

# 3 Induktív csatolású atom emissziós spektrometria (ICP-AES)

(Braun Mihály)

<b>3.1 Bevezetés .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 ICP (induktívan csatolt plazma) - spektrométer.....</b>	<b>35</b>
3.2.1 Plazmaégő (torch) .....	36
3.2.2 Mintabevivő rendszerek .....	37
3.2.3 Monokromátor.....	38
3.2.4 Polikromátor.....	38
<b>3.3 Spectroflame-ICP spektrométer felépítésének ismertetése.....</b>	<b>39</b>
3.3.1 A Spectroflame ICP-AES műszaki adatai.....	40
<b>3.4 A készülék üzembe helyezése .....</b>	<b>41</b>
3.4.1 Optikák beállítása.....	42
3.4.2 Kvalitatív analízis.....	43
3.4.3 Kvantitatív analízis.....	44
<b>3.5 Gyakorlati feladatok .....</b>	<b>45</b>
3.5.1 Csapvíz minta kvalitatív elemzése .....	45
3.5.2 Spektrális zavarás tanulmányozása .....	45
3.5.3 Kimutatási határ (DL) és háttérekvivalens koncentráció (BEC) megadása.....	45
3.5.4 Csapvíz minta elemösszetételének meghatározása .....	45

**Ellenőrző kérdések**

1. Induktívan csatolt plazma sugárforrás (ICP) fizikai és spektrokémiai jellemzőinek ismeretése, szerkezeti felépítése.
2. Mono- és polikromátorok felépítése és működése.
3. A színképvonal háttérkorrekció elve és gyakorlati megvalósításai.
4. Abszolút és relatív vonalintenzitások mérésének analitikai értelmezése és jelentősége.
5. Fotoelektronsokszorozók működési elve, a jelfeldolgozás fázisai a spektrometriában.
6. ICP emissziós spektrometria alkalmazási területei és teljesítőképessége (mintaigény, reprodukálhatóság, kimutatási határ, dinamikus tartomány).

**Irodalom**

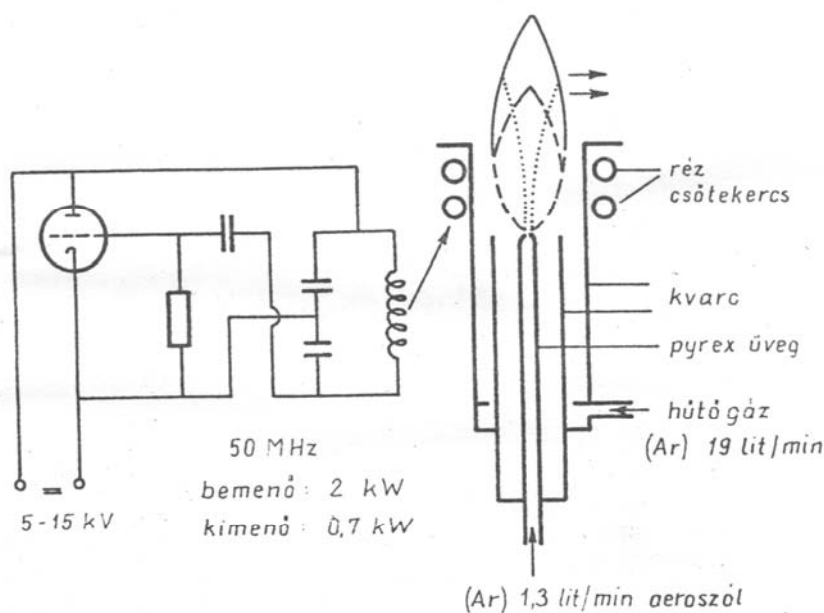
1. Monaster, A., Golightly, D.W.: Inductively Coupled Plasmas in Analytical Atomic Spectrometry, VHC Publishers Inc., 1987.
2. Pungor E.: Analitikai Kémia, BME jegyzet, Budapest, 1978.
3. Mika J., Török, T: Emissziós színképelemzés I., Akadémiai Kiadó, Budapest, 1968.
4. Papp L.: Műszeres analitikai kémiai előadások ábra és képletgyűjteménye, KLTE jegyzet, Debrecen, 1991.
5. Zimmer K.: XIX. Magyar Színképelemző Vándorgyűlés előadásai, Győr, 1976.

### 3.1 Bevezetés

Az induktív csatolású plazma atom emissziós spektrometria (ICP-AES) a legmodernebb műszeres analitikai módszerek közé tartozik. A gyorsaság, ill. a csekély zavaróhatás miatt az induktív csatolású plazma (ICP) sugárforrással működő spektrométerek ideális analitikai rendszerek kémiai elemek vizes és nemvizes oldatokból történő meghatározására. Az analitikai laboratóriumok egyre növekvő követelményekkel néznek szembe: növekvő mintaszám, csökkenő analízis idő, több elem meghatározása, kis kimutatási határok, költségek csökkentése stb. Az ICP-AES módszer jól automatizálható, az automata mintaváltós, számítógép vezérelt elemző rendszerek percenként képesek egy-egy oldatmintából (kb.  $2\text{ cm}^3$ ) 20-50 elemre minőségi és mennyiségi elemzést elvégezni. Kimutatási határa  $10^{-4} - 10^{-7}\%$  ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3 - \mu\text{g}/\text{dm}^3$ ), az egyetlen hitelesítő görbével átfogható dinamikus koncentráció tartomány 5-6 nagyságrend. Folyamatos mintabetáplálás mellett a sugárforrás emissziójából detektált jel relatív szórása néhány  $< 0,1\%$ . A készülékek beszerzési költsége magas (10-40 MFt), ezzel szemben áll nagy termelékenysége, napi 3 műszakban kb. 1000 minta vizsgálható 30-50 elemre. Így a műszer beszerzési költségének megtérülése gyors. Üzemeltetési költsége elsősorban az argon gáz felhasználásából adódik, mely 1-1,5  $\text{m}^3/\text{óra}$ .

### 3.2 ICP (induktívan csatolt plazma) - spektrométer

Az indukciósan csatolt nagyfrekvenciás plazmaégő rövid idő alatt nagy jelentőségre tett szert az emissziós szinképelemzésben. A készülék nagyfrekvenciás (20-50 MHz) generátorból, nagyfeszültségű (5-15 kV) egyenirányító egységből, víz- vagy léghűtésű triódából és egy rezgőkörből áll. A 2-3 menetből álló indukciós tekercs ezüstbevonattal ellátott rézcsőből készült. A tekercs tengelyében helyezkedik el a kvarccsővekből felépített égő, melynek külső átmérője 2-3 cm. A generátor bemenő teljesítménye 2 kW (ez megfelel egy kisebb TV-adó teljesítményének, a fényforrásban felszabaduló (kimenő) teljesítmény átlagosan 0,7 kW és szabályozható.



3.1 ábra Az indukciósan csatolt nagyfrekvenciás plazmaégő (ICP-égő) működési elve

A kisülés a nagyfrekvenciás erőter létesítése után úgy indul, hogy a kvarccső végére kisteljesítményű szikrakisülést (Tesla-szikra) irányítanak, mely az argont ionizálja. Az ionok és elektronok oszcillálása és ütközése 6-8000 K hőmérsékletet alakít ki az ábrán szaggatott vonallal jelölt kisülés kerülete mentén. A plazma belső része valamivel kisebb hőmérsékletű (pontosított rész), melybe a mintaoldat porlasztásával előállított aeroszolt juttatjuk. A folytonos vonallal jelölt plazmaköpenynek az ábrán nyilakkal jelölt részét használjuk fel az emissziós észleléshez, melynek 5-7000 K hőmérséklete kedvező a fématomok és néhány nemfém (S, P, As, Se, C) atomjainak, illetve egyszeres töltésű fémionok gerjesztéséhez.

A belső csövön felfelé áramló argongáz 1-2 mm átmérőjű alagutat „fűr” magának a plazmán át anélkül, hogy annak stabilitását megbontaná. Ennek az a jelentősége, hogy ez a gázáram aeroszol alakjában a plazmába juttatja a mintát. Az aeroszol viszonylag hosszú (kb. 1 ms) ideig tartózkodik az 5000 K hőmérsékletű alagútban, így igen nagy az atomizációs fok, különösen pedig az ionizációs fok.

A tanszékünkön található (SPECTROFLAME gyártmányú) ICP-spektrométernél a plazma fényét közvetlenül egy vákuum polikromátorba képezzük le, argon gáz öblítésű fényúton keresztül, hogy a rövid hullámhosszúságú (165-200 nm) színekvonalak levegőben történő elnyelődését megakadályozzuk. A plazma körül elhelyezett száloptikák vezetik a fényt további három egymástól független polikromátorba és egy monokromátorba. A monokromátor lehetővé teszi tetszőlegesen kiválasztott elemek színekvonalainak mérését, szélesebb (1-10 nm) spektrumtartományok vizsgálatát. A négy polikromátorban 25 elem csatornája foglal helyet, melyek szimultán mérhetők.

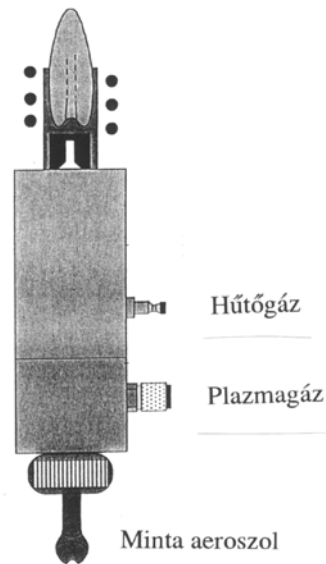
A fényjelet fotoelektronsokszorozó alakítja elektromos jellé, az adatok gyűjtését és feldolgozását számítógép vezérli.

ICP-vel kb. 70 elem határozható meg egyetlen mintából, főkomponensek és nyomszennyezők egyszerre is vizsgálhatók. A módszer pontossága igen jó, önabszorpció és más hasonló hibaforrás nem lép fel, így az analitikai görbe 4-6 koncentráció-nagyságrenden belül egyenes.

### 3.2.1 Plazmaégő (torch)

Az ICP-plazmaégő három koncentrikus kvarccsőből áll. A legkülső kvarccsövet a hűtőgáz védi a plazma hőhatásától, ugyanakkor meghatározza a plazma alakját, a segédgázzal együtt stabilizálja és kiemeli a plazmaégő fölé. A folyadékmintából porlasztással előállított aeroszol a középpontban elhelyezett csövön át lép be a plazmacsatornába. A plazmaégők méretezését és a gázok áramlási sebességeit úgy választották meg, hogy stabil plazma alakuljon ki és a plazmaégő ne károsodjon. Léteznek kvarcból elkészített ún. fix plazmaégők és több részből álló, többféle anyag (kvarc, kerámia, teflon) felhasználásával előállított szétszedhető plazmaégők is (3.2 ábra). Ez utóbbiak előnye, hogy a használat során megsérült részek könnyen cserélhetők. (A megolvadt külső kvarccső miatt használhatatlanná vált fix torch cseréje kb. 70 eFt. A szétszedhető plazmaégő esetében csak a kvarccsövet kell kicserélni, ami kb. 1000-1500 Ft.)

A plazmaégőt pontosan az indukciós tekercs középpontjában kell elhelyezni, és magasságát beállítani.

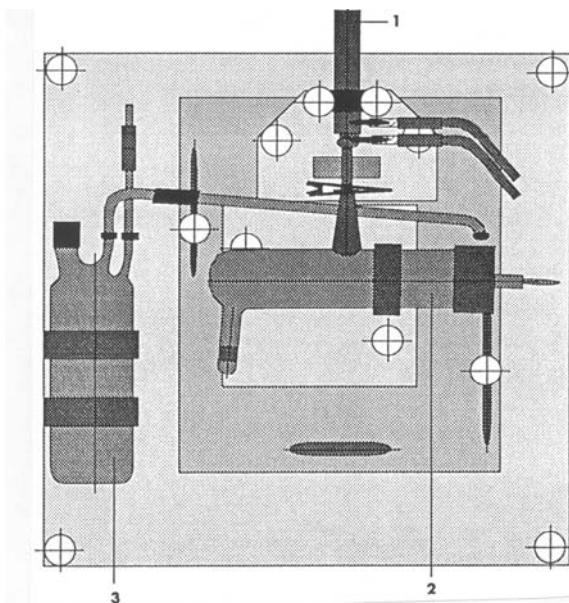


3.2 ábra Szétszedhető plazmaégő

### 3.2.2 Mintabevivő rendszerek

ICP-AES rendszereknél a legáltalánosabban elterjedt mintabeviteli mód az oldatporlasztás. A lángfotometriás és -atomabszorpciós módszerekhez kifejlesztett pneumatikus porlasztókat (koncentrikus, szögporlasztó stb.) csak módosítások után használhatták. Olyan porlasztókat kellett készíteni, melyek kis gázáramok mellett is jó hatásfokkal működnek. Az oldatot perisztaltikus pumpa szívja fel és továbbítja a porlasztóba.

A plazmaégőhöz alulról csatlakozik a porlasztókamra (3.3 ábra), ami a durva aeroszol leválasztását végzi. A levált aeroszol a túlfolyó szifonon át távozik.



3.3 ábra Mintabeviteli rendszer elrendezése.  
1. Plazmaégő, 2. Porlasztó és porlasztókamra, 3. Argon nedvesítő

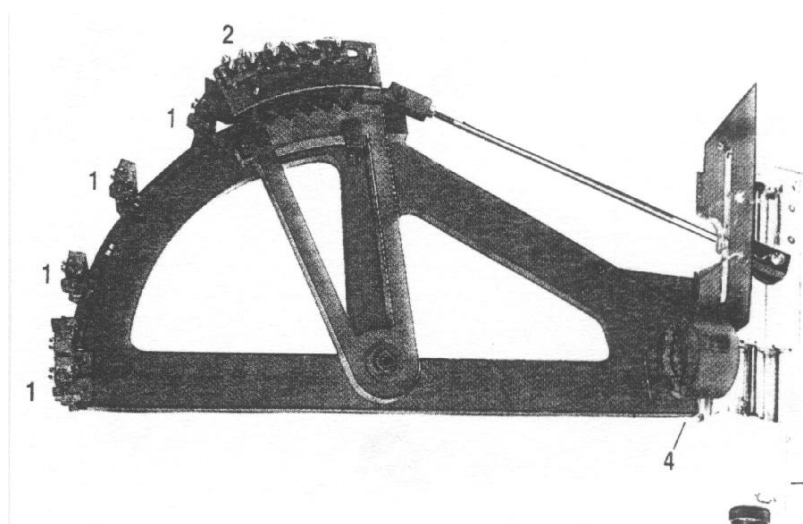
A mintabevivő argont előnedvesítik (3.3 ábra), hogy megakadályozzák a kristályok képződését a porlasztóban és a porlasztókamra falán. Az argonnedvesítő egységet nem használjuk

szerves oldószerek, ill. egyéb berendezések (pl. ultrahangos porlasztó, hidrid-rendszer stb.) esetén.

A pneumatikus porlasztók hatásfoka csekély (1-2%). Az új fejlesztések a mintabevitel hatásfokának növekedését eredményezték. Ha a pneumatikus porlasztás fűtött porlasztókamrába történik, a nagyobb cseppek összezsugorodnak, a hatásfok jelentősen növelhető. Jelentős hatásfoknövekedést (60-90%) értek el az ultrahangos porlasztó és a nagy nyomású porlasztó rendszerekkel. Ezeknél a mintabeviteli módszereknél a nagy mennyiségben képződő aeroszol víztartalmát el kell távolítani, különben a plazma kialszik. A deszolvatáló egység fűtött (200–300 °C) szakaszán az aeroszol víztartalma gőzzé alakul, majd a hűtött (-20 – + 5 °C) szakaszon lecsapódik. A plazmába száraz aeroszol jut.

### 3.2.3 Monokromátor

A monokromátort (3.4. ábra) úgy konstruálták, hogy egy adott hullámhosszúságú vonalra történő ráállás a lehető legkisebb mechanikai elmozdulással történjen. Ezt úgy oldották meg, hogy négy fix belépő és hat, léptetőmotