe-lámpából, mint IR fényforrásból a *fénysugarat párhuzamosítva*, majd a *szabad levegőrétegen átvezetve* egy, az **optikai tengelybe állított gyűjtőlencsével fókuszálják**, s a fókuszált IR sugárnyalábot *üvegszálak kábelén keresztül egy központi spektrofotométerbe vezetik*. A spektrofotométer segítségével feldolgozott jel A/D konverteren keresztül számítógépre kerül, ahol a kifejlesztett szoftver segítségével a **spektrum felbontható**, és a levegőben előforduló komponensek koncentrációja meghatározható. Tekintettel arra, hogy a nagy teljesítményű IR fényforrás következtében a fényforrás és a gyűjtőlencse 50-500 m távolságban is elhelyezhető (pl. épületek tetejére, stb.) a kiválasztott levegőszegmens időbeli



összetétel változása jól nyomonkövethető. A **24. ábrán** bemutatott működési elvű spektrométer érzékenysége és a kifejlesztett szoftver *gyakorlatilag korlátlan felhasználhatóságot* biztosít, így *egyidejűleg monitorozható* a környezeti levegő **nitrogén-oxid, nitrogén-dioxid, salétromossav-köd, ammónia, hidrogén-cianid, kén-dioxid, szén-diszulfid, hidrogén-bromid, hidrogén-fluorid, sósavgőz, klór, klór-dioxid, foszgén, szén-monoxid, szén-dioxid, ózon, higanygőz, vízgőz, benzol, toluol, o-, m- és p-xilol, trimetil-benzol, sztirol, etilbenzol, fenol, o-, m-, p- krezol, monoklór-benzol, diklór-benzol, metán, etán, etilén, formaldehid, acetaldehid, akril-nitril**, stb. tartalma. A folyamatos környezeti levegő-monitoringhoz kifejlesztett és a fentiekben ismertetett elven működő készülékek sora nem lehet teljes, hisz napjaink "információrobbanása" új, nagy hatékonyságú jelfeldolgozást tesz lehetővé, amely viszont megköveteli a **közvetlen érzékelők továbbfejlesztését**. A világon számtalan cég foglalkozik ezen folytonos levegő-monitoring rendszerek gyártásával és fejlesztésével, és elmondhatjuk, hogy ezen monitoring rendszerek felépítése, elve, felhasználhatósági területe közel ugyanaz.



24. ábra A nagy-hatótávolságú Opsi IR gázmonitor működési vázlatja

## 6. Talaj monitoring

A talaj, mint a szilárd földkéreg legkülső takarója felfogja és összegzi a földfelszínt érő fizikai, kémiai és biológiai hatásokat, amelyek a természet erőtől és az embertől származnak. Ebből adódóan a talaj sokféle funkció ellátásában vesz részt [1 Fülkey György: A talaj, Budapest: Gondolat, 1988. 2 Stefanovits Pál: Talajtan, Budapest: Mezőgazdasági kiadó, 1981]. Többek között elsődleges szerepe van az elemek körforgásában és rendkívül fontos a növények, állatok valamint emberek számára, melyeknek élőhelyet, tápanyagot biztosít. Ezek mellett jelentősen befolyásolja a felszínről beszivárgó és a mélyebb rétegekbe továbbjutó folyadékok összetételét, és megakadályozza a felszíni szennyeződések – elsősorban a víz közvetítésével – mélyebb rétegekbe kerülését. Ez azt jelenti, hogy a talaj egy szűrő funkciót is ellát, ami következtében a szennyezőanyagok fizikai, kémiai és biológiai úton történő megkötését, bontását és visszatartását végzi [3 <http://www.lizimeter.hu/index.php?keret=cikk&id=44> (2014-03-07)]. A fentebb említett funkciók azonban végesek megújuló képességük pedig behatárolt. Ennek megfelelően a *talajmonitorin célja* kettős: egyrészt a talaj fiziko-kémiai és fázisszerkezeti tulajdonságainak meghatározása a feltöltés alatt álló, **Talaj Információs Monitoring** rendszer (TIM) adatbázisának kiegészítése céljából, másrészt –a környezeti monitoring elsődleges feladataként- a *termőtalaj szennyeződés mentességének meghatározása* az élelmiszer-termelés *élelmezés-egészségügyi biztonsága* céljából, vagy a szennyezett területek feltárása és a feltárás utáni szennyezés mentesítési műveletek *hatékonyságának ellenőrzése* objektív mérések segítségével.

Környezetvédelmi szempontból a talaj ásványi összetevői mellett előforduló szerves kolloidok közül, a legfontosabb csoport a *humusz*, melyet szerves vegyületek komplexei alkotnak. A kolloid mérettartományba tartozó humuszmolekulák, körülbelül 800-900 m<sup>2</sup>/g fajlagos felülettel rendelkeznek, mely következtében mind *ion-*, mind *vízmegekötő képességük* nagy. A humusz aktív csoportjai segítségével mikroelemeket (réz, vas) harapófogószerű, ún. kelátkötésben tart, így védi meg azokat a kimosódástól. Hasonló módon köti meg a talajban kerülő *mérgező, nehézfém-ionokat* is [1]. A hazai talajokban az agyagásványok és a humuszanyagok, valamint egyéb kolloid anyagok töltése túlnyomórészt negatív, mivel a talajok kémhatása nálunk általában gyengén savas, semleges, illetve gyengén lúgos, így a kationadszorpció az uralkodó folyamat. A hazai talajokban az agyagásványok és a humuszanyagok, valamint egyéb kolloid anyagok töltése túlnyomórészt negatív, mivel a talajok kémhatása nálunk általában gyengén savas, semleges, illetve gyengén lúgos, így a kationadszorpció az uralkodó folyamat.

A talajban végbemenő folyamatokat módosítják a talaj oxidációs-redukciós (redox) viszonyai és a talaj kémhatása is. Mindezek azonban szoros összefüggésben vannak a talaj szilárd fázisának összetételével (anyagminőség, felületi tulajdonságok, szemcseméret-eloszlás), a talaj nedvességtartalmával, a talajoldatban levő anyagok minőségével és koncentrációjával. Ezen folyamatok együttesen határozzák meg azt, hogy az adott rendszerben milyen az egyes elemek mozgékonyasága (mobilitása), így például beépül a humuszba vagy felszabadul a humuszból az adott komponens, oldódik vagy kicsapódik, adszorbeálódik vagy deszorbeálódik. A vízben oldható szennyezőanyagok talajkolloidokon történő megkötődése (adszorpció, ioncsere) mellett azok továbbjutását egyéb tényezők is akadályozzák, például a szilárd szennyezőanyagok egy részét a talaj mechanikailag kiszűri. A fizikai hatásokon kívül kémiai (kristályforma, oxidációs állapot stb.) és biológiai (biokoncentráció stb.) folyamatok is befolyásolják a szennyezőanyagok mozgékonyaságát. A szennyeződés továbbterjedését késleltető kémiai folyamat, lehet például, hogy a redox viszonyok megváltozása miatt a szennyezőanyag nehezen oldható vegyület képződése közben csapódik ki a talajoldatból. De végbemehet egy ezzel ellentétes folyamat, amikor bizonyos szennyezőanyagok oldhatóvá

válása következik be, például a talaj savasságának növekedése miatt. A szennyezőanyagok biológiai úton is mobilizálódhatnak, illetve immobilizálódhatnak. A talajban lévő mikroorganizmusok vagy a növények szervezetükbe építhetik a szennyezőanyagokat, mely során azokat immobilizálhatják, vagy mobilizálhatják (például exoenzimjeik, anyagcseretermékeik, gyökérsavaik segítségével). Vannak azonban olyan bonthatatlan toxikus elemek, vagy szerves vegyületek, melyeket a talaj képesek felhalmozni a mikroorganizmusok és a növények szervezetükben, azaz a környező talajhoz képest sokszoros koncentrációban akkumulálni.

A talajtípus, a talaj agyagásvány- és humusztartalma mellett a talajréteg vastagsága is befolyásolja a talaj szennyező-megkötő képességét (szűrő kapacitását). Minél vastagabb a talajréteg, annál nagyobb mértékben érvényesülhet a talajban a szennyeződés megkötődése. Éppen ezért fontos a talajoknak a minőségi és mennyiségi védelme is, például a talajerózióval, talajelhordással szemben. A talajok nagyfokú szennyezőanyag-megkötő, visszatartó és akkumuláló tulajdonságából adódik az a kockázat, melyet kémiai időzített bomba néven emlegetünk és amely abból adódik, hogy a talaj (vagy vízi üledék) nagyon, veszélyes anyag megkötő kapacitása külső körülmények hatására pillanatszerűen vagy lassan megváltozhat (pl. erózióval új egyensúlyi viszonyokat jelentő új helyzet kialakulása, vagy a talajok fokozatos elsavanyodása).

## 6.1. A talajba jutott szennyezőanyagok károsító hatása

A talajba jutott szennyezőanyagok a talaj bizonyos funkcióit károsíthatják. Így például a talaj kémhatásának megváltozása adott szennyezőanyag adszorpcióját jelentősen csökkentheti (pl. a talaj savasodásának hatására a toxikus fémek egy része jobban oldódik, melynek következtében ezen fémek kolloidokon történő megkötődése csökken).

A toxikus szennyezők közvetetten, vagy közvetlenül járulnak hozzá a talaj és a többi környezeti elem, elsősorban a felszín alatti víz ökoszisztémájának veszélyeztetéséhez, csökkentéséhez, illetve a biodiverzitás és a fajeloszlás megváltoztatásához. Az ökoszisztémára gyakorolt hatásain kívül indirekt, vagy direkt módon veszélyeztetik az embert. Ezek az anyagok a táplálékon keresztül (az ivóvízzel, az ott termesztett növényekkel és az ott tenyésztett állatokkal), belégzés útján (közlekedés, poros munkahely, játszótér stb.) és direkt érintkezés útján (földművelés, sportpálya stb.) kerülhetnek az emberi szervezetbe [2]. A toxikus szennyezőanyagok között kiemelt –már amennyiben kiemelhető- szerepük van a nehézfém-ionoknak. A nehézfémek okozta környezetterhelés a XX. század közepe óta egyre fontosabb problémává vált. Egyes nehézfémek esetében az emberi tevékenységekből eredő kibocsátás jelentősen felülmúlja a természetes forrásokat [4 <http://meteor.geo.klte.hu/meteorologia/home/Szegedis/disszert.html#3.3.1>. (2013-03-21)]. Azokat a fémeket nevezzük nehézfémeknek, amelyek sűrűsége meghaladja az  $5 \text{ g/cm}^3$ -t, rendszáma 20-nál nagyobb. A periódusos rendszerben a legnagyobb csoportot alkotják a könnyűfémek után. Ide sorolandók többek között a cink, higany, kadmium, nikkel, réz, ólom, volfrám, illetve a színesfémek és a ritka földfémek is. Napjainkban a nehézfém kifejezés szorosan összekapcsolódott a toxikus elem fogalmával [5 [http://twilight.vein.hu/phd\\_dolgozatok/fodorlaszlo/fodorlaszlo.doc](http://twilight.vein.hu/phd_dolgozatok/fodorlaszlo/fodorlaszlo.doc) (2013-03-18)].

## 6.2. A nehézfémek környezetbe jutása

A légkörben található nehézfémek (Pb, Cd, As, Zn, Cu, stb.) elsősorban a magas hőmérsékletű égési folyamatok során kerülnek gőzök formájában a légkörbe, ahol főleg a finom mérettartományba tartozó aeroszol (szálló por) részecskék ( $D < 1 \mu\text{m}$ ) felszínén koncentrálnak. A légkör ezen alkotóelemei olyan dinamikai tulajdonságokkal rendelkeznek,

amelyek lehetővé teszik a nehézfémek nagy távolságú légköri transzportját (vagyis – a savasodást okozó komponensekhez hasonlóan – nem csupán lokális levegő-szennyezési problémát okoznak) [6 <http://www.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/fofia06.pdf> (2013-03-21)]. Az aeroszolhoz tapadt nehézfémek eloszlását, és transzmisszióit a beépítés és területhasználat jellege szabályozza. Több tényező emelhető ki: az épületek magassága, a beépítés sűrűsége, a lefedett területek aránya és a terület növényzettel való fedettsége. A felszínközeli légáramlást, a nehézfém-tartalmú szállópor mozgását nagymértékben módosítják a 10 méternél magasabb épületek. A sűrű, zárt homlokzatú beépítés jelentősen gátolja a szállópor terjedését. A lefedett területekre ülepedő nehézfémek nem kötődnek meg stabilan a felszínen, a szél és – ha a terület nincs csatornázva – a lefolyó csapadékvíz jelentős részben a lefedett területekkel szomszédos szabad talajfelszínre juttatja azokat, növelve az ottani nehézfém-tartalmat. A talajba többnyire kevesebb nehézfém kerül, mert a vegetáció jelentős nehézfém-mennyiséget köt meg a légkörből [4]. A nehézfémek száraz és nedves ülepedés (gravitációs kihullás és csapadék) útján juthatnak a talajfelszínre, onnan a talajba. További sorsuk szempontjából talajtani jellemzők (pH, agyag- és humusztartalom) szerepe a döntő, mint ahogy azt már a fenti fejezetekben taglaltuk. A talajban könnyen felvehető formában kötött, vagy a talajoldatban található nehézfém-tartalom a talajvízbe juthat, vagy a növények közvetítésével az emberi táplálékláncba is bekerülhet. Egyes nehézfémekre – például cinkre, rézre, kobaltra – a növényi és állati szervezetnek kis mennyiségben szüksége is van, mert ezek esszenciális nyomelemek. A természetes szintet jelentősen meghaladó koncentrációban azonban mindegyikük mérgező az élőlények számára. A városi környezet fokozottan veszélyeztetett a nehézfém-szennyezést tekintve, ugyanis itt található a legtöbb emisszióforrás, melyek hatása jelentős populációt érint közvetlenül [4 <http://meteor.geo.klte.hu/meteorologia/home/Szegedis/disszert.html#3.3.1>. (2013-03-21)]. Azaz, a színesfémkohók, a hőerőművek, valamint a forgalmas főútvonalak és a nagyvárosi utcák közvetlen környezetében bizonyos nehézfémek olyan koncentrációban lehetnek jelen, ami már közvetlen egészségkárosodást okozhat [6 <http://www.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/fofia06.pdf> (2013-03-21)].

### 6.3. Talajmintavétel

A mintavételi területek ill. parcellák határai és nagysága esetenként változhat a vizsgálat céljainak megfelelően, de általában elfogadott, hogy a maximum 1 hektár azaz 10.000 m<sup>2</sup> lehet egy szennyezett ipari vagy kommunális területen. Irányadó a védendő objektum elhelyezkedése, felhasználása, jellemzői. Amennyiben védendő az ember, a terület méretét a hasznosítás módja (mint pl. gyermekjátszó, település vagy az adott ipari létesítmény területe) és fedettsége határozza meg. A mintavétel lehetővé teszi a károsanyagok eloszlásának megismerését, amennyiben a mintavétel az előre ismert, vagy feltételezett szennezőforrás és a talajtulajdonságok figyelembevételével történik. Ha nincs ilyen stabil kiinduló pontunk, úgy egy térbeli hálót tervezünk a mintázandó területre és kijelöljük a mintavételi egységeket. Első lépésben a mintázandó térséget bejárjuk és bejelöljük az 1:10.000-es méretarányú térképen a területre eső létesítményeket (épületek, utak, kutak), valamint a szennezőforrást. Ha ásott kutakat találunk, bejelöljük a mintavétel időpontjában mért talajvízszint mélységét és ha ismert, a talajvíz áramlásának irányát.

Az átlagminta vételére és készítésére külön előírás érvényes a nagy kiterjedésű terület, pontszerű légszennezőforrás és annak hatásának ellenőrzésére.

### **6.3.1. A nagyterjedésű terület, általános talajszennyezettségének jellemzése során, átlagmintákkal és szelvéymintákkal jellemezhető az MSZ 21470/1-80-as szabvány szerint:**

*Átlagminták* esetén a vizsgálandó területet a térképen 1 km<sup>2</sup>-es mintavételi parcellákra osztjuk és egy-egy parcellában az átló mentén 40 részmintát kell venni 0 – 20 cm (egy ásónyom) mélységből. Az egyedi minták tömege kb. 50 – 100 g körüli. Ezeket a mintavételi pontokat a térképre be kell jelölni. A páratlan és a páros részmintákat külön összekeverve így összesen két átlagmintát kapunk.

*A talajszelvény mintázását* az átló 1/4-ében és 3/4-ében végezzük, a mintavételi pont helyét az átlón pontosan bejelöljük. A mintákat talajfúró berendezéssel, kanálfúró-fejjel 0 - 0,15, 0,5 - 0,65, 1,0 - 1,15, 1,5 - 1,65 stb. méter mélységből vesszük lehetőleg a telített zónáig. Szintén minden mintát külön polietilén vagy polipropilén tasakba teszünk, a mintákat a furatszámával és a rétegjellettel (mintavételi mélység) jellemezzük.

### **6.3.2. Mintavétel pontszerű légszennyező forrás talajszennyező hatásának vizsgálatakor:**

Pontszerű szennyező környezetében a szennyezőforrást középpontnak véve, a mintavételt koncentrikus körök mentén végezzük a fő- és mellékégtájaknak megfelelően. A középpontot, a szennyezőforrást 1:10.000 léptékű térképre rajzoljuk be. A térképen, ebben az esetben is feltüntetjük a létesítményeket (pl. házak, utak, kutak stb.), felszíni vizeket. A bejárás alkalmával bejelöljük az ásott kutakban mért vízszintet, a talajvízszint mélységét és ha ismert, a talajvíz áramlásának irányát. A mintavételi helyeket a körív sorszámával és az égtáj megjelölésével jelöljük. A részmintákat 0 - 0,25 m-es talajrétegből vesszük. Az átlagmintákat polietilén vagy polipropilén tasakokba gyűjtjük és a mintavételi helynek a térképen feltüntetett számával látjuk el.

### **6.3.3. Talajmintavétel pontszerű szennyezőforrások vizsgálatához:**

A talajszennyező forrást középpontnak tekintve berajzoljuk a térképen, majd ettől 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 stb. méter sugarú köröket veszünk fel és a fő- és a mellékégtájaknak megfelelő sugarak metszéspontjában a mintavételi helyeket bejelöljük. A térképen feltüntetjük 1 km távolságig a házakat, utakat, kutakat és egyéb létesítményeket, továbbá a felszíni vizeket. Feljegyezzük az ásott kutak észlelt vízszintjét és – ha ismert – a talajvíz-áramlás irányát, mint ahogy ezt korábban leírtuk. A mintavételi pontokat azonosítási számmal látjuk el. A furatból a mintákat, melyek mennyisége legalább 1 kg kell hogy legyen, 0 - 0,15, 0,50 - 0,65, 1,0 - 1,15, 1,5 - 1,65 stb. méter mélységből vesszük egészen a talajvíz szintjéig.

## **6.4. Példa: Talajminta előkészítése laboratóriumi vizsgálatokhoz**

A minták előkészítésének első lépése az **MSZ 21470/2-81**-es szabvány szerint a talajminták összetételének megfelelően történő aprítása, homogenizálása. Így a laboratóriumba szállított mintákat, melyek mechanikai összetétele könnyűnek bizonyul (mint pl. homok, homokos vályog talajok) szárítótálcára helyezve gumikesztyűs kézzel szétaprózzuk, miközben a szennyeződésektől (2 cm méretnél nagyobb növényi maradványok, gyökerek stb.) megtisztítjuk. (Ez azonban nehéz mechanikai összetételű talajoknál – pl. agyag, iszap, vagy szikes talajoknál – nem vezet eredményre, ha nedves a minta, műanyag kés, ha száraz, fakalapács szükséges a szétaprózáshoz). Ezt követően szárítótálcán egyenletesen szétterítve és megfelelő azonosító címkével ellátva szabad levegőn súlyállandóságig száradni hagyjuk. Az

így kapott talajminták légszárakok. Azonban a talajok aggregátumait őrlőberendezés és porcelánmozsár segítségével tovább kell aprózni annak érdekében, hogy a szabvány szerinti 2 mm lyukbőségű szitán átessenek és ezzel megfelelően porított mintát kapjunk a vizsgálatokhoz. A nagyobb minta homogenitás elérése céljából célszerűen 800 µm szemcseméret alá aprítjuk a mintákat.

## 6.5. Példa: A légszáraz talaj nedvességtartalmának meghatározása

Az eljárás lényege szintén az, hogy a szárítás során bekövetkező tömegcsökkenésből határozható meg a talajban lévő víz mennyisége, illetve a talaj nedvességtartalma az **MSZ 21470/2-81**-es szabvány szerint. A légszáraz talaj nedvességtartalmának meghatározásakor az eredményeket szárított talajra vonatkozóan adjuk meg. A légszáraz talaj nedvességtartalma a talaj tulajdonságain kívül a tároló-helyiség légterének relatív páratartalmától is függ.

**A meghatározás menete:** Az előzetesen 105 °C-on tömegállandóságig szárított és exikátorban hűtött, előre felcímkézett, ismert tömegű mérőedénybe, analitikai mérlegen a légszáraz talajt bemérjük. (A mérést gyorsan kell végezni, mert – különösen nyáron, meleg helyiségben – mérés közben is változhat a talaj nedvességtartalma).

A légszáraz talajt tartalmazó edényt fedél nélkül szárítószekrénybe helyezve 105 °C hőmérsékleten 20-25 órás szárítás követi. A szárítás befejeztével az edény kihüléséig vízmentes kalcium- kloridot tartalmazó exikátorba helyezzük a mintát, végül a kihülés után a talajt tartalmazó mérőedényt zárva analitikai mérlegen lemérjük a szárított mintákat tartalmazó edényeket.

A nedvességtartalom számolásának menete (1-1-1)-es talajminta példáján keresztül:

A légszáraz talaj nedvességtartalmát a szárított talaj tömegére vonatkoztatva százalékban kell megadni a következők alapján:

$$n = (EM-ESZ)/(ESZ-E)*100 = (64,215-63,332)/(63,332-39,84)*100 = 3,76 \%$$

Ahol, **n** – a légszáraz talaj nedvességtartalma, %

**EM** – az edény és a légszáraz minta tömege, g

**ESZ** – edény és a 105°C-on szárított minta tömege, g

**E** – edény tömege, g

A mérések megbízhatóságának növelése céljából célszerűen minden mintával legalább három párhuzamos mérést végzünk. A mérések eredményeit a **8. táblázatban** foglaltuk össze.

8. táblázat Légszárak talajminták nedvességtartalma

Minta jele	Polietilén zsák+minta (g)	Polietilén zsák (g)	Polietilén zsák+lég-száraz minta (g)	nedvességtartalom, %	Edény+minta (g)	Edény (g)	Edény+105°C-on szárított minta (g)	nedvességtartalom, %
I-1	820	1	728	11,23	64,215	39,84	63,332	3,76
I-2	1239	1	1084	12,52	54,113	35,14	53,786	1,75
I-3	941	1	830	11,81	60,489	37,51	60,015	2,10
I-4	1095	1	1038	5,21	67,881	39,91	67,697	0,66
I-5	715	1	614	14,15	54,868	35,05	54,54	1,69
I-6	695	1	573	17,58	82,642	59,6	80,786	8,76
I-7	1052	1	929	11,70	60,755	35,6	60,286	1,90
I-8	1124	1	892	20,66	76,547	47,86	75,733	2,92
I-9	835	1	687	17,75	55,417	37,82	52,091	23,30
I-10	620	1	512	17,45	60,741	44,61	56,979	30,40
I-11	899	1	771	14,25	53,506	36,16	50,796	18,52

#### 6.6. Példa Energia elnyelés/emisszió mérésén alapuló módszerek. A talajok kémiai összetételének meghatározása (A minták fázisösszetételének meghatározása röntgendiffrakciós módszerrel)

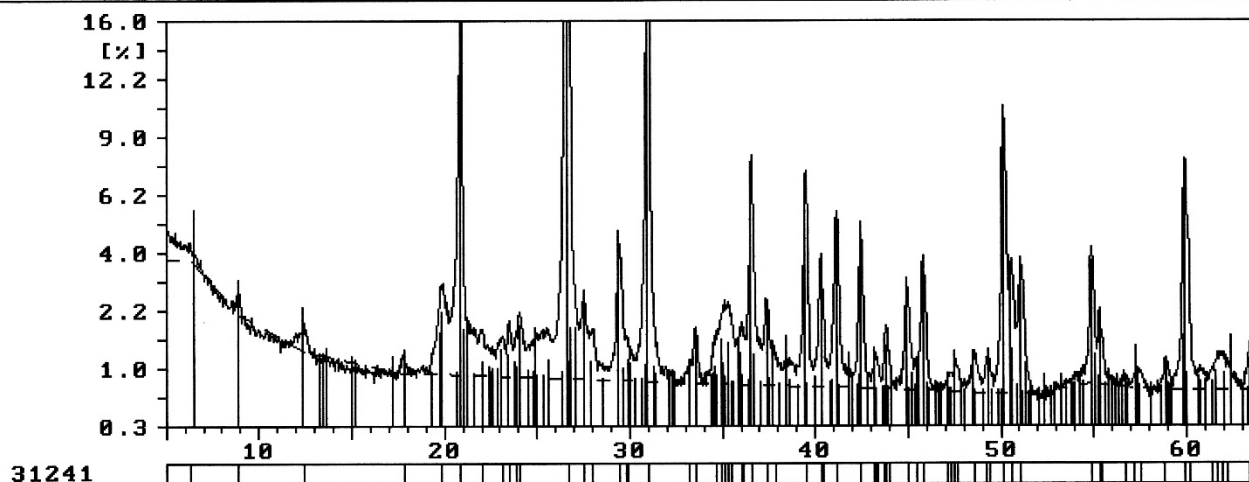
A talajminták krisztallográfiai fázisösszetételének meghatározására a röntgendiffrakció (XRD) módszerét alkalmazzuk. A röntgenfelvételek a Pannon Egyetem, Mérnöki Karán készültek Philips PW 204 típusú röntgen-diffraktométerrel Cu-K $\alpha$  sugárforrást alkalmazva. Az eljárás alapelve az, hogy a vizsgált mintában található különböző összetételű és kristályszerkezetű anyagok a mintára bocsátott adott hullámhosszú röntgensugarat különböző szöggel hajlítják el, amely szögelhajlás a röntgendiffraktogramon regisztrálható. A röntgendiffraktogramon a szögelhajlás függvényében, amely az anyagi minőségre jellemző, az intenzitás jelenik meg. Az egyes minták XRD felvételeit az alábbi ábrákon szemléltettük. A módszer elsősorban minőségi elemzésre, de tájékoztató jellegű, relatív koncentráció meghatározására is alkalmazható. A talajmintákat alkotó fázisok e módon becsült relatív összetételét a **9. táblázatban** foglaltuk össze.

9. táblázat Az (I-1) – (I-11) talajminták közelítő fázisösszetétele

Név	Képlet	I-1 talaj	I-2 talaj	I-3 talaj	I-4 talaj	I-5 talaj	I-6 talaj	I-7 talaj	I-8 talaj	I-9 talaj	I-10 talaj	I-11 talaj
<b>Kalcit</b>	$\text{CaCO}_3$	4,1	10,6	8,2	1,5	40,6	68,5	10	60,2	22,4	20,3	66,6
<b>Dolomit</b>	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	21,4	21	12,5	14,1	12,5	13,2	1,5	8,2	1,7	3,8	4,9
<b>Kvarc</b>	$\text{SiO}_2$	36,9	38,7	41,2	67,9	28,4	7,1	55,6	12,2	3,7	11,9	8,1
<b>Montmorillonit</b>	$n(\text{Ca},\text{Mg})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	24,7	16,3	21	8,7	10,2	1,8	22,7	11,4	5,8	26,6	9,7
<b>Aragonit</b>	$\text{CaCO}_3$						2,3					2,2
<b>Albit</b>	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	0,3		0,9		1,1	0,8	0,5	1,3		2,8	1,3
<b>Muszkovit</b>	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	1,4	0,7	2,8	1	1,3	2,1	1,9	1,3	0,8	1,3	1,1
<b>Klinokhlor</b>	$(\text{Mg},\text{Fe})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})$			2,1		1,4	1,5	1,6	2	0,9	2,4	2,2
<b>Kaolinit</b>	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	1,6	0,7	2	1,4	0,1	0,4	1,5			0,1	
<b>Mikroklin</b>	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	1,4	3,1	1	1,2	0,7	0,5	1,5	0,6	1,6	0,7	2,1
<b>Mullit</b>	$\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$											
<b>Diopszid</b>	$\text{Ca}(\text{Mg},\text{Al})(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_6$											
<b>Gótit</b>	$\text{FeO}(\text{OH})$	1,9	2,3	2,1	1,1	1,2		1,1	1,1			
<b>Illit</b>	$(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})$											
<b>Anatáz</b>	$\text{TiO}_2$											
<b>Fluorapatit</b>	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$									58,3	17,3	
<b>amorf</b>		6,2	6,6	6,2	3,1	2,6	1,8	2,2	1,6	4,8	12,9	1,7
<b>SZUM( )</b>		99,9	100	100	100	100,1	100	100,1	99,9	100	100,1	99,9

Sample ident.: 1. talaj

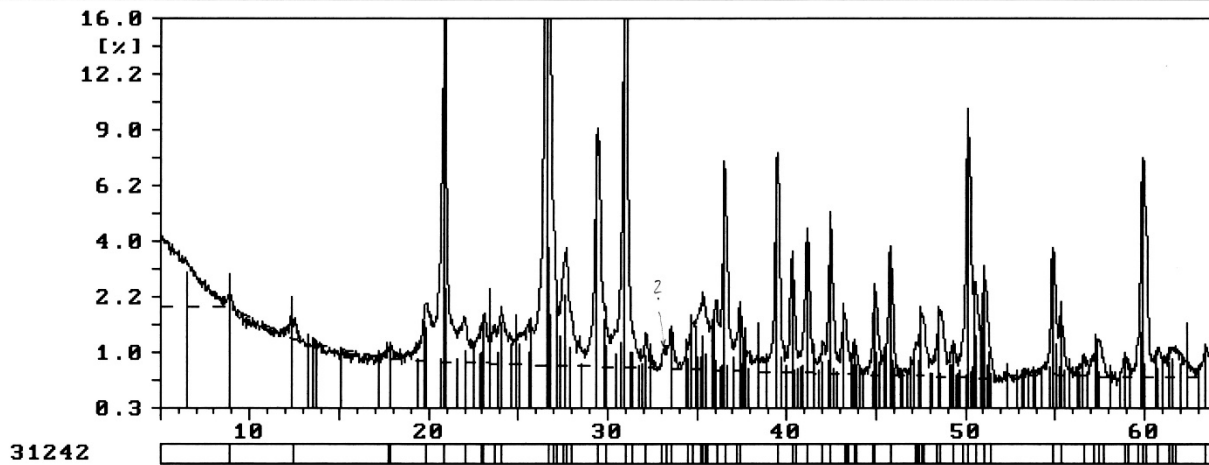
10-Jan-2006 14:24





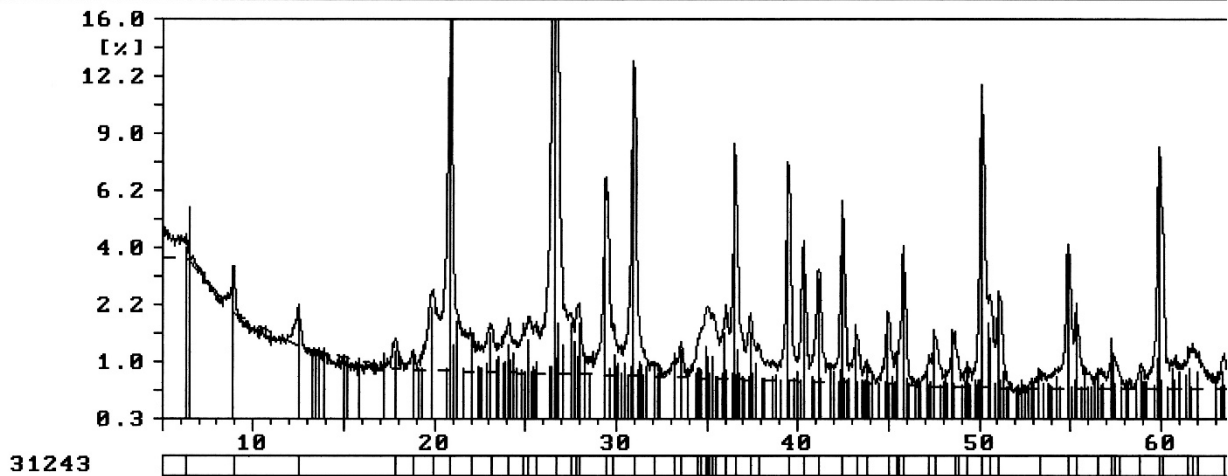
Sample ident.: 2. talaj

10-Jan-2006 14:33



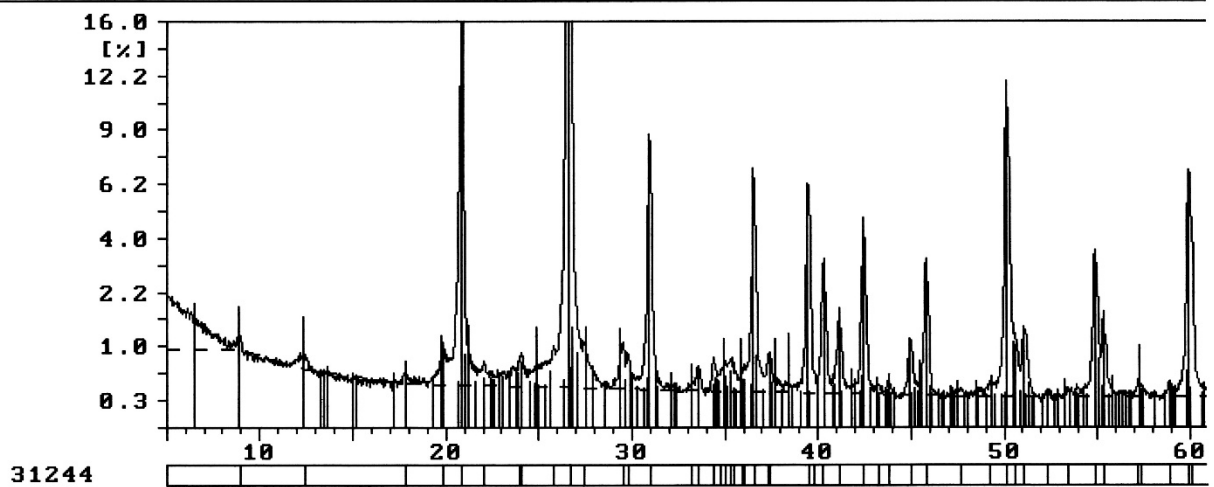
Sample ident.: 3. talaj

11-Jan-2006 10:07



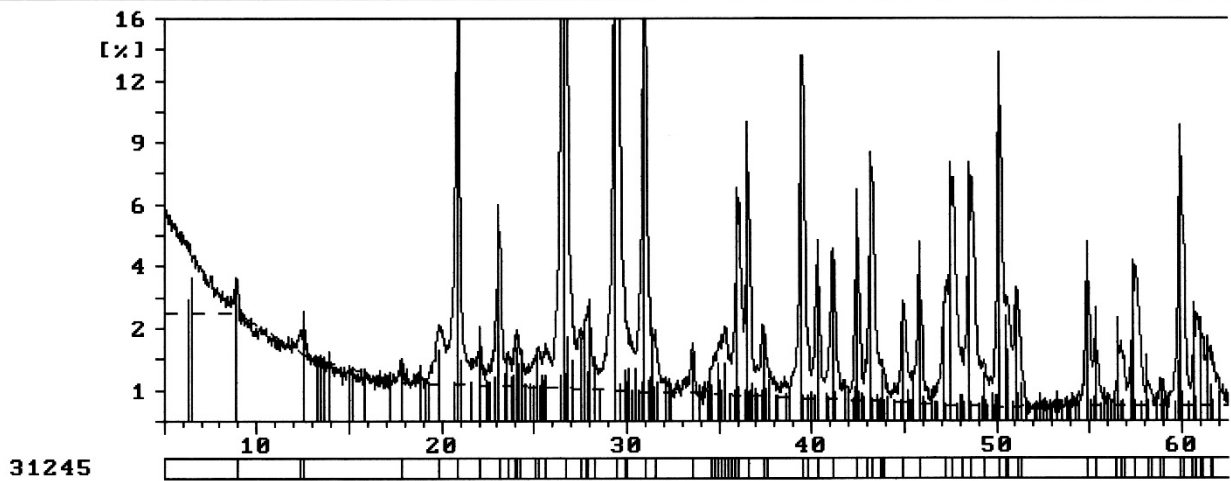
Sample ident.: 4. talaj

11-Jan-2006 10



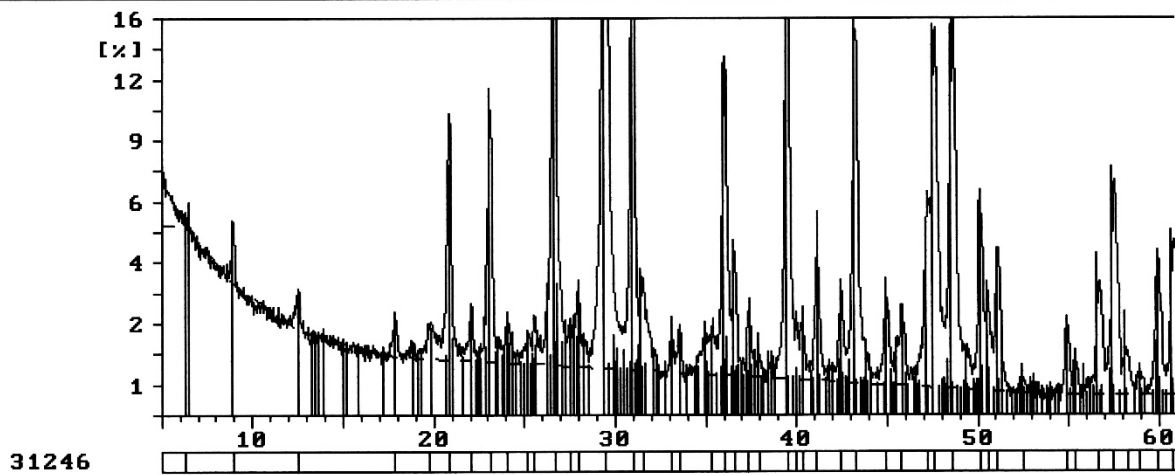
Sample ident.: 5. talaj

11-Jan-2006 10:3



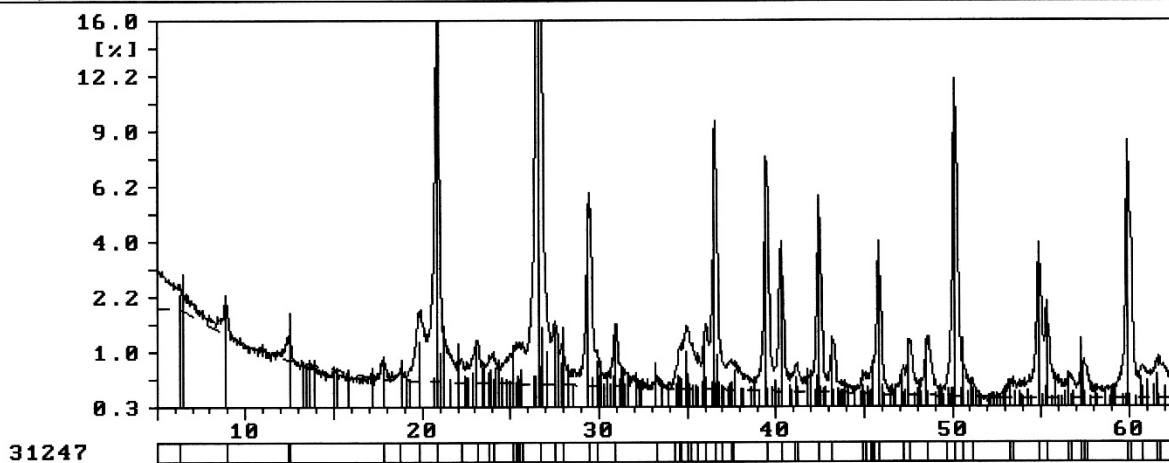
Sample ident.: 6. talaj

11-Jan-2006 13



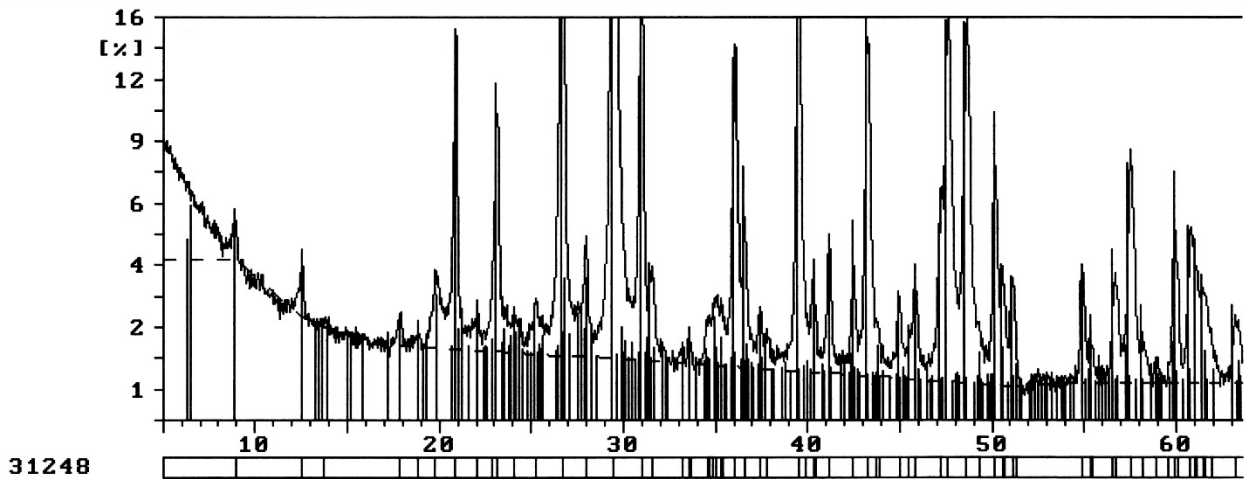
Sample ident.: 7. talaj

11-Jan-2006 13:3



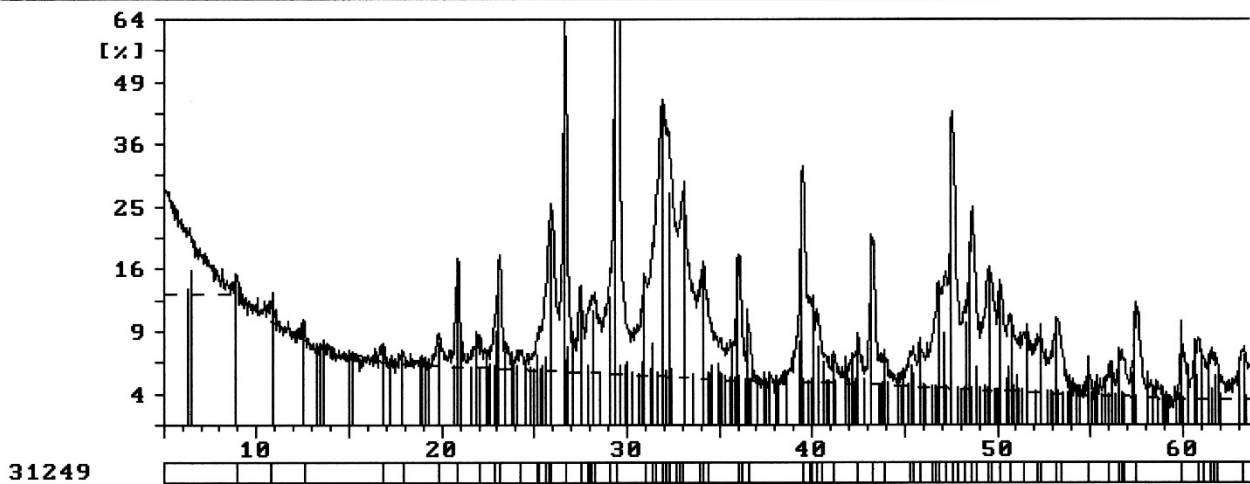
Sample ident.: 8. talaj

11-Jan-2006 14:00



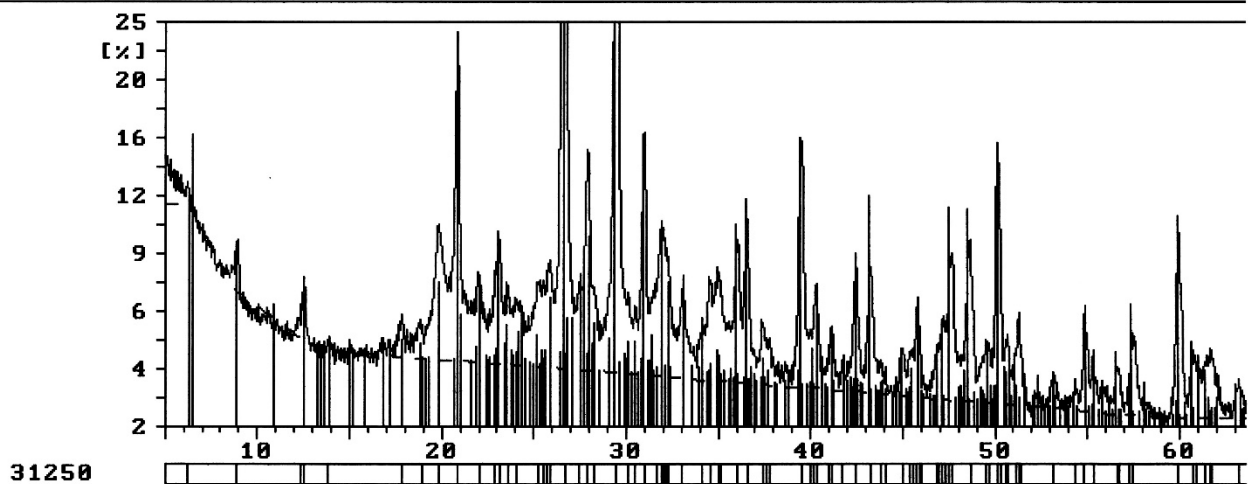
Sample ident.: 9. talaj

11-Jan-2006 14:08



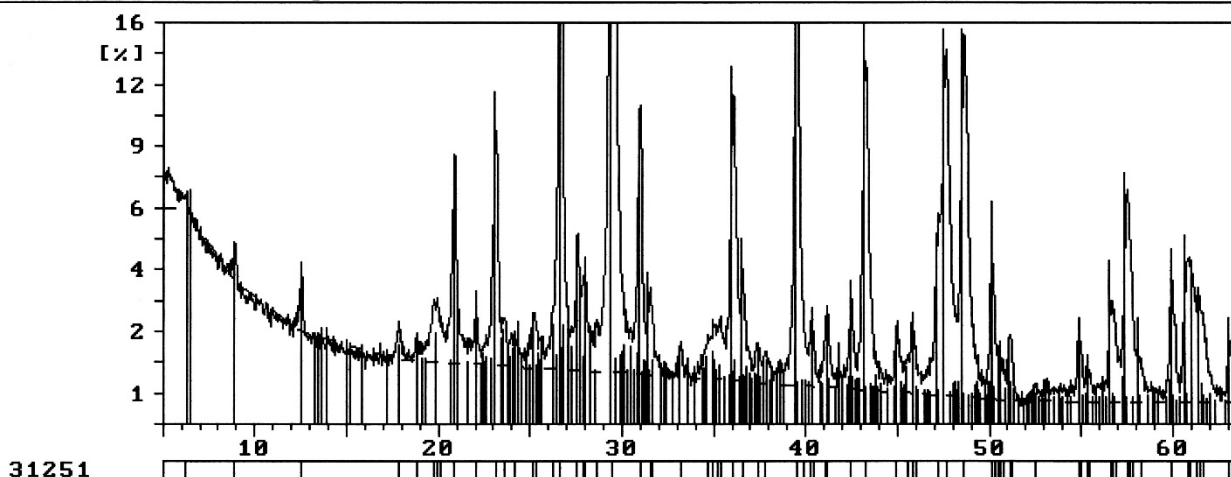
Sample ident.: 10. talaj

11-Jan-2006 14:27



Sample ident.: 11. talaj

11-Jan-2006 14:53



## 6.7. Példa: A talajok mikromorfológiai tulajdonságok meghatározása

Egy pórusos anyag szorpciós tulajdonsága nagymértékben függ attól, hogy mekkora felülettel rendelkezik, ugyanis minél nagyobb a felülete, annál több szorbeátummal tud kölcsönhatásba lépni. A felület fogalma alatt egy szilárd és egy fluidum közötti határfelület értendő. Külső és belső felületet szokás megkülönböztetni. A külső felület a szilárd anyag geometriai méretéből adódik, a belső a pórusok felületéből. A belső felület gyakran két-, három nagyságrenddel nagyobb, mint a külső. A fajlagos felület a szilárd anyag egységnyi térfogatra vagy tömegére vonatkoztatott felület. A fajlagos felület meghatározására többféle módszer is létezik, amelyek közül a nitrogén statikus adszorpciójával vizsgáltam a mintákat. A statikus módszer elve az adszorbeált gáz térfogat mérése, amelyhez a *Micromeritics* gyártmányú, *ASAP-2000* típusú számítógéppel vezérelt készüléket használtam. Az atmoszférikus nyomású cseppfolyós nitrogén forráspontján ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) a nitrogén adszorpciós és deszorpciós görbéjét vettem fel, amelyből a 0,05-0,25 relatív nyomástartományban ( $p/p_0$ ) felvett öt mérési pontból a BET-egyenlet segítségével kiszámoltam a fajlagos felületet.

$$\frac{p}{V_a \cdot (p_0 - p)} = \frac{1}{V_m \cdot C} + \frac{C-1}{V_m \cdot C} \cdot \frac{p}{p_0}$$

ahol,

$p$  – az adszorptívum (nitrogén) nyomása, Hgmm

$p_0$  – az adszorptívum egyensúlyi gőznyomása a mérés hőmérsékletén, Hgmm

$V_m$  – a monomolekuláris borítottáshoz szükséges gáz térfogata,  $\text{cm}^3/\text{g}$

$V_a$  – az adott  $p$  nyomás eléréséig adszorbeált gáz térfogata,  $\text{cm}^3/\text{g}$

A mérési adatokból számoltam a fenti egyenlet bal oldalát a relatív nyomások függvényében ábrázolva egyenest kapunk, mely egyenletéből a  $V_m$  és belőle a fajlagos felület számolható.

$$F_{BET} = \frac{f \cdot V_m \cdot N}{V_0 \cdot n}$$

ahol,

$f$  – egy adszorbeált molekula felület-szükséglete,  $\text{cm}^2$  (a nitrogéné  $16,2 \cdot 10^{-14}$  cm, azaz  $0,162 \text{ nm}^2$ )

$N$  - az Avogadro-szám,  $6,023 \cdot 10^{23}/\text{mol}$

$V_0$  - a folyékony adszorptívum móltérfogata a mérés hőmérsékletén,  $\text{cm}^3$  folyadék/mol

$n$  - az átszámítási tényező  $\text{m}^2$ -re

A Kelvin-egyenletből kiszámolható, hogy adott relatív nyomáson milyen méretű pórusok töltődnek fel kondenzátummal, illetve a deszorpciós ágban milyen méretű pórusokban megy végbe a kapilláris párolgás:

$$D_k = - \frac{4 \cdot V_0 \cdot \sigma \cdot \cos \phi}{R \cdot T \cdot \ln \frac{P}{P_0}}$$

ahol,

$\sigma$  - a felületi feszültség, dyn/cm

$R$  - az egyetemes gázállandó,  $8,314 \cdot 10^7$  erg/mol K

$D_K$  - a Kelvin-átmérő, cm

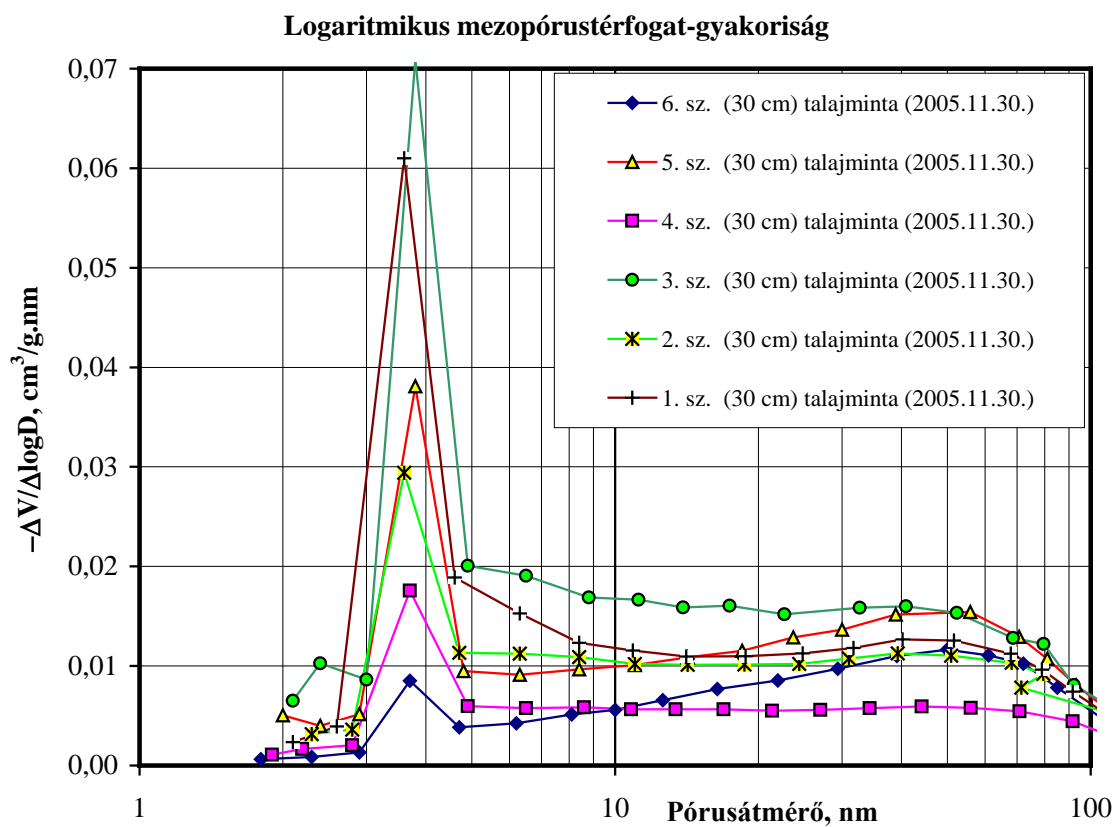
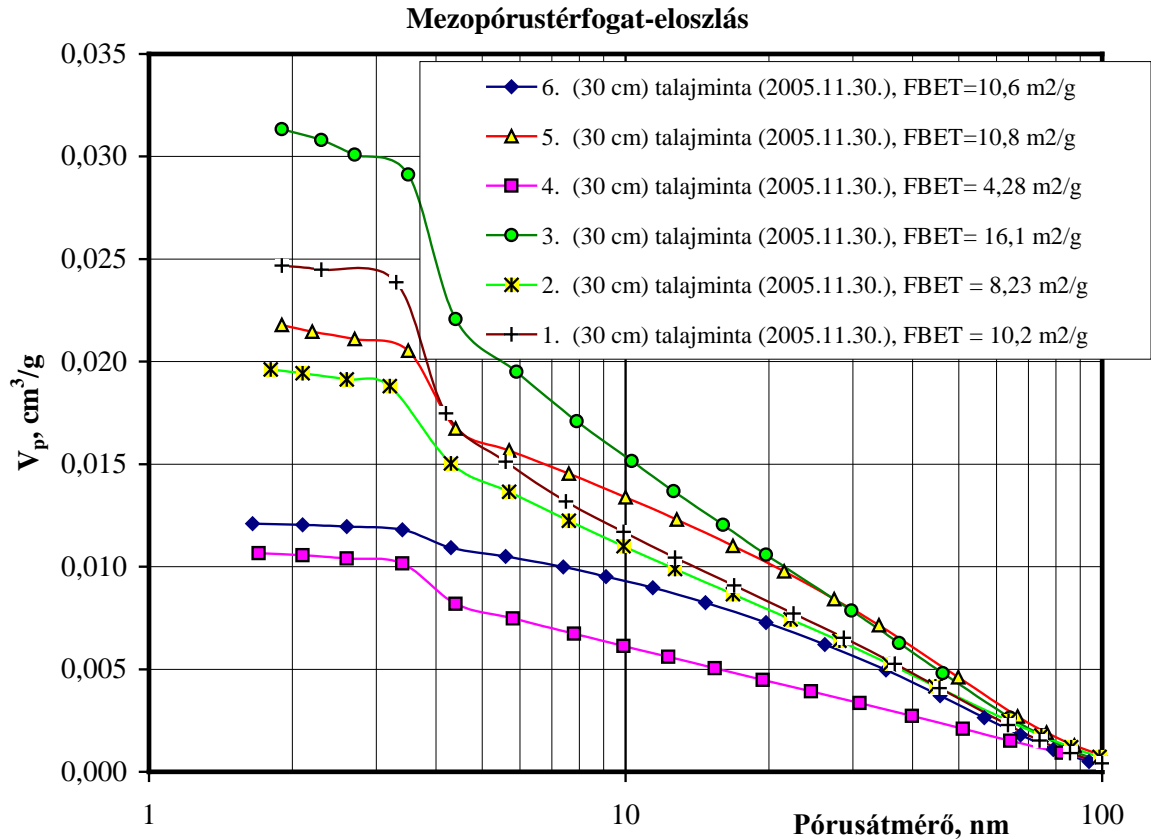
$\phi$  - a cseppfolyós nitrogén nedvesedési szöge

A pórusokban a kapilláris párolgás következtében elpárolgott nitrogén térfogatából az  $1,7 - 300$  nm átmérőjű pórusok (BJH-elmélet érvényessége) térfogatát számoltuk ki. Az adatpárokból megszerkeszthető az ún. kumulatív pórustérfogat eloszlási, illetve –gyakorisági görbék, melyek az egyes mintákra a **25.** és **26. ábrákon** láthatók. A pórustérfogattól és a deszorpciós tartományra becsült felületből számolható a jellemző pórusátmérő ( $D$ ). Az adott átlagos pórusátmérőjű, a fentebbiekben leírt módon meghatározott térfogatú pórusok térfogatából – körszimmetrikus szerkezetet feltételezve – becsülhető a pórusok részfelülete, illetve ennek összegzésével a kapilláris párolgás elvén becsült fajlagos felület ( $F_{BJH}$ ).

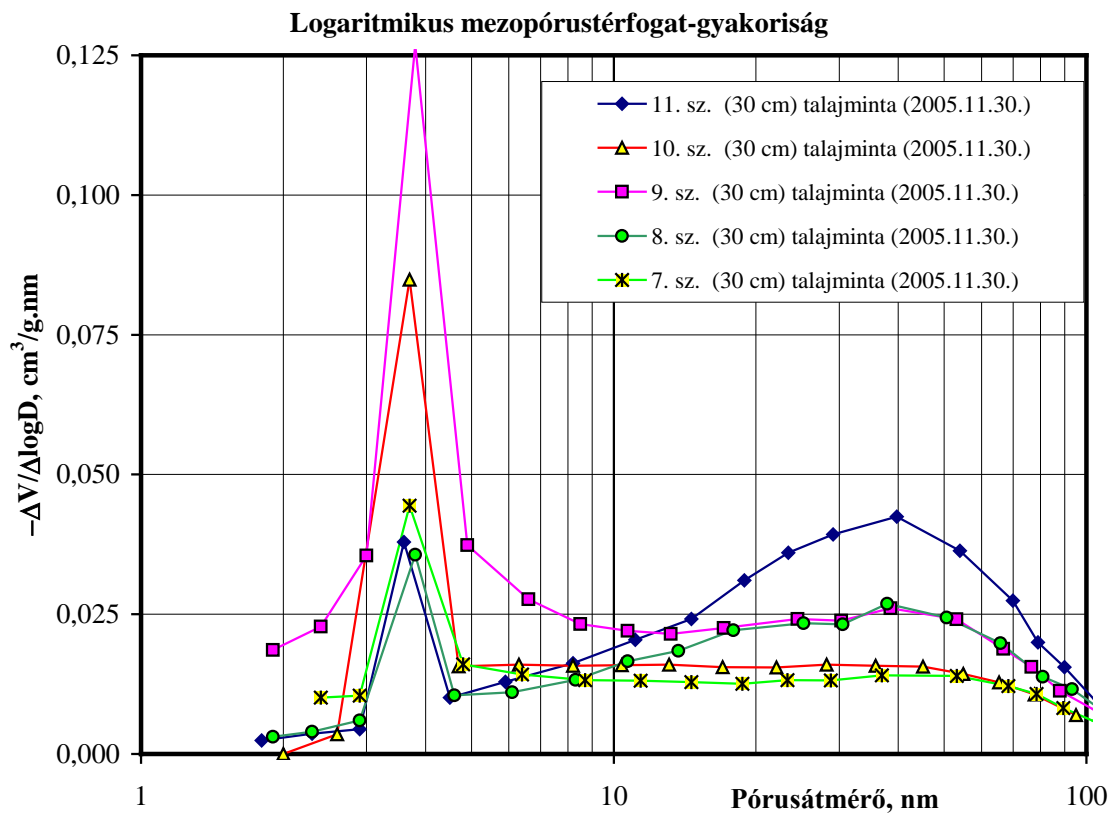
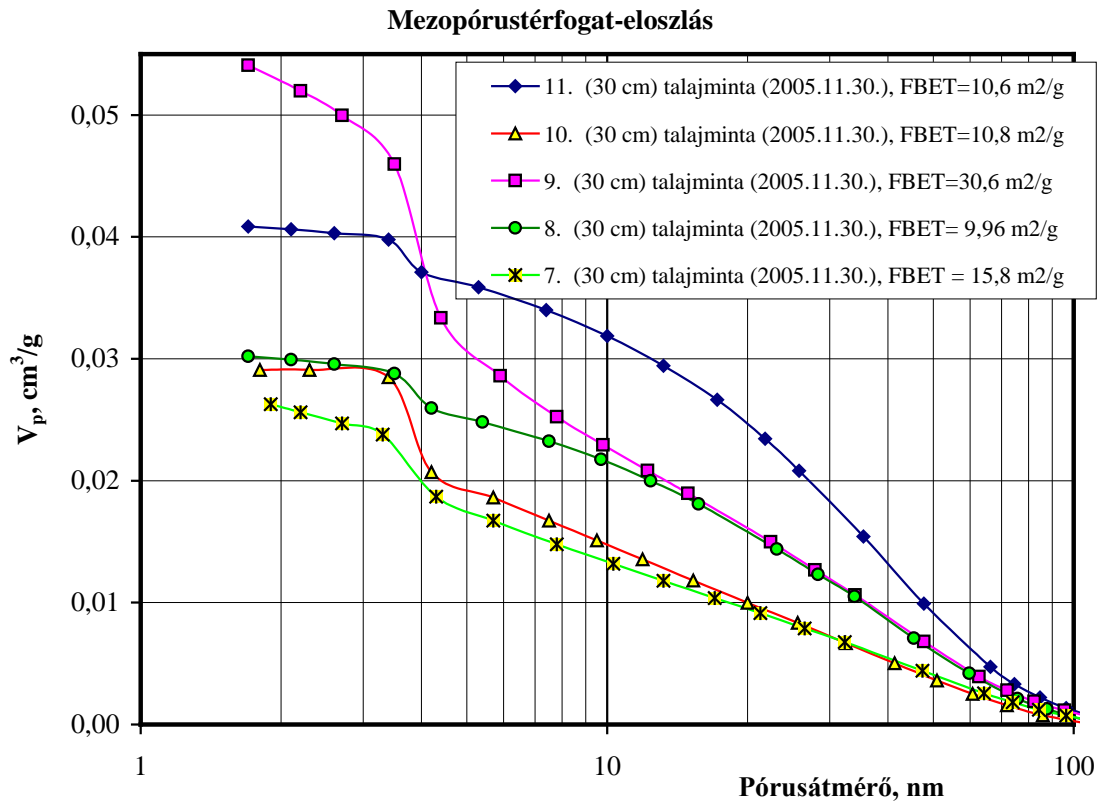
Egy összefoglaló táblázatban (**10. táblázat**) áttekintjük az egyes talajminták fajlagos felületét ( $F_{BET}$ ), kumulatív pórustérfogatát ( $V_p$ ) és az átlagos pórusátmérő ( $D_{\text{átl}}$ ) értékeit. A vizsgált minták fajlagos felületének és kumulatív mezopórus-térfogatának alakulását a **25.** és **26. ábrán** hasonlítottuk össze. Az ábrákból jól látszik, hogy a –feltehetően már savval kezelt-apatitot tartalmazó minták relatíve nagy fajlagos felületűek és ezeknek legnagyobb a pórustérfogata.

10. táblázat A talajminták fajlagos felülete és kumulatív pórustérfogata

Talajminták	$F_{BET}$ , $\text{m}^2/\text{g}$	$V_p$ , $\text{cm}^3/\text{g}$	$D_{\text{átl}}$ , nm
I-1	10,2	0,0247	6,91
I-2	8,23	0,0196	7,87
I-3	16,1	0,0313	7,02
I-4	4,28	0,0107	8,21
I-5	9,1	0,0218	8,61
I-6	2,91	0,0121	12,82
I-7	15,8	0,0263	6,88
I-8	9,96	0,0302	10,53
I-9	30,6	0,0541	5,81
I-10	10,8	0,0291	7,41
I-11	10,6	0,0409	12,75



25. ábra Az I-jelű talajminták pórustérfogat-eloszlása és -gyakorisága



26. ábra Az I-jelű talajminták pórustérfogat-eloszlása és -gyakorisága

## 6.8. Példa: A talajkivonat elektromos vezetőképességének meghatározása

A módszer elve, az oldatok fajlagos vezetéseinek meghatározása, állandó hőmérsékleten, az ionkoncentráció függvényében. A talajból készített vizes kivonat elektromos vezetéseinek mérése gyors közelítő tájékoztatást ad a talaj oldható ásványi sótartalmáról. Az oldat sótartalma függ az alkalmazott talaj-víz arányától is, ezért ez a szabvány szerinti állandó 1:10 értékű volt. **A mérés menete:** 10 g légszáraz talajhoz 100 cm<sup>3</sup> desztillált vizet adtunk, majd 30 percig egy körforgó rázógépen ráztuk. Ezt követően a szuszpenziót vákuumszűrőn leszűrjük és az így kapott szűrletből konduktométer segítségével, már mérhető az egyes talajminták elektromos vezetőképessége. A konduktométerről a kivonatok elektromos vezetése milli-, vagy mikrosiemens-ben olvashatók le. Az így kapott eredményeket 20 °C-ra korrigált (μS) értékben kell megadni, úgy hogy a hőmérséklet korrekciót a mérőkészülék használati utasítása szerint szükséges végezni. A hőmérséklet-korrigált vezetőképességi adatokat a **11. táblázatban** foglaltam össze.

11. táblázat A talajminták vezetőképessége

Talajminták	Vezetőképesség
I-1	1,33 mS/cm
I-2	0,87 mS/cm
I-3	103 μS/cm
I-4	171 μS/cm
I-5	258 μS/cm
I-6	3,47 mS/cm
I-7	226 μS/cm
I-8	497 μS/cm
I-9	522 μS/cm
I-10	476 μS/cm
I-11	1178 μS/cm



## 7. Távérzékelés

A távérzékelés fogalomköre azokat a vizsgálati módszereket, eljárásokat öleli fel, amelyek során a szűkebb vagy tágabb környezetünkben elhelyezkedő tárgyokról, jelenségekről vagy eseményekről oly módon gyűjtünk adatokat, hogy velük közvetlen kapcsolat nem jön létre. Ily módon a legegyszerűbb észleléstől – amikor szabad szemmel ránézünk a vizsgálni kívánt tárgyra – egészen az űrből történő vizsgálatokig a módszerek széles skálája áll rendelkezésre. A távérzékelés kiemelten fontos része az adatok feldolgozása és kiértékelése. Napjainkban már a munka – mind időben, mind erőforrás tekintetében - jelentős részét e feladat teszi ki.

A távérzékelés jelentősen elterjed az elmúlt években és várhatóan a legfontosabb tudományterület lesz a mérési tudományok között. Nagy előnyei a

- gyors, folyamatos, a többi módszerhez képest olcsóbb adatkinyerés, a
- jó méretezhetőség (a mikro tartománytól a bolygó léptékig használható), a
- könnyen önműködővé tehető feldolgozási és kiértékelési folyamatok.

### 7.1. Távérzékelés módjai

A távérzékelés két fő típusát különböztetjük meg:

- aktív távérzékelés
- passzív távérzékelés

Az aktív távérzékelés esetén a mérőberendezésünk olyan sugárzást bocsájt ki, amely a vizsgálat tárgyával érintkezve nem befolyásolja annak a mérés szempontjából lényeges tulajdonságát. E sugárzás jellemzően fény, infravörös sugárzás, rádióhullám szokott lenni, de a teljes hullámhossztartományban találunk eszközöket e célra. Nagyon fontos kiemelni, hogy csak olyan aktív eszközök számítanak távérzékelési eszköznek, amelyek esetében a sugárzás be és kikapcsolása esetén sem tapasztalható változás a mérési eredményekben, azaz a sugárzás csak a mérés pontosságát, könnyebbségét segíti elő. **(27. ábra)**

Passzív távérzékelésről beszélünk, ha a távérzékelést végző berendezés nem bocsát ki semmilyen, a mérést segítő sugárzást, csak a testből magából vagy a természetes környezetéből származó sugárzást érzékeljük. **(28. ábra)**

*Példa: Egy felmérés során célunk meghatározni egy épület távolságát a mérési ponttól, ezt megtehetjük műholdfelvétellel passzív módon, vagy egy lézersugár kibocsátásával és a visszatérő fényhullámok érzékelésével aktív módon.*

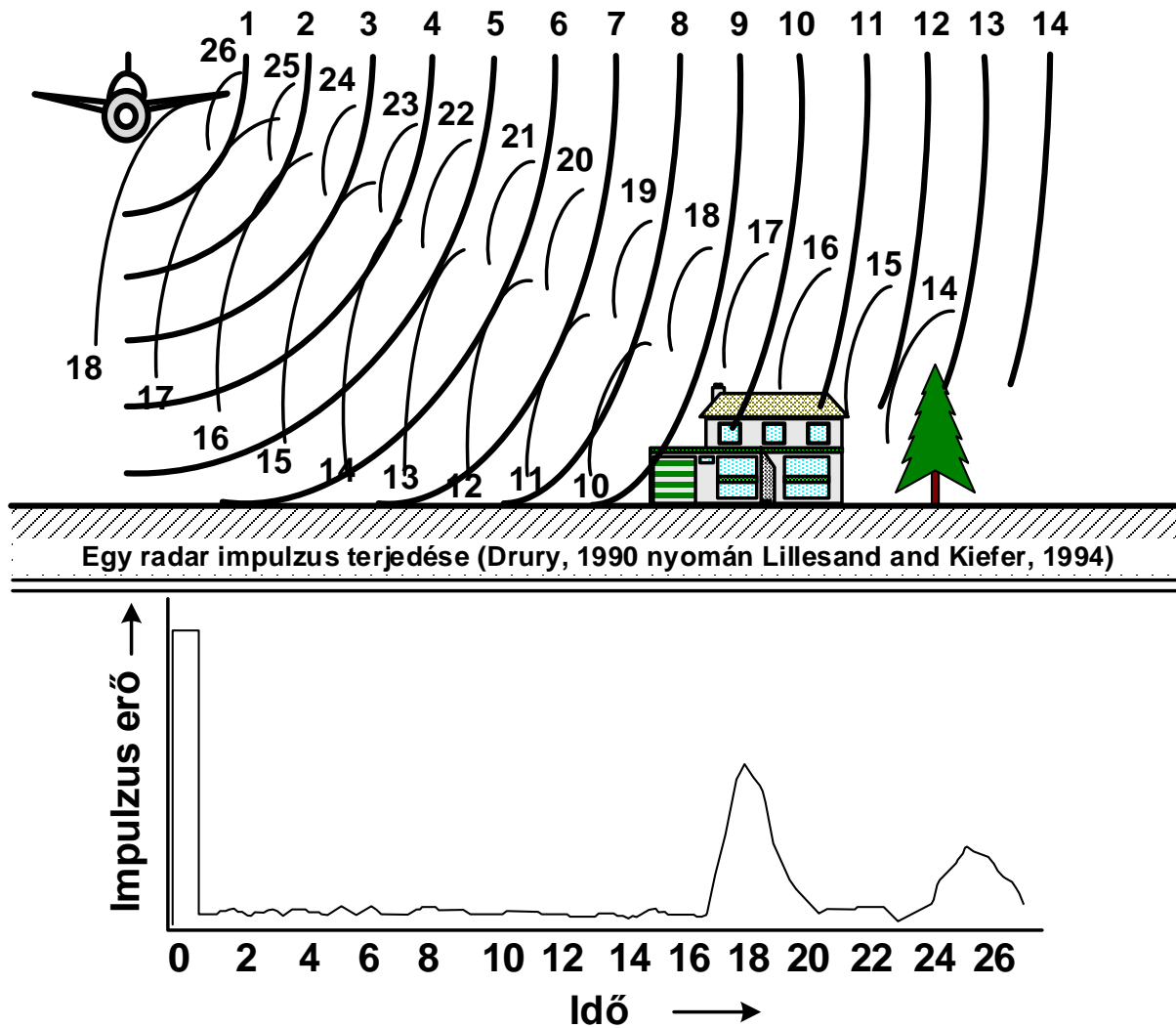
*Példa: Egy baktériumtenyészet szaporulatának vizsgálatakor folyamatos kamerás megfigyelő és elemző rendszert építünk fel. A kamerának a látható fény tartományában érzékelő érzékelője miatt folyamatos, alacsony hő-kibocsátású LED lámpával történő megvilágítást alkalmazunk.*

*Két eset lehetséges:*

- *ha a baktériumtenyészet szaporodását – például korábbi kísérletek során – bizonyítottan nem befolyásolja a látható fény tartományában érkező sugárzás, akkor távérzékelésről beszélünk,*
- *ha pedig ebben nem vagyunk biztosak, vagy biztosan tudjuk, hogy befolyásolja, akkor nem beszélhetünk távérzékelésről.*

## Aktív Távérzékelés

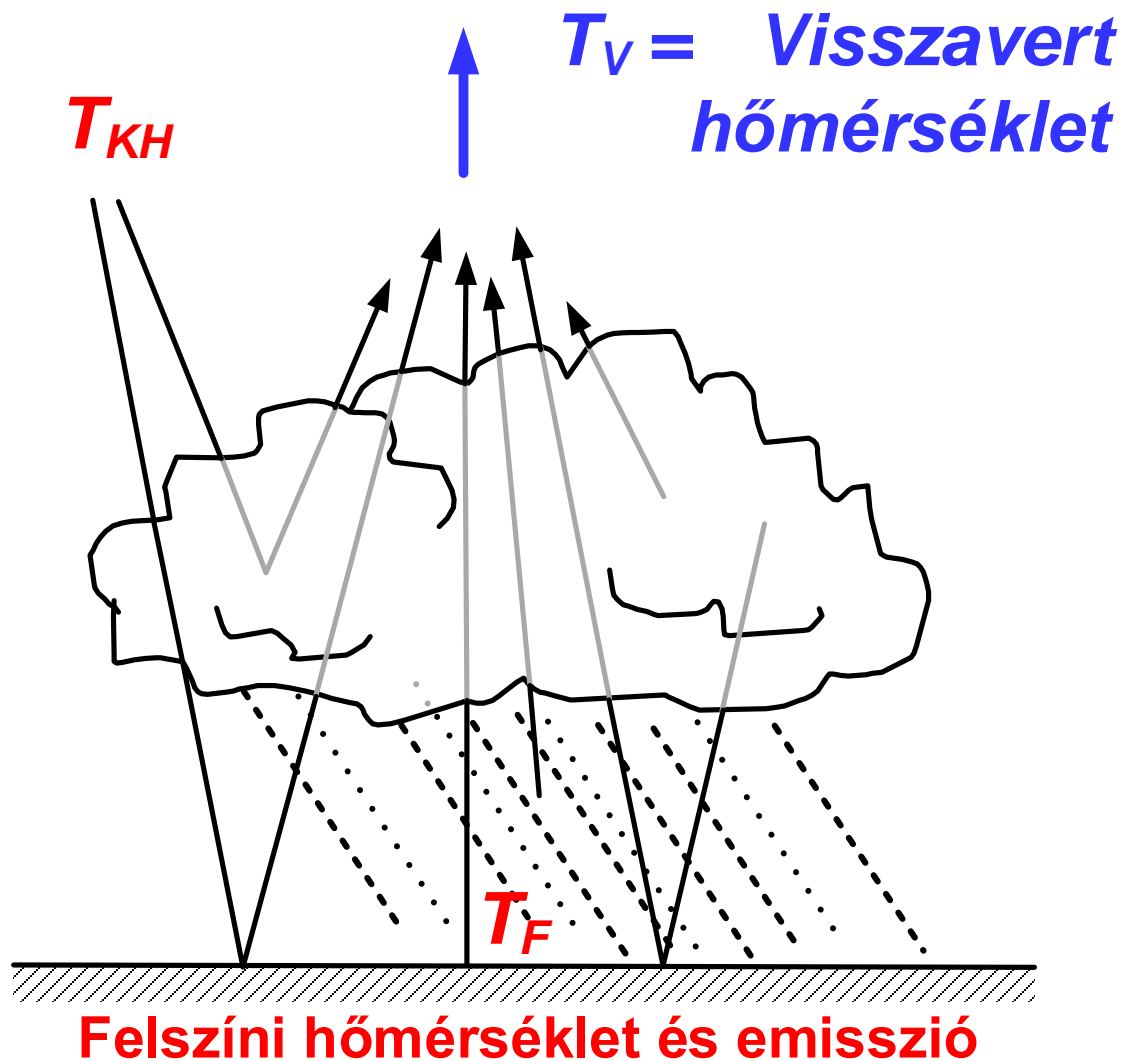
Forrás: Műszer impulzus,  
Saját energiát használ



27. ábra Aktív távérzékelés (NASA alapján)

## Paszív Távérzékelés

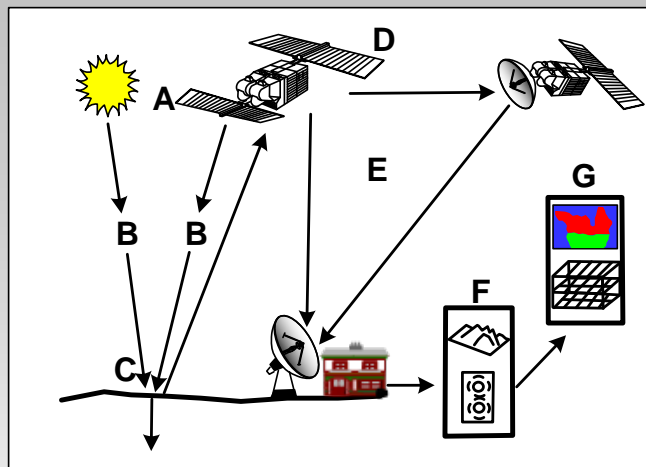
**Források: felszíni emisszió,  
kozmosz háttérsugárzás,  
eső emisszió**



28. ábra Passzív távérzékelés (NASA alapján)

A távérzékelés áttekintő ábrája (29. ábra) alapján jól nyomon követhető egy jellemző felmérés folyamata. Az energiaforrásból vagy megvilágításból (A) érkező elektromágneses sugárzás (B) reakcióba lép a megfigyelés tárgyával (C). A visszavert vagy ritkábban a kisugárzott sugárzást érzékeli az érzékelő-berendezésünk (D), ami vagy közvetlenül, vagy közvetítő berendezéseken keresztül átküldi (E) az adatokat a feldolgozó eszközre (F), ahol megtörténi az adatok célnak megfelelő átalakítása, amit utána az elemző alkalmazások (G) segítségével értékelünk ki.

## Távérzékelés folyamata



- Energia forrás vagy megvilágítás (A)
- Sugárzás és az atmoszféra (B)
- Kölcsönhatás a célponttal (C)
- Energiaérték rögzítése szenzorral (D)
- Továbbítás, fogadás és feldolgozás (E)
- Előfeldolgozás és elemzés (F)
- Felhasználás (G)

Canada Center for Remote Sensing  
(accessed June 25, 2002)

29. ábra Távérzékelés összefoglalása (Canada Center for Remote Sensing nyomán)

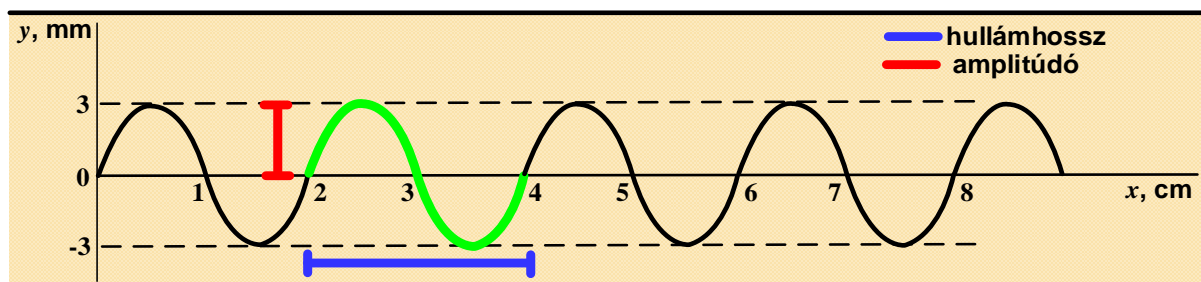
### 7.2. Aktív távérzékelés: STRM (esettanulmány)

Forrás: Robert Treuhaft, NASA nyomán

Az aktív távérzékelés leggyakoribb módja a RADAR (RAdio Detection And Ranging) rendszerek használata. Az elmúlt évek leghasznosabb – sajnálatosan most szüneteltetett – programja e téren a Shuttle Radar Topography Mission (STRM) volt. A NASA Endeavour űrsiklójára szerelt radarrendszer volt. A küldetések célja a nagy pontosságú magasságadatok gyűjtése a Föld felszínéről.

A berendezés interferometrián alapul, amelynek lényege, hogy a berendezés által kibocsátott sugárzást két egymáshoz képest eltolt helyzetű vevő érzékeli egy időben és ebből számítják ki a magasságadatokat.

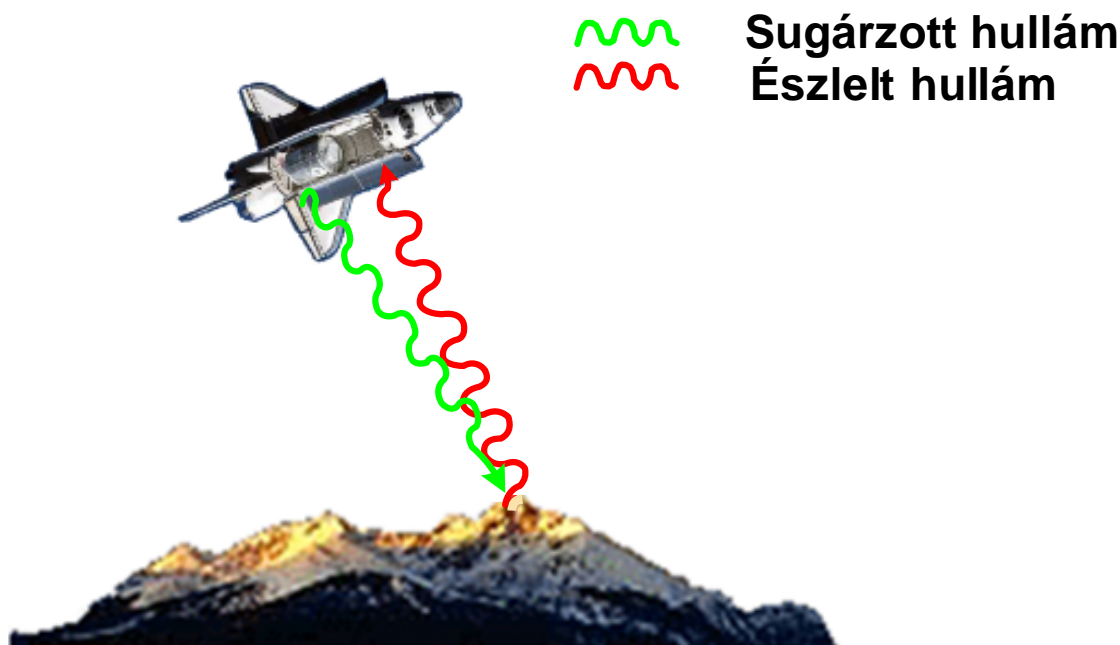
A 30. ábra a radar jelének elméleti legjobb alakját mutatja. A sugárzott jel elektromos erőssége látható az y tengelyen, míg a jeladótól való távolság látható az x tengelyen. A jel sinus alakban ismétli önmagát (zöld vonalrész). A kék sáv által jelzett hullámhossz, a rendszer esetében 2 cm. A piros sávval jelzett amplitúdó az éppen leadott jel erősségét jelzi, ami jelen esetben 3 mm.



## Hullámgörbe

30. ábra Hullámhossz adatok

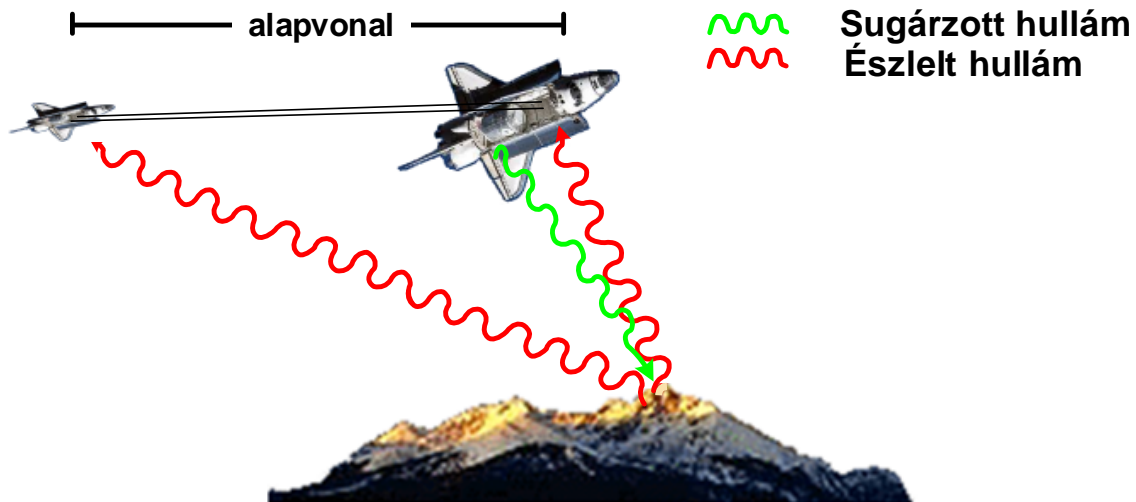
Egyszerű radar elvű mérés esetén a berendezésből érkező jel eléri a Földet és a sugár egy része visszaverődik a vevő felé. A vevő méri a beérkező jel erősségét és visszaérkezés idejéből mért távolságát. (31. ábra)



## Egy érzékelő

31. ábra Mérés egy vevő esetén

Ha a berendezés két, egymástól távolabb eső vevőből áll, akkor már egy interferométert kapunk. Jelen esetben a két vevő 60 méterre helyezkedik el egymástól, ami már jelentős távolságnak minősül. A két vevőt összekötő vonal (illetve jellemzően a távtartó) neve az interferometrikus alapvonal. A mérés lényege, hogy az interferométer két végén mérjük a fáziseltolódást. (32. ábra) Komplex kereszt-koreláció segítségével összehasonlítjuk az alapvonal két végén mért fázisokat. A mért fázisok közötti különbség - amit interferometrikus fázisnak nevezünk - határozza meg a visszaverődést okozó tárgy távolságát.



## Két érzékelő

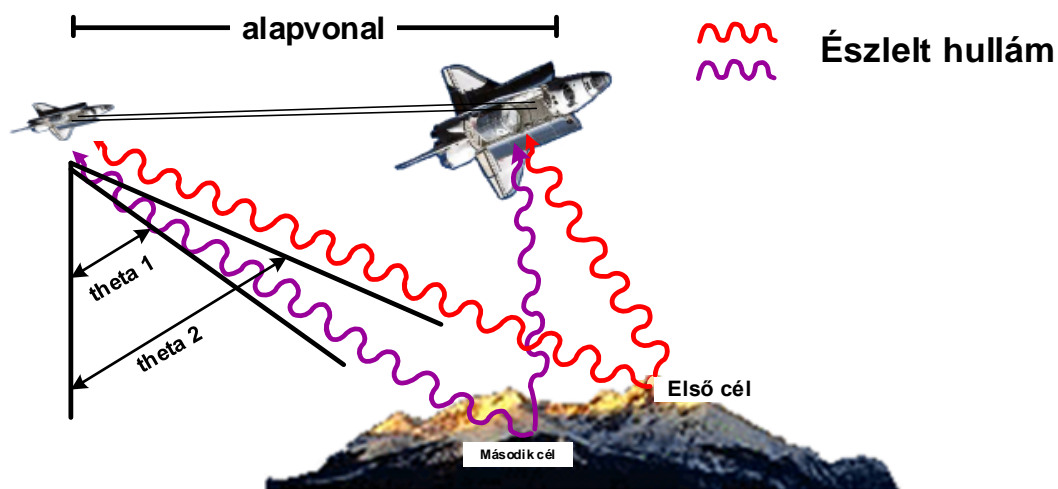
32. ábra Két vevős rendszer

A **33. ábra** mutatja, mi módon tudja a különböző magasságú tereptárgyakat megkülönböztetni az interferométer. A magasabban lévő tereptárgy (T2) kisebb differenciális különbséggel mérhető, mind az alacsonyabban lévő (T1). Míg interferometrikus fázisa a második tereptárgynak nagyobb, mint az elsőnek, aminek az oka, hogy az interferometrikus fázis a két visszavert hullám egymással bezárt szögével arányos.

Azt az értéket a

$$\text{interferometrikus fázis} = \frac{A * \sin\theta}{\text{hullámhossz}}$$

közelítő képlettel írhatjuk le, ahol az A az alapvonal hosszúsága, míg a  $\theta$  a tereptárgy távolsága. A képletet megoldva a  $\theta$ -ra, felhasználva a mért interferometrikus fázisból és a hullámhosszból megkapható a tereptárgy magassága.

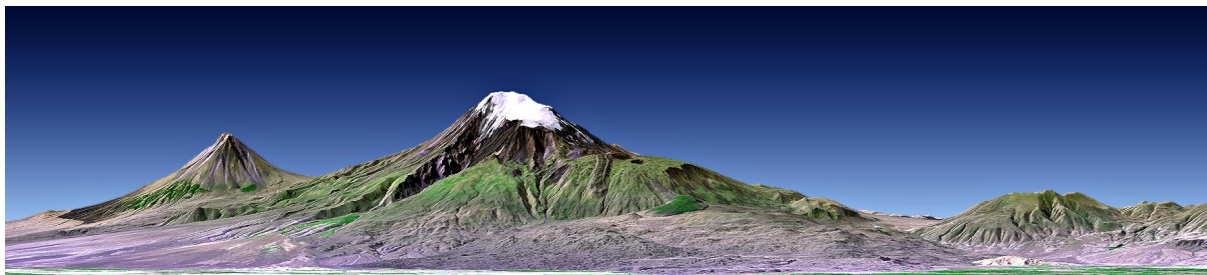


## Különböző magasságú tereptárgyak észlelése

### 33. ábra Különböző magasságú tereptárgyak érzékelése

Egy ilyen felmérés eredménye látszik az alábbi ábrán. (**34. ábra**) A mérés során alkalmazott paraméterek:

- mérési tartomány: 124 kilométer \* 148 kilométer
- középpont koordinátája: északi szélesség 39.7 fok, keleti hosszúság 44.3 fok
- a kép leképzése: A hegy déli oldala, 1,25X-ös függőleges torzítással
- topográfia adat: SRTM, 2000 február
- felszínborítottság: Landsat (sávok: 1, 2+4, 3 mint kék, zöld és piros), 1989 augusztus



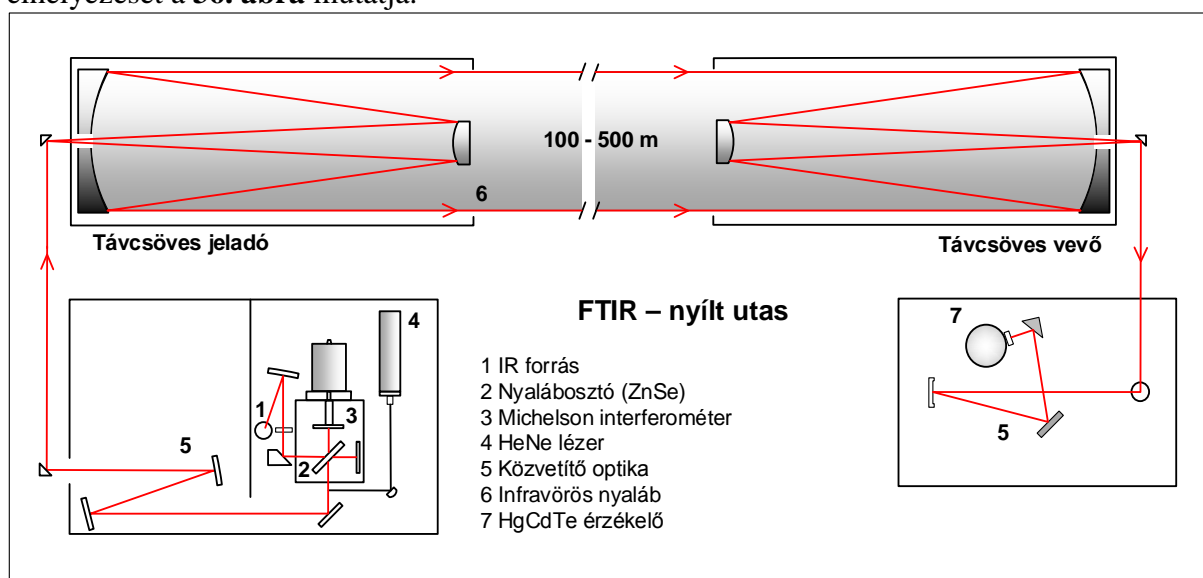
34. ábra Ararát hegyének SLAR alapú képe (Forrás: NASA)

### 7.3. Aktív távérzékelés: OP-FTIR

Forrás: [http://www.atmosfera.unam.mx/espectroscopia/op-ftir/OP\\_FTIR.html](http://www.atmosfera.unam.mx/espectroscopia/op-ftir/OP_FTIR.html)

A nyílt utas infravörös spektroszkópia alapja, hogy a modulált infravörös hullámtartományba eső fényt a szabadban – a vizsgált levegőn átvezetve – fogjuk fel az érzékélővel. A sugár a levegőben lévő részecskével érintkezve jól mérhető spektrális eltolódással érkezik az érzékélőhöz.

Egy ilyen elven működő berendezés elvi felépítését alább láthatjuk. (**35. ábra**), míg a műszer elhelyezését a **36. ábra** mutatja.



35. ábra OP-FTIR berendezés elvi felépítése

1 IR forrás, 2 ZnSe sugárosztó, 3 Interferométer, 4 HeNe lézer, 5 irányító tükrök, 6 borítás, 7 HgCdTe érzékélő



36. ábra Példa OP-FTIR berendezés elhelyezésére



37. ábra Az OP-FTIR berendezés adó oldala





38. ábra Az OP-FTIR berendezés célzórendszere

## 8. Levegőtisztaságvédelmi mérések a gyakorlatban

Ebben az esettanulmányban fejezetben Veszprém és környéke levegőszennyezettségét meghatározó légszennyezők mérésével és értékelésével foglalkozunk: nitrogén-oxid, nitrogén-dioxid, nitrogén-oxidok, ózon, kén-dioxid, szén-monoxid és szálló por.

### 8.1. Mintavételi eszközök és berendezések

A felhasznált adatokat a Pannon Egyetem Mobil Mérőlaboratóriumával végzett mérések, illetve az OLM veszprémi automata mérőállomása szolgáltatta.

A mobil mérőlaboratórium képes mérni a levegőben lévő kén-dioxid, nitrogén-dioxid, nitrogén-monoxid, nitrogén-oxidok, szén-monoxid, ózon, és a szállópor (PM<sub>10</sub>), valamint a benzol, toluol, MP-xilol, etil-benzol, O-xilol mennyiségét. Regisztrálja az értékeléshez szükséges meteorológiai paramétereket is: szélirány, szélsébség, hőmérséklet, légnyomás, páratartalom, napsugárzás, UV-A és UV-B sugárzás.

A mobil mérőlaboratóriumban használt mérőműszerek és adatgyűjtő rendszerek felsorolását a **12. táblázat** tartalmazza.

12. táblázat A mobil mérőlaboratóriumban használt mérőműszerek és adatgyűjtő rendszerek

Sor-szám	Megnevezés	Gyártó	Típusa	Gyári szám
1.	CO monitor	Environnement SA	CO12M	576
2.	NO <sub>x</sub> monitor	Environnement SA	AC32M	04-1026
3.	O <sub>3</sub> monitor	Environnement SA	O342M	6030
4.	SO <sub>2</sub> monitor	Environnement SA	AF22M	757
5.	PM <sub>10</sub> monitor	Environnement SA	MP101M	2106
6.	BTEX monitor	Environnement SA	VOC71M	360
7.	Kombinált meteorológiai érzékelő (Szélirány, szélsébség, hőmérséklet, páratartalom)	Vaisala	WXT510 AAC0BA11B0	D0710041
8.	Napsugárzásmérő (UV-A, UV-B, global-sugárzás mérő)	LSI LASTEM	DPA 518, 523, 559	N707536 N603327 N712615
9.	Kalibrátor (gázhígító)	LN Industries SA	Sonimix SX6000	3843
10	Adatgyűjtő számítógép (Adatgyűjtő és adatlekérdező szoftverek: Envidas Ultimate View, Envidas Ultimate Reporter)	ADVANTECH	IPC-510MB-30ZBE	B08150117E

A Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségek által üzemeltetett Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat automatikus és manuális állomások, valamint mobil mérőállomások és időszakos mintavételek segítségével méri ország területének légszennyezettségét.

Veszprémben egy automata mérőállomás működik a Kádár utcában:

A mérőállomáson mérik a kén-dioxid, nitrogén-dioxid, nitrogén-monoxid, nitrogén-oxidok, szén-monoxid, ózon, és a szállópor (PM<sub>10</sub>) szintjét, valamint a benzol, toluol, MP-xilol, etil-benzol, O-xilol mennyiségét. Regisztrálják az értékeléshez szükséges meteorológiai paramétereket is: szélirány, szélesség, hőmérséklet, légnyomás, páratartalom, napsugárzás, UV-A és UV-B sugárzás. Az adatok on-line módon jutnak el az illetékes Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségen működő alközpontba, onnan pedig az Országos Meteorológiai Szolgálat egységeként működő Légszennyezettségi Adatközpontba (Levegőtisztaság-védelmi Referencia Központ) [23]

## **8.2. A levegőterheltségi szint mérésének referencia-módszerei**

Alkalmazott jogszabályok

A mérések a levegőterheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról szóló 6/2011 (I.14.) VM rendelet előírásainak megfelelően történtek. Az értékelés során a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 4/2011 (I.14.) VM rendeletet vettem figyelembe.

### **8.2.1. Nitrogén-oxidok (NO<sub>x</sub>) meghatározása (MSZ ISO 7996:1993 – visszavont szabvány)**

A nitrogén-oxidok mérésének módszere - kemilumineszcencia - a NO molekulák O<sub>3</sub> molekulákkal történő oxidációján alapul. A porszűrőn keresztül átáramoltatott levegőminta nitrogén-monoxid tartalma a feleslegben hozzáadott ózonnal reakcióba lép és a gerjesztett NO<sub>2</sub>\* molekula az alapállapotba való visszatéréskor lumineszcens sugárzást bocsát ki. A sugárzás a NO mennyiségével arányos és szelektív optikai szűrő közbeiktatásával elektromos jellé alakítható. A nitrogén-dioxid mennyisége úgy határozható meg, hogy konverteren átvezetve NO-dá redukálják, úgy vezetik a reakcióterbe. Az így kapott elektromos jelet a teljes minta elektromos jeléhez viszonyítják. [24]

### **8.2.2. Ózon (O<sub>3</sub>) meghatározása (MSZ 21456-26:1994 – visszavont szabvány)**

A mérés elvi alapja, hogy az ózonkoncentráció arányos a fényelnyelés mértékével, és a molekulának 253,7 nm-es hullámhosszon elnyelési maximuma van. A mérés során a mintagáz először az ózonszűrőn keresztül a mérőkamrába jut, itt egy fotométer méri az UV fény intenzitását, először ózon molekulák nélkül, majd a mágnesszelep átkapcsolása után a mintagáz közvetlenül a mérőkamrába kerül, amely az ózont tartalmazó mintagáz UV fény intenzitását méri. A két fényintenzitás különbsége arányos az ózonkoncentrációval. [25]

### **8.2.3. Kén-dioxid (SO<sub>2</sub>) meghatározása (MSZ 21456/37:1992 – visszavont szabvány)**

A kén-dioxid mérésének referencia módszere az UV fluoreszcencia. A kén-dioxid molekulák UV fény hatására gerjesztett állapotba kerülnek, majd a gerjesztett molekulák UV foton kibocsátással ismét alapállapotba jutnak. Az emittált fluoreszcens UV fényt interferenciaszűrő

közbeiktatásával a fotoelektron-sokszorozó elektromos jellé alakítja. Az analizátor kimenő jele arányos a mérőcellában lévő kén-dioxid molekulák számával, vagyis a környezeti levegő kén-dioxid tartalmával. [26]

#### **8.2.4. Szén-monoxid (CO) meghatározása (MSZ ISO 4224:2003 – visszavont szabvány)**

A mérés elvi lapja, hogy a szén-monoxid 4,6  $\mu\text{m}$  hullámhosszon szelektív fényelnyelést mutat, így az infravörös gázelemző készülékben a fényelnyelés mértékéből meghatározható a szén-monoxid koncentrációja. A gázelemzőben a referencia küvetta nitrogénnel van megtöltve, így a küvettán átmenő sugárzás csillapítás nélkül halad tovább, a mérőküvettaiban pedig az infravörös sugárzás 4,6  $\mu\text{m}$  hullámhosszúságú komponense a CO koncentrációnak megfelelő mértékben csökken. A két küvetta sugárzás különbsége az érzékelőben elektromos jelet hoz létre, amely a szén-monoxid koncentrációval arányos. [27]

#### **8.2.5. Szálló por meghatározása (MSZ ISO 10473:2003)**

Ismert térfogatú környezeti levegőt szívatunk át egy szűrőn, amelyen a szemcsés anyag összegyűlik. A szemcsés anyag teljes tömegét úgy határozzuk meg, hogy mérjük a béta-sugarak abszorpcióját. Az anyagokban a  $\beta$  sugárzás exponenciális függvény szerint gyengül. A mérési eredményt a tiszta és poros szűrő elnyelésének különbsége adja. A béta sugaras mérőkészülék egy lágy  $\beta$  sugárforrásból és egy érzékelőből áll, amelyek a minta két oldalán helyezkednek el. [28]

#### **8.2.6. A passzív monitorok mérési elve (MSZ EN 13528-2:2003)**

A diffúziós mintavevő olyan eszköz, amely alkalmas gázok és gőzök levegőből való mintavételére, egy fizikai folyamattal szabályozott sebességgel, például egy statikus levegőrétegen vagy porózus anyagon keresztüli gázdifúzióval és/vagy egy membránon keresztüli permeációval, a levegőnek a mintavevőn keresztüli aktív mozgatása nélkül. [30] Az M3 mérési helyszínen a VOC anyagok kimutatásához Radiello típusú szén-diszulfidos leoldású mintavevő eszközt használtak ( RAD130 és RAD120). A passzív monitorozás során a mérni kívánt gázok adszorbeálódnak a megfelelően kiválasztott tölteten. A töltetet lezárt üvegsőben laboratóriumba szállítják, acetonitrillel az adszorbeált szennyezőket leoldják, majd gázkromatográfiával az összetevőket meghatározzák. Hátránya, hogy nem ad tájékoztatást az egyes szennyezőanyagok napi / órás alakulásáról. A mérési periódusra vonatkozó átlagértéket szolgáltat. [31]

### **8.3. A mintavétel technikája**

#### **8.3.1. A helyszín kiválasztása**

Az állomást a mérés céljának megfelelően, reprezentatív helyen kell telepíteni úgy, hogy az állomás levegő-mintavevő beszívó nyílásait és a meteorológiai árbócot a környezeti tárgyak (épületek, fák, stb.) ne zavarják, helyükről a szabad égbolt legalább 45° szög alatt látható legyen. Városok levegőjének ellenőrzésére telepített mérőállomásokon a mintavételi 3-5 m magasságban történik. A mintavétel helyszínénél a jó átszellőzésű, közvetlen szennyező forrástól mentes (legalább 20-25 m távolság), jól megközelíthető, hálózati áram, telefonkapcsolat csatlakozási lehetőséggel felszerelt, vagyonvédelmi és területhasználati szempontból rendezett terület a megfelelő.

### **8.3.2. Környezetvédelmi Mobil Mérőlaboratórium telepítése**

A mérőbusz telepítése a kitalpalással (busz stabilizálása) kezdődik. Ezt követi az elektromos hálói csatlakoztatás, majd a meteorológia szenzorok telepítése. A szenzorokat a konténer tetején kinyúló árbócra kell telepíteni.

A Vaisala kombinált meteorológia szenzor kerül az árbóc csúcsára, majd a sugárzásmérő szenzorok a Vaisala szenzoron feltüntetett északi iránnyal ellentétesen. Csatlakoztatni kell a szenzorok kábeleit a megfelelő helyre.

A pormonitor mérőfejének telepítése során a mintavevő cső adat és fűtésvezérlő kábeleit, és magát a mintavevő csövet is át kell vezetni a konténer oldalán, majd fel kell helyezni a pormintavevő fejet a mintavevő cső tetejére, és csatlakoztatni kell a kábeleket.

A műszertér falába épített ventilátor csonkhoz csatlakoztatni kell mérőműszereket ellátó gázmintavevő csövet a ventilátor tápkábelét és a mérőrendszer alján található kondenzációs tartály fűtését.

Egymás után el kell végezni a műszerek, majd a számítógép bekapcsolását. A BTEX mérőműszer bekapcsolását megelőzően meg kell nyitni a N<sub>2</sub> vivőgázt tartalmazó palackot és be kell állítani a szükséges áramlási illetve nyomás (max. 1,5 bar) értékeket.

A műszertér klimatizált, 20-22 °C közötti állandó érték biztosított. A beépített hőszabályzók a műszerek minimális és maximális üzemi hőmérséklete között biztosítanak áramot a berendezéseknek.

A mérőeszközök melegedése 4-6 órát vesz igénybe. A számítógép elindítása után futtatni kell az Envidas Ultimate View adatgyűjtő programo a mérési eredmények nyomkövetésére.

A gázelemző műszerek üzemkész állapotának elérése után pontosságellenőrzést kell végezni tanúsított gázokkal: nullpont beállítás, a kalibráló gáz (span gáz) ellenőrzése, illetve szükség esetén a készülék kalibráló gáz koncentrációjának megfelelő beállítása.

A pontosságellenőrzést azokban a méréstartományokban kell elvégezni, amelyekben várhatóan a mérés is történik.

A nullpont és a kalibráló gáz koncentrációjához történt beállítást követően a mérés megkezdhető.

A mintavétel magában foglalja a gázminta leszívását, zavaró anyagok eltávolítását, és a mintavevő rendszerben a változatlan gázkoncentráció fenntartását a megfelelő műszerekben való elemzésig.

A mérőbusz alkalmas alkalomszerűen végzett folyamatos mintavételre és elemzésre. A mérőbusz mintavevő rendszere két mintavevő vezetéken keresztül szívja be a mérendő környezeti levegőt. Egyik mintabeszívó cső a szilárd szennyezők mintavételére, másik a gáznemű szennyezők közös mintavételére szolgál.

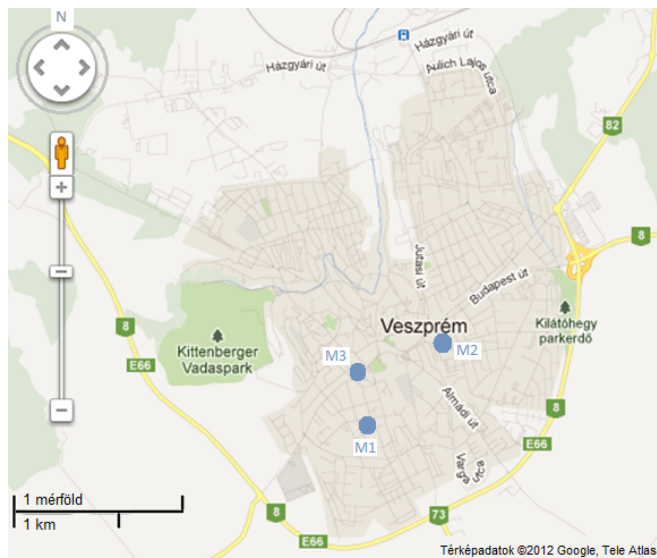
A mintabeszívó csőtől a gázelemző készülékek bemenetén található finom teflon szűrőn keresztül jut a mérendő gáz a készülékbe. Szintén az elemző készülék bemenetére csatlakoznak a nullázáshoz és a kalibráláshoz szükséges egységek.

A 24 óránál tovább tartó mérésnél, újból el kell végezni a pontosság és nullpont beállítását. A mérési eredmények az Envidas Ultimate Reporter programmal tölthetők le excel formátumban a további feldolgozáshoz.

### **8.3.3. A mérési helyszínek, mérőpontok jellemzése**

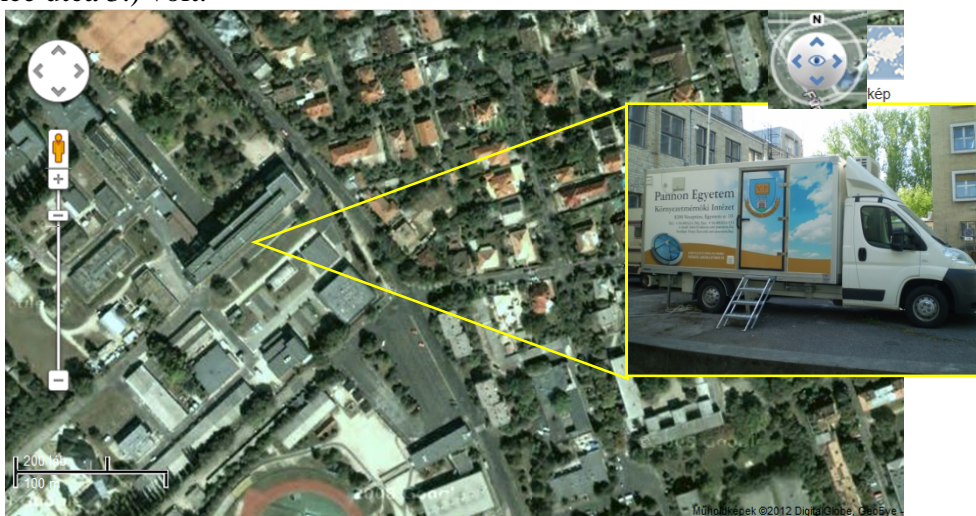
A mérőpontok kijelölésének szempontjait a vizsgálat célja határozza meg. Az esettanulmány célja Veszprém város levegőminőségének jellemzése a közlekedésből származó kibocsátások miatt különböző mértékben terhelt helyszíneken. A fentieknek megfelelően egy kevésbé

forgalmas oktatási (M1), egy forgalmas útkereszteződés (M2) és közlekedési terheléstől mentes terület (M3), került kiválasztásra mérési helyként.



39. ábra A mérési helyszínek

Az M1 mérési helyszín egy kevésbé forgalmas helyen a Pannon Egyetem Felső Campusánál (Wartha Vince utca 3.) volt.



40. ábra Az M1 mérési helyszín – Pannon Egyetem felsőkampusz

A területen az Egyetem épületei és sportlétesítmények találhatóak Nyugati irányban, a Wartha Vince utca és családi házas, kertvárosi lakóterület Keletre, Északi irányban pár száz méterre a valamivel forgalmasabb József Attila utca. A Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézetének mérőbusza a 2012.03.14-03.21 közötti időszakban az N és az O épületek között, egy raktárhoz közeli területen, a Wartha Vince utcától 20–25 méterre végzett mérést.

A terület jól megközelíthető, megfelelően védett és az energia ellátás is biztosított volt. A raktártól való távolsága 5 m volt az N épülettől pedig 20 m-re helyezkedett el. Az előbbi létesítmény magassága kb. 6 m az utóbbié kb. 20 m.

A mérési pont kis mértékben fásított helyszín, amely Dél-Nyugat és Észak-Kelet irányból nyitott. A mérés időpontjában a vegetációs időszak még nem kezdődött el, a természetes növényzet a mérést nem befolyásolta.

A mintavételi pontot a földtől 3 méteres magasságban helyezték el. A mérési pont közvetlen közelében a levegő szabad áramlása biztosított volt. A mérőbusz berendezéseinek stabil

működéséhez szükséges állandó hőmérsékletéről termosztát vezérlésű hűtő-fűtő klíma gondoskodott.

**Az M2 mérési helyszín** Veszprém egyik legforgalmasabb közlekedési csomópontja, a Budapesti út – Bruszniai Árpád út – Jutasi út – Ady Endre utca közlekedési csomópont közelében helyezkedett el.

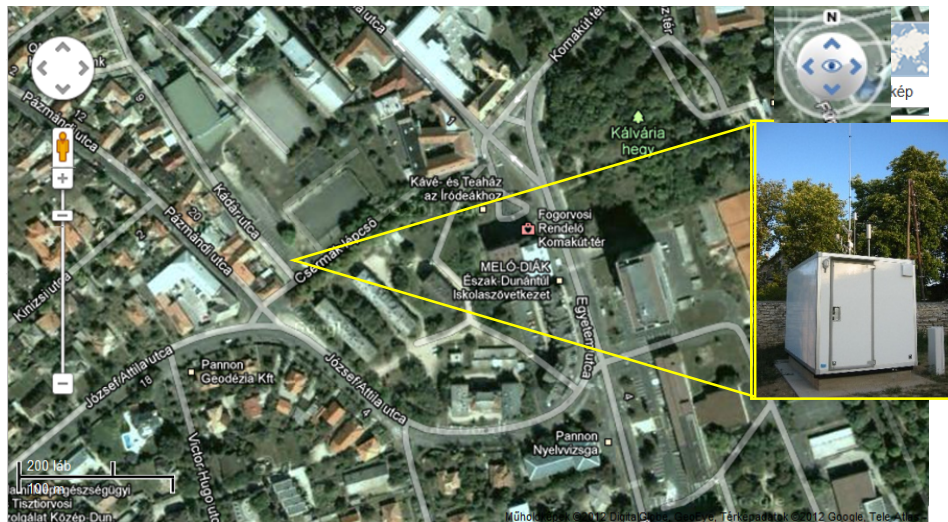


41. ábra Az M2 mérési helyszín – Kossuth Lajos Általános Iskola

A terület jellemzően közlekedési csomópont, belvárosi jellegű kereskedelmi- és szolgáltató terület. A mérési ponttól Északra a Városi Piac, és a buszpályaudvar, Nyugatra a közlekedési csomópont, Keleti és Déli irányban lakóövezet helyezkedik el. A mérés idején a közlekedési csomópontban körforgalom kialakítása, a jelzőlámpás forgalomirányítás átalakítása zajlott. A munkálatok a gépjárművek feltorlódásával jártak csúcsforgalmon kívüli időpontban is. Az építési munkálatok jelentős portterhelést jelentettek a környékre nézve.

A Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézetének mérőbusza a 2012.03.26-04.02 közötti időszakban a Kossuth Lajos Általános Iskola (Budapest út 11.) udvarán végzett mérést az úttesttől kb. 25 méterre. Az első helyszínhez hasonlóan itt is fontos volt a busz megfelelő megközelíthetősége, védettsége és áramellátása. A mérőbusz az iskola épületétől 15-20 m-re helyezkedett el. A mérési helyszín közvetlen környezetében fák helyezkedtek el, de ezek az imissziós mérési követelményeket nem befolyásolták.

**Az M3 mérési helyszín** a Közép-dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség által üzemeltetett mérőkonténer (Kádár utca – Csermák lépcső sarok).



42. ábra Az M3 mérési helyszín – OLM mérőkonténer

A város levegőjének ellenőrzésére telepített mérőállomáson a mintavételi (minta-beszívási) magasság 3-5 m közötti. Az állomás levegő- mintavevő beszívó nyílásait és a meteorológiai árbocot a környezeti tárgyak (épületek, fák,) nem zavarják, helyükről a szabad égbolt legalább 45° szög alatt látható minden irányban. Az állomás jó átszellőzésű helyen helyezkedik el, közelében nincs közvetlen szennyező forrás.

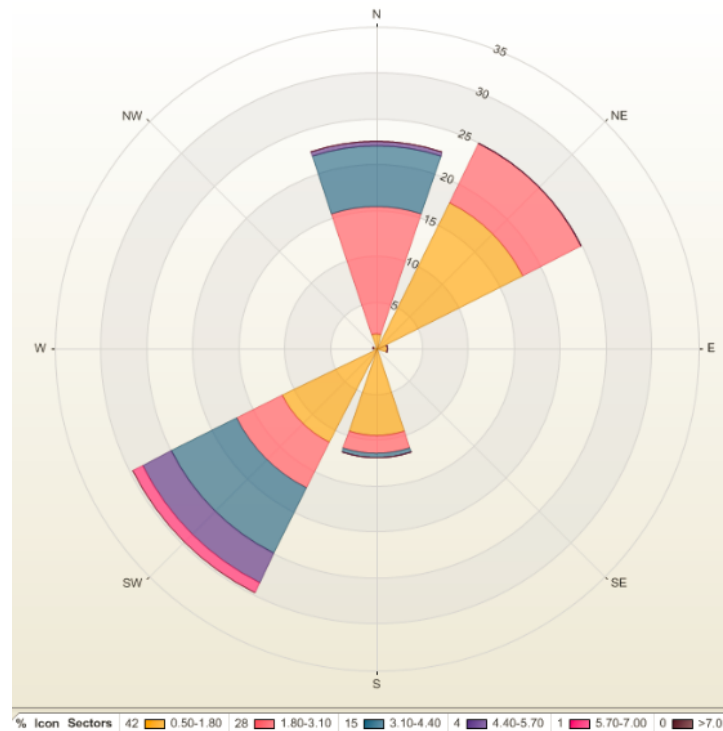
## 8.4. Veszprém és térsége levegőminőségi adatainak vizsgálata és értékelése

### 8.4.1. Meteorológiai adatok

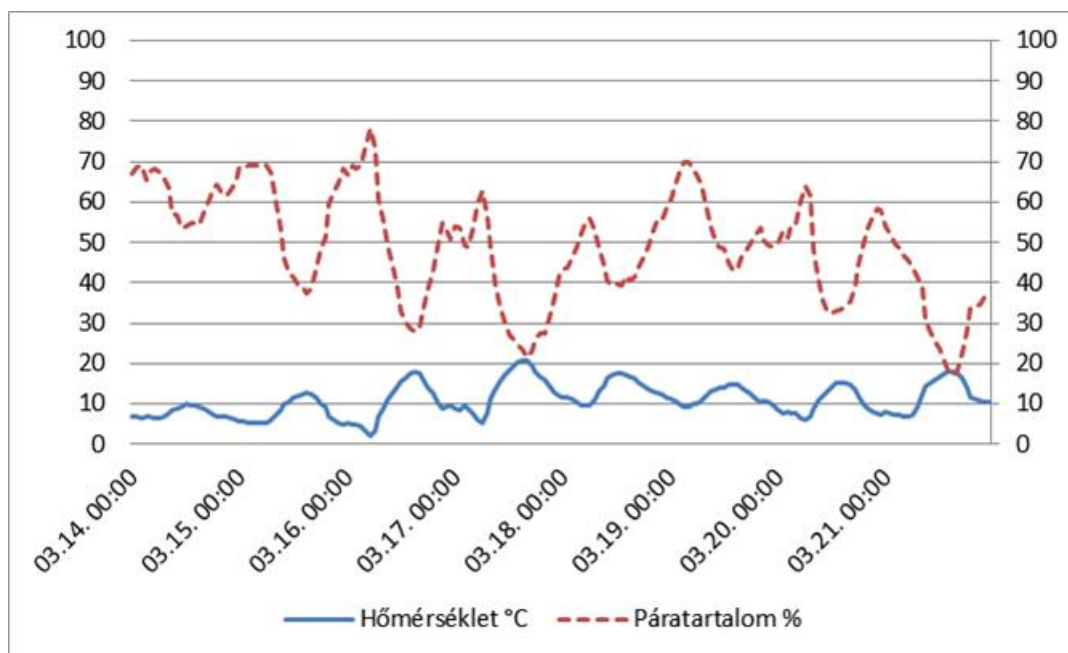
A szennyezettség terjedését és alakulását befolyásolja a szél iránya és erőssége, a levegő függőleges és vízszintes mozgási paraméterei, a turbulens és lamináris áramlások, a diffúzió, a hőmérséklet, a vertikális hőmérsékleteloszlás és a levegő páratartalma. A mérőpontokon kapott eredmények a mérés során jellemző szélirányból érkező légtömegek paramétereit írják le.

Az M1 mérési ponton jellemző szélirány – szélesség adatokat, valamint a páratartalom és hőmérséklet alakulását a **43.** és **44. ábrák** mutatják. Jól látható, hogy a 03.14 – 03.21 közötti időszakban a Pannon Egyetem Felső Campusánál 0,5-4,4 m/s szélesség volt a jellemző változó szélirány mellett. A hőmérséklet 0 – 20°C között ingadozott; a napszakok változása kirajzolódik mind a hőmérsékleti, mind a páratartalom görbében.



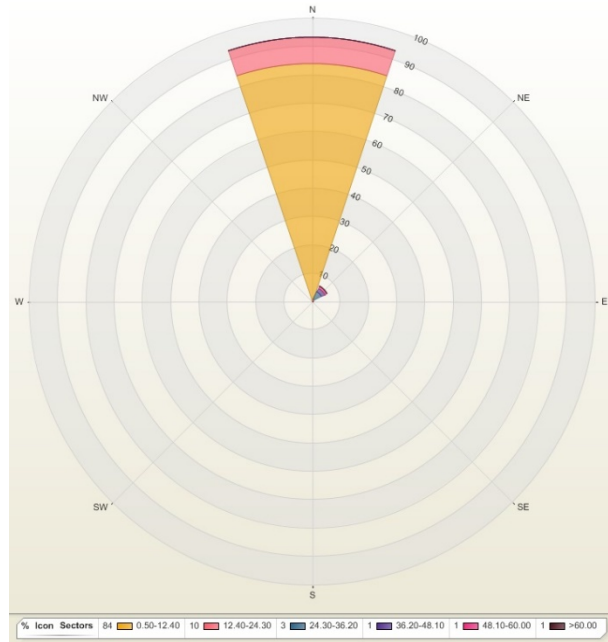


43. ábra Az M1 mérési helyszín mérési időszakra vonatkozó szélirány és szélesség adatai (m/s)

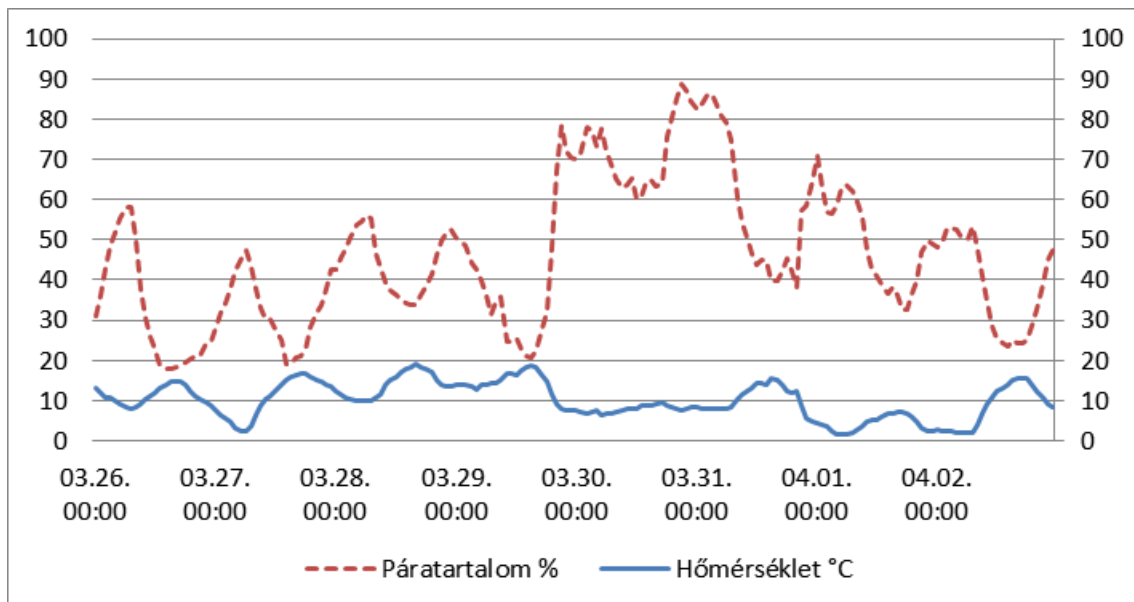


44. ábra Az M1 mérési helyszín mérési időszakra vonatkozó hőmérséklet-páratartalom diagramja

Az M2 mérési ponton a szélirány – szélesség adatok alapján az uralkodó szélirány Északi, a szélesség 0,5-12,5 m/s volt a vizsgált 03.26 – 04.02 közötti időszakban. A hőmérséklet, hasonlóan az M1 mérési ponthoz 0 – 20°C között ingadozott, a hét második felében kevés (3,6 mm) csapadék is hullott.



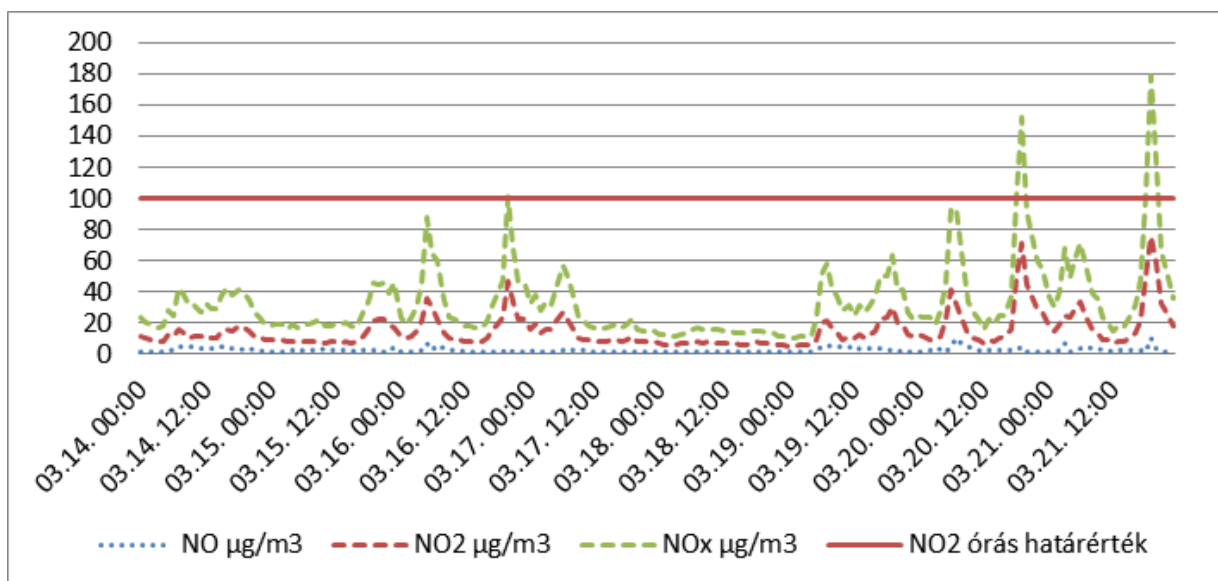
45. ábra Az M2 mérési helyszín mérési időszakra vonatkozó szélirány és szélesség adatai (m/s)



46. ábra Az M2 mérési helyszín mérési időszakra vonatkozó hőmérséklet-páratartalom diagramja

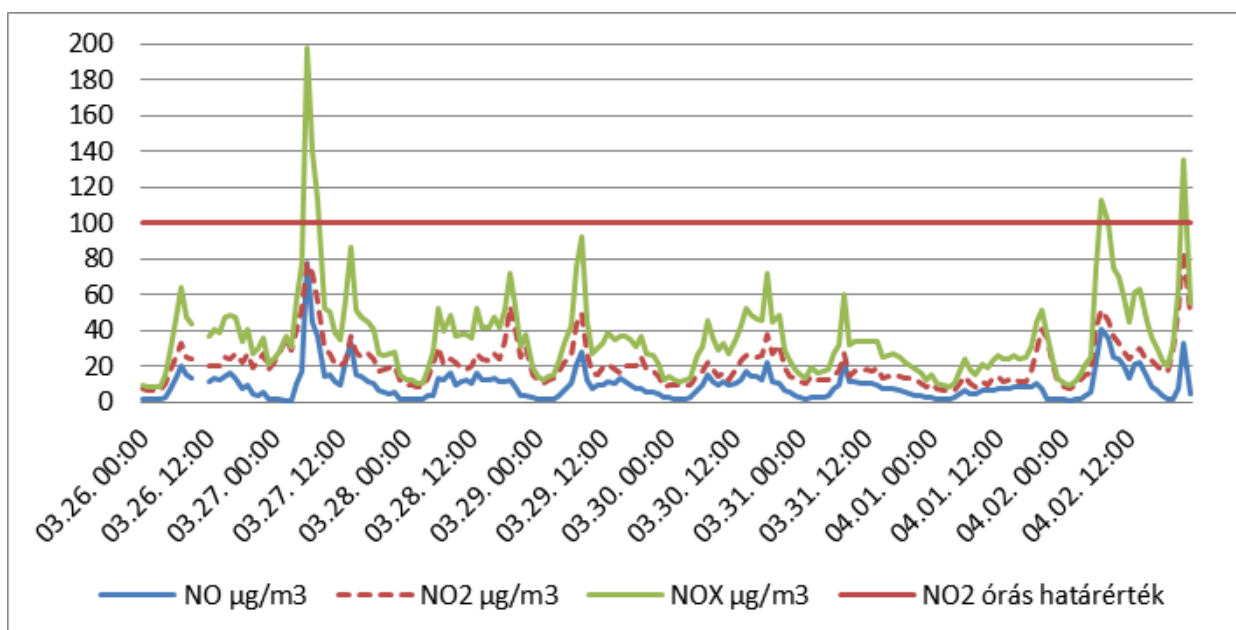
### 8.4.2. Nitrogén-oxidok koncentrációja

Az M1 mérési ponton mért NO, NO<sub>2</sub> és NO<sub>x</sub> koncentrációk óras átlagértékeit mutatja a 47. ábra.



47. ábra NO-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub> koncentrációk mérési időszakra vonatkozó óras átlagértékei az M1 ponton [µg/m<sup>3</sup>]

Jól látható, hogy a mérési időszakban a NO<sub>2</sub> egyszer sem lépte át a 4/2011 (I.14.) VM rendelet 1. mellékletében meghatározott 100 µg/m<sup>3</sup> egészségügyi határértéket. Megfigyelhető az összefüggés a napi ingadozás és a gépjárműforgalom feltételezett csúcsidezőszakai (reggeli és délutáni időszakok) között. A külső hőmérséklet változása szintén befolyásolta a NO<sub>x</sub> koncentrációértékek alakulását, a feltételezhetően családi házak egyedi fűtésből származó többletkibocsátást: hideg éjszakákon növekedett, felmelegedés hatására (20 °C 18-a körül) csökkent.



48. ábra NO-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub> koncentrációk mérési időszakra vonatkozó óras átlagértékei az M2 ponton [µg/m<sup>3</sup>]

Az M2 mérési ponton a hőmérséklet M1 mérési ponthoz hasonló alakulása ellenére a fűtésből származó NO, NO<sub>2</sub> és NO<sub>x</sub> szennyezés helyett sokkal inkább érvényesül a gépjármű-forgalom hatása. Az éjszakai órákban csökkenés, míg a nappali időszakban határozott emelkedés figyelhető meg. A belváros forgalma jelentősen növekszik keddi és pénteki napokon (Városi Piac hatása), és ez a légszennyező anyag kibocsátásban is megmutatkozik 03.27-én, illetve 03.30-án egy kisebb csúcsban. A hétfői nap (04.02), mint a hét első munkanapja is nagyobb terheltséget mutat. Lényeges eltérés még a NO mennyiségének emelkedése az M1 mérési ponthoz képest.

Egészségügyi határérték a nitrogén-dioxidra létezik:

Légszennyező anyag	Órás határérték (µg/m <sup>3</sup> )	24 órás határérték (µg/m <sup>3</sup> )	Éves határérték (µg/m <sup>3</sup> )	Veszélyességi fokozat
Nitrogén-dioxid	100 (a naptári év alatt 18-nál többször nem léphető túl)	85	40	II.

Az M1-M2-M3 mérőpontok mérési adatainak összehasonlítását tartalmazza a **13. táblázat**. A légszennyező anyagra vonatkozó órás és 24 órás határérték szerinti minősítést az OLM légszennyezettségi index táblázata alapján végeztem (**2. melléklet**)

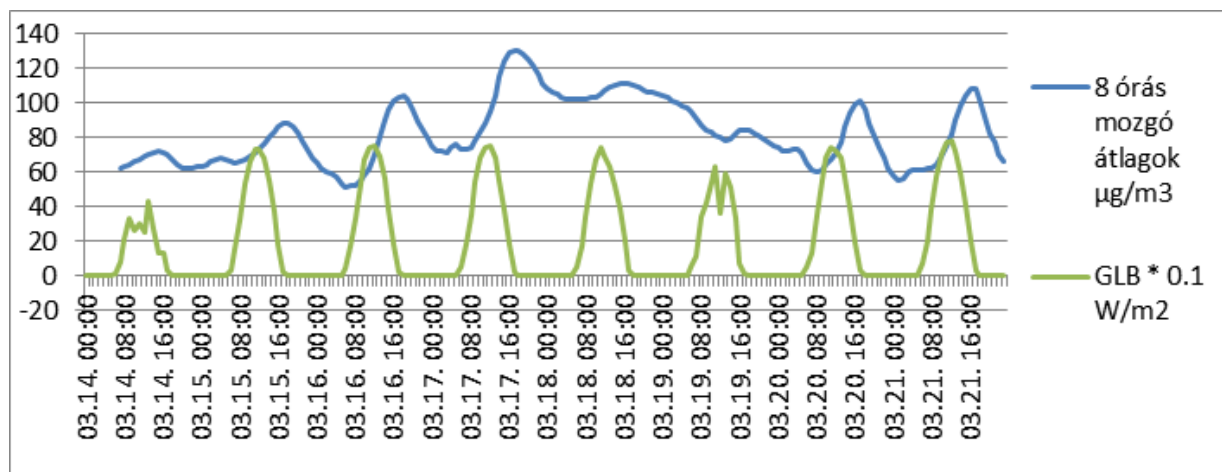
**13. táblázat** A mérési időszakra vonatkozó NO<sub>2</sub> koncentrációk órás átlagértékeinek maximumai és 24 órás átlagai [µg/m<sup>3</sup>]

M1 mérési pont NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			M2 mérési pont NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			M2 mérési pont NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		
Dátum	Órás koncentráció értékek maximuma	24 órás átlagkoncentráció	Dátum	Órás koncentráció értékek maximuma	24 órás átlagkoncentráció	Dátum	Órás koncentráció értékek maximuma	24 órás átlagkoncentráció
03.14	17,4	12,1	03.26	32,6	19,9	03.26	29,4	6,1
03.15	22,8	11,1	03.27	77,6	31,8	03.27	63,8	25,9
03.16	47,3	17,6	03.28	53,5	23,2	03.28	51,5	17,7
03.17	27,2	12,3	03.29	49,6	20,3	03.29	27,6	16,7
03.18	8,1	6,7	03.30	38,3	19,0	03.30	27,0	18,0
03.19	29,7	13,6	03.31	27,2	14,8	03.31	23,6	16,6
04.20	71,1	21,9	04.01	40,6	14,4	04.01	51,6	13,3
04.21	75,3	23,6	04.02	84,9	29,3	04.02	95,3	28,9

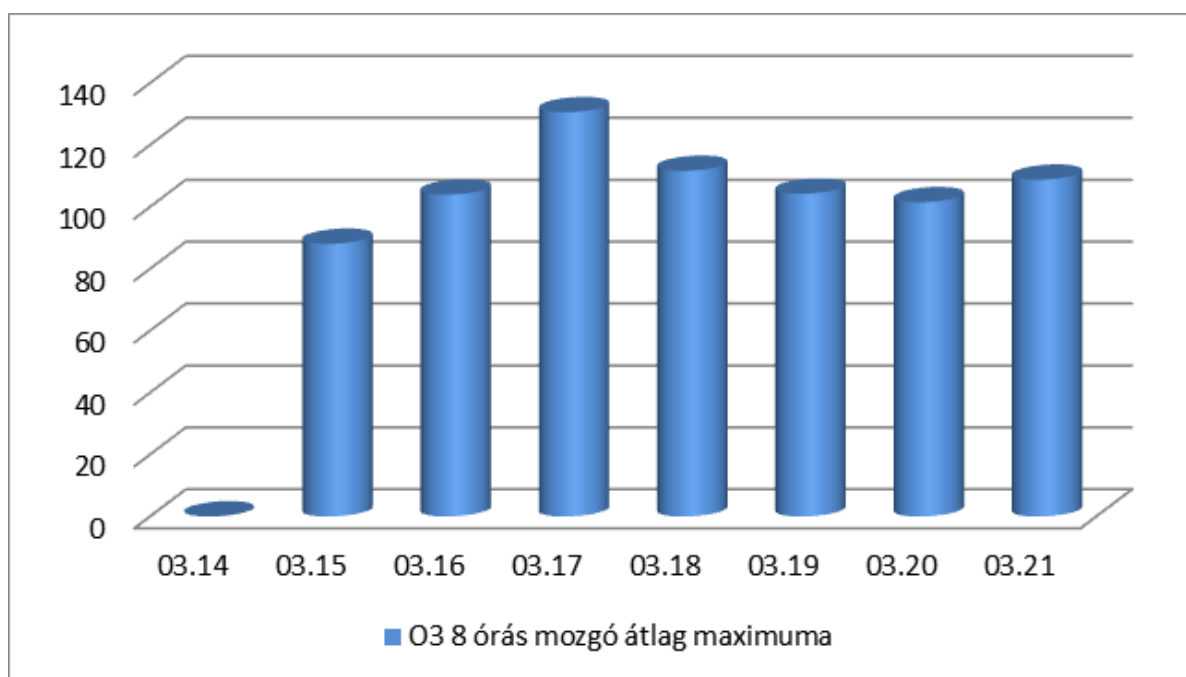
A levegő minősége NO<sub>2</sub> vonatkozásában a fentiek alapján mindhárom helyszínen kiválónak mondható, egy-két mérési naptól eltekintve, amikor jó, vagy elfogadható értéket kaptunk. Határérték túllépés a mérési időszakban nem történt.

### 8.4.3. Ózon koncentráció

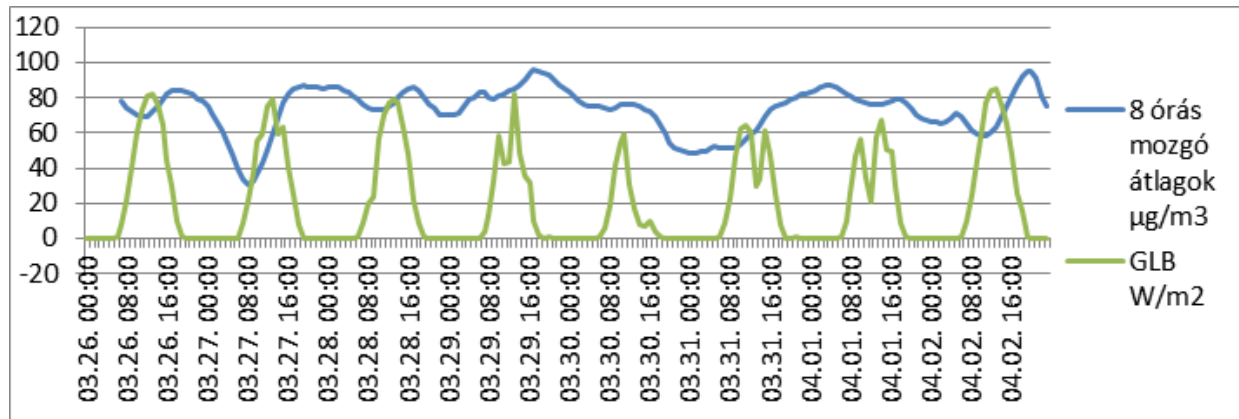
A **49.** és **51. ábra** az M1 és M2 mérési ponton mért  $O_3$  koncentrációk óras mozgó átlagát mutatja a napsugárzás tükrében. Az ábrák jól szemléltetik a globális napsugárzás változásának hatását a földközeli ózon mennyiségére. Az **50. ábra** és **52. ábra** az M1 és M2 mérési ponton mért  $O_3$  koncentrációk óras mozgó átlagának maximumát mutatják. Ez alapján történhet a levegőtisztaságvédelmi határértékkel történő megfeleltetés.



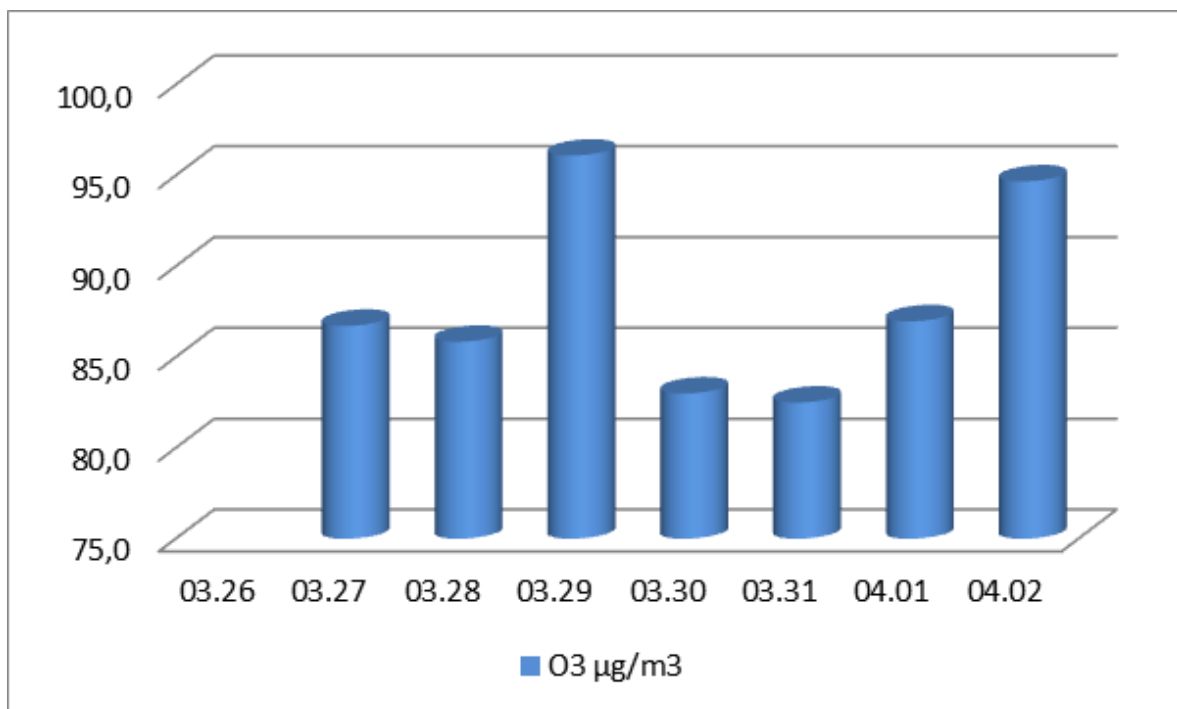
49. ábra  $O_3$  koncentráció mérési időszakra vonatkozó óras mozgó átlaga az M1 ponton a napsugárzás tükrében [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]



50. ábra  $O_3$  koncentráció mérési időszakra vonatkozó óras mozgó átlag maximuma az M1 ponton a napsugárzás tükrében [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]



51. ábra O<sub>3</sub> koncentráció mérési időszakra vonatkozó órás mozgó átlaga az M2 ponton a napsugárzás tükrében [µg/m<sup>3</sup>]



52. ábra O<sub>3</sub> koncentráció mérési időszakra vonatkozó órás mozgó átlag maximuma az M1 ponton a napsugárzás tükrében [µg/m<sup>3</sup>]

A 8 órás mozgó átlagok maximuma 03.14. és 03.26. napokon nem volt meghatározható, tekintettel arra, hogy nem volt meg a "szükséges érvényes adathányad" (6/2011. Korm. Rendelet), azaz a 8 órás mozgóátlagok minimum 75%-a (naponta 18 darab 8 órás átlag).

Az ózonnra vonatkozó egészségügyi határérték a 8 órás mozgó átlagok maximumával jellemzett érték:

Légszennyező anyag	Órás határérték (µg/m <sup>3</sup> )	24 órás határérték (µg/m <sup>3</sup> )	Éves határérték (µg/m <sup>3</sup> )	Veszélyességi fokozat
Ózon	-	120 (napi 8 órás mozgó átlag-koncentrációk maximuma)	-	I.

A mérőpontok mérési adatainak összehasonlítását és légszennyezettségi index szerinti minősítését tartalmazza a **14. táblázat**.

A levegő minősége O<sub>3</sub> vonatkozásában a fentiek alapján mindegyik helyszínen jónak, illetve megfelelőnek mondható, az M1 mérőpont 03.17. mérési naptól eltekintve, amikor a levegő szennyezett volt és határérték túllépés is történt.

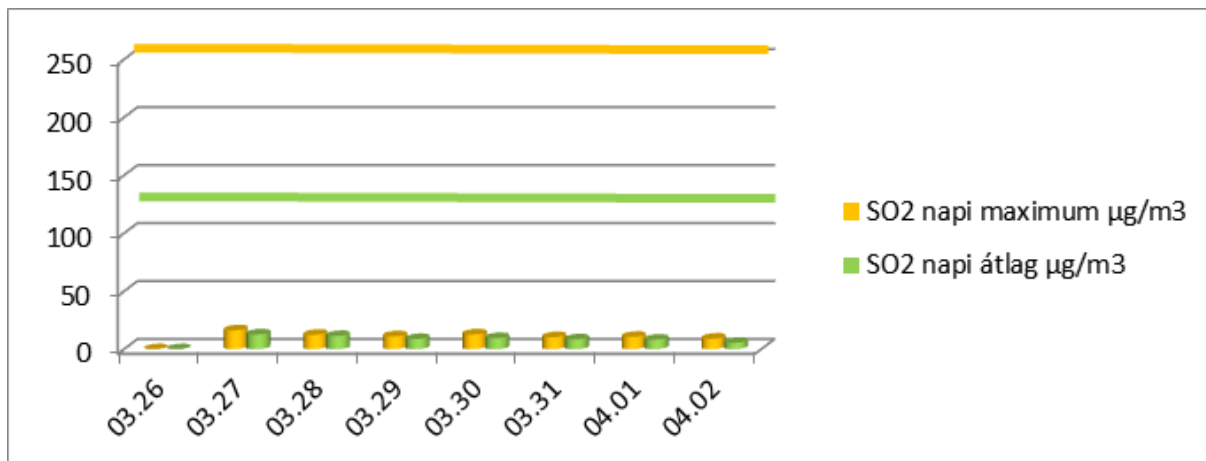
**14. táblázat** A mérési időszakra vonatkozó O<sub>3</sub> koncentrációk napi 8 órás mozgó átlagkoncentrációk maximuma [µg/m<sup>3</sup>]

8 órás mozgó átlagkoncentrációk maximuma			8 órás mozgó átlagkoncentrációk maximuma		
Dátum	M1 mérési pont O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	M3 mérési pont O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Dátum	M2 mérési pont O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	M3 mérési pont O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
03.14	nincs elegendő adat*	50,62	03.26	nincs elegendő adat*	67,63
03.15	88,1	53,59	03.27	86,7	54,72
03.16	104,0	48,92	03.28	85,9	66,03
03.17	130,6	71,71	03.29	96,1	74
03.18	111,6	83,31	03.30	83,0	55,15
03.19	104,3	65,1	03.31	82,5	55,97
04.20	101,5	49,2	04.01	87,0	60,18
04.21	108,8	44,14	04.02	94,7	55,52

\* A 8 órás mozgó átlagok maximuma nem meghatározható, nem volt meg a 8 órás mozgóátlagok minimum 75%-a (naponta 18 darab 8 órás átlag)

#### 8.4.4. Kén-dioxid koncentráció

Az M1 mérési ponton a mérőrendszer adattovábbítási problémái miatt az adatok nem értékelhetőek. Az M2 mérési ponton mért SO<sub>2</sub> koncentrációk óras maximum értékeit és napi átlagát mutatja az **53. ábra**. Jól látható, hogy a mérési időszakban a szennyező anyag mennyisége jelentősen alatta marad a 4/2011 (I.14.) VM rendelet 1. mellékletében meghatározott határértékeknek. A légszennyezettségi index szerinti minősítést a **15. táblázat** tartalmazza.



53. ábra SO<sub>2</sub> koncentráció órás max. értékei és napi átlaga a mérési időszakban M2 ponton [µg/m<sup>3</sup>]

A kén-dioxidra vonatkozó egészségügyi határérték:

Légszennyező anyag	Órás határérték (µg/m <sup>3</sup> )	24 órás határérték (µg/m <sup>3</sup> )	Éves határérték (µg/m <sup>3</sup> )	Veszélyességi fokozat
Kén-dioxid	250 (a naptári év alatt 24-nél többször nem léphető túl)	125 (a naptári év alatt 3-nál többször nem léphető túl)	50	III.

15. táblázat A mérési időszakra vonatkozó SO<sub>2</sub> koncentrációk órás átlagértékeinek maximumai és 24 órás átlagai M2 és M3 mérőpontokon 03.26 – 04.02 közötti időszakban [µg/m<sup>3</sup>]

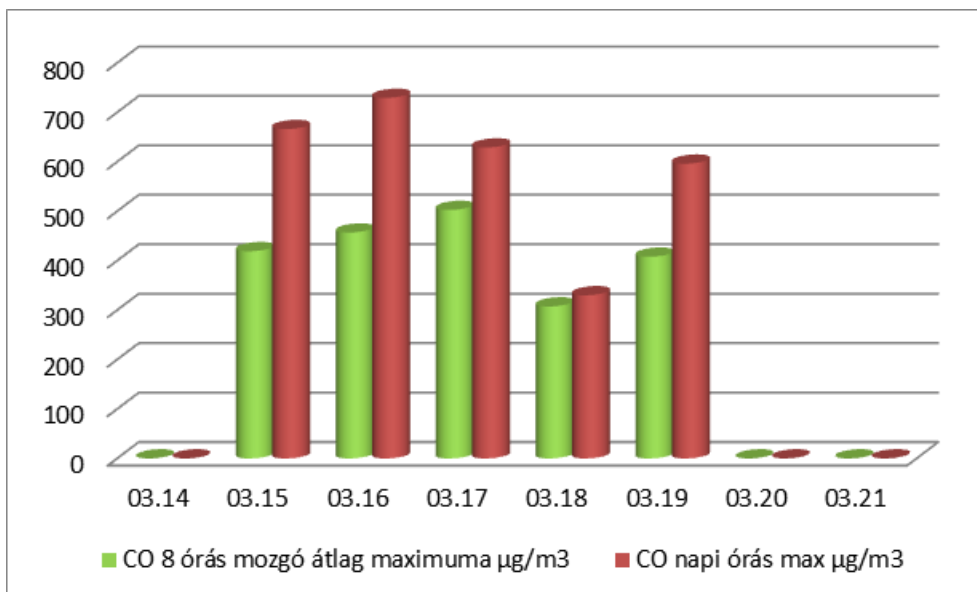
Dátum	M2 mérési pont SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		M3 mérési pont SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	
	Órás koncentráció-értékek maximuma	24 órás átlagkoncentráció	Órás koncentráció-értékek maximuma	24 órás átlagkoncentráció
03.26	-	-	10,9	8,03
03.27	16,3	12,8	13,1	9,77
03.28	12,5	11,5	9,3	7,37
03.29	11,2	8,8	8,6	7,3
03.30	12,8	9,6	7,7	6,18
03.31	10,4	8,5	7,5	6,85
04.01	10,7	8,3	7,7	6,42
04.02	9,1	5,6	7,2	6,24

Az M2 mérési ponton az első napon nem állt rendelkezésre elegendő adat az órás maximum, illetve a 24 órás átlag számításához. A levegő minősége SO<sub>2</sub> vonatkozásában a fentiek alapján az M2 és M3 mérőpontokon kiválónak mondható.

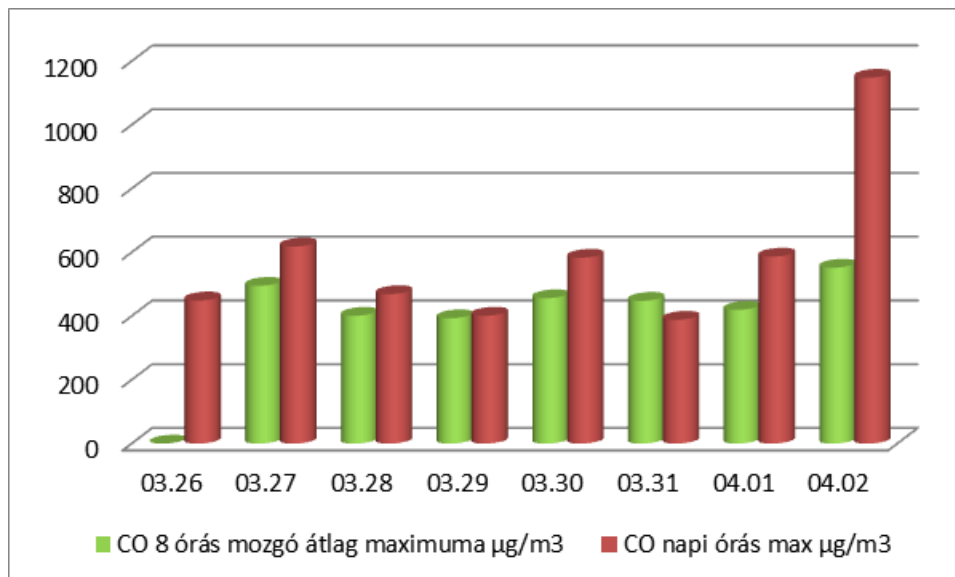


### 8.4.5. Szén-monoxid

Az M1 és M2 mérési ponton mért CO órás koncentrációértékének maximumát és 8 órás mozgó átlag maximumát mutatják az **54-55. ábra**.



54. ábra A mérési időszakra vonatkozó CO órás koncentrációértékének maximuma és 8 órás mozgó átlag maximuma az M1 ponton [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]



55. ábra A mérési időszakra vonatkozó CO órás koncentrációértékének maximuma és 8 órás mozgó átlag maximuma az M2 ponton [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Bár a mérési időszakban a CO lényegesen alatta marad a 4/2011 (I.14.) VM rendelet 1. mellékletében meghatározott határértéknek, a 03.14-én, 20-án, 21-én és 03.26-án mért koncentráció értékek az egészségügyi határértékhez nem hasonlíthatók, tekintettel arra, hogy az adott napra vonatkozóan nem volt meg a "szükséges érvényes adathányad" (6/2011. Korm.rendelet), azaz az 1 órás átlagértékek 75%-a (legalább napi 18 db).

Egészségügyi határérték szén-monoxidra:

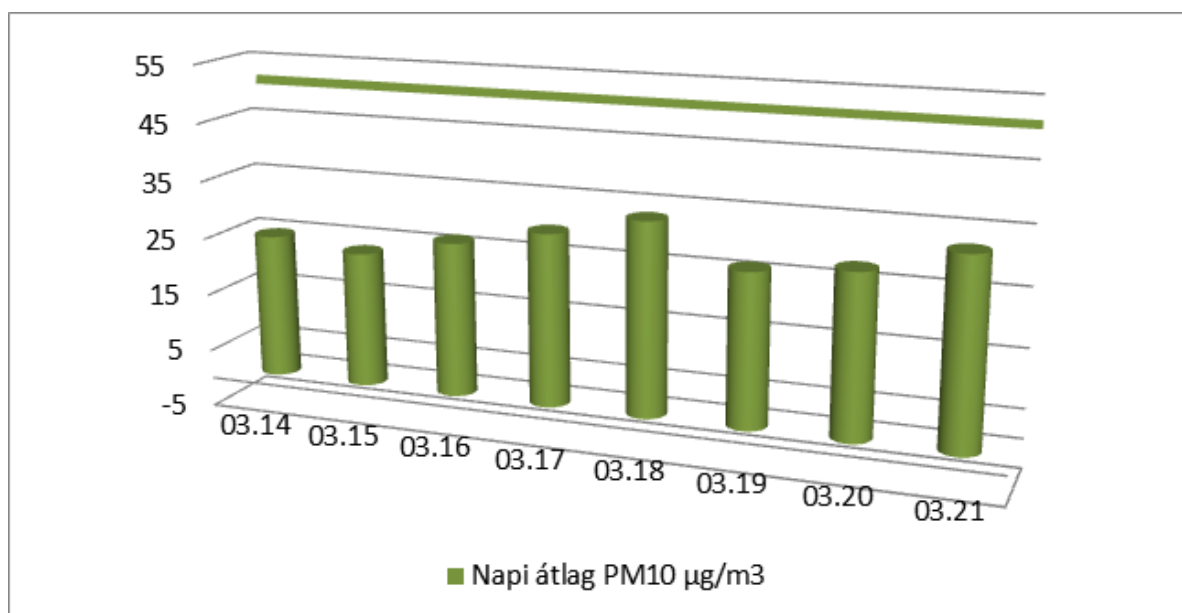
Légszennyező anyag	Órás határérték ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 órás határérték ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Éves határérték ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Veszélyességi fokozat
Szén-monoxid	10 000	5 000 (napi 8 órás mozgó átlag- koncentrációk maximuma)	3 000	II.

#### 8.4.6. Szálló por ( $\text{PM}_{10}$ ) koncentráció

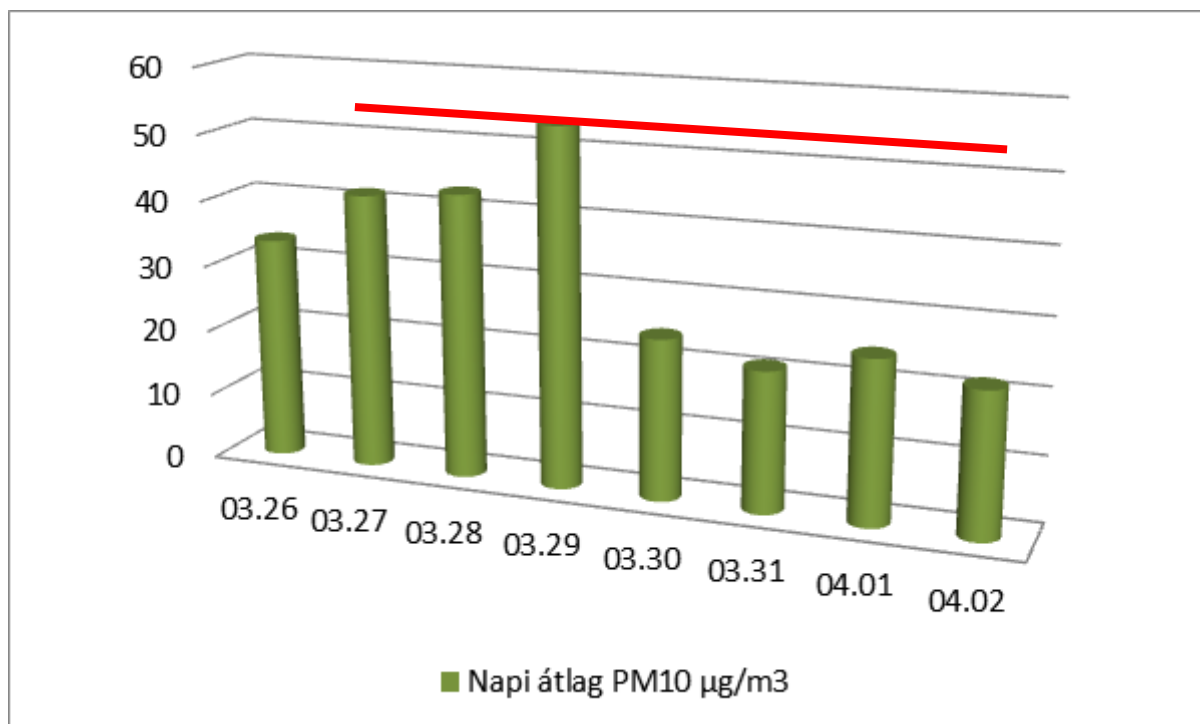
A szálló porra vonatkozó egészségügyi határértékek:

Légszennyező anyag	Órás határérték ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 órás határérték ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Éves határérték ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Veszélyességi fokozat
Szálló por ( $\text{PM}_{10}$ )	-	50 (a naptári év alatt 35- nél többször nem léphető túl)	40	III.
Szálló por ( $\text{PM}_{2.5}$ )	-	-	25*	-

A mérés során a szálló por  $\text{PM}_{10}$  frakció adatait gyűjtötték és ezt dolgoztam fel. Az M1 és M2 mérési ponton mért szálló por 24 órás átlagának alakulását mutatják az **56-57. ábra**.



56. ábra Szálló por ( $\text{PM}_{10}$ ) mérési időszakra vonatkozó 24 órás átlagai M1 ponton [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]



57. ábra Szálló por (PM10) mérési időszakra vonatkozó 24 órás átlagai M2 ponton [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

A két mérőpont mérési adatainak összehasonlítását és légszennyezettségi index szerinti minősítését tartalmazza a **16. táblázat**.

16. táblázat A Szálló por (PM10) koncentrációk mérési időszakra vonatkozó 24 órás átlagai [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Dátum	24 órás átlagkoncentráció		Dátum	24 órás átlagkoncentráció	
	M1 mérési pont szálló por ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M3 mérési pont szálló por ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		M2 mérési pont szálló por ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	M3 mérési pont szálló por ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
03.14	24,9	16,66	03.26	33,6	14,12
03.15	23,3	15,91	03.27	41,6	21,21
03.16	26,6	26,99	03.28	42,9	19,76
03.17	29,7	24,11	03.29	53,8	23,55
03.18	33,2	22,86	03.30	24,3	9,35
03.19	26,4	18,48	03.31	21,2	15,53
04.20	28,0	25,18	04.01	24,6	11,81
04.21	32,3	30,48	04.02	21,8	16,41

A levegő minősége szálló por  $\text{PM}_{10}$  vonatkozásában a fentiek alapján M1 helyszínen jónak, M2 helyszínen megfelelőnek mondható, az M2 mérőponton 03.29.én határérték túllépés történt. A háttérterhelést reprezentáló M3 ponttal összevetve elmondható, hogy az egyéb szennyező források hatása az M2 mérési ponton jelentkezett (gépjármű forgalom és építkezés).

### 8.4.7. Benzol

A BTEX szennyezők mérése a mobil mérőlaboratóriummal az M1 és M2 mérési pontban nem volt lehetséges a mérőműszerek műszaki meghibásodása miatt. Az M2 mérési pontban, a Kossuth Iskolánál diffúz mintavételi csöveket helyeztünk el, melynek mérési adatai a következők:

Mérés időtartama	2012.03.27. 09:00 - 2012.04.03. 11:00
Összes mintavételi idő (perc):	10200
A töltetből meghatározott tömeg:	0,4 µg
Átlaghőmérséklet a mérési időszak alatt:	283,3 K (10,3°C)
Jellemző időjárás:	napos, szélcsendes, minimális csapadék

A Q felvételi sebesség (sampling rate) az alábbi egyenletnek megfelelően függ a hőmérséklet változásától:

$$Q_K = Q_{298} \left( \frac{K}{298} \right)^{1,5}$$

ahol,  $Q_k$  a felvételi sebesség  
 $Q_{298}$  a felvételi sebesség a referencia 298 K-en (állandó)  
 $K$  a mérési időszakra vonatkozó átlaghőmérséklet (K)

A 25°C-os (298K) referencia értéktől való eltérés esetén 10°C-onként ±5%-os eltérés feltételezhető. A felvételi sebességre nincsen hatással a páratartalom változása 15-90% között, a szélesebbesség változása pedig 0,1-10 m/s között. A mérési időszakban a páratartalom a megadott tartományon belül volt, a szélesebbesség is viszonylag stabil értéket mutatott.

A felvételi sebesség  $Q_k = 74,15415$  ml/perc, ahol a  $Q_{298}$  benzol esetén 80 ml/perc [31], és  $K = 283,3$  K

A fentiek figyelembevételével a szennyező anyag koncentráció az alábbi képlettel számítható:

$$C \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \frac{m(\mu\text{g})}{Q_k \left( \frac{\text{ml}}{\text{perc}} \right) \times t(\text{perc})} \times 1000000 = \mathbf{0,53 \mu\text{g}/\text{m}^3}$$

ahol  $m = 0,4 \mu\text{g}$   
 $Q_k = 74,15415$  ml/perc  
 $t = 10200$  perc.

[31]

A benzolra vonatkozó egészségügyi határértékek:

Légszennyező anyag	Órás határérték (µg/m3)	24 órás határérték (µg/m3)	Éves határérték (µg/m3)	Veszélyességi fokozat
Benzol	-	10	5	I.

A passzív mintavétellel vett minta elemzése után látható, hogy az M2 mérési ponton a vizsgált időszakban a légkör benzol terheltsége alatta maradt a határértéknek.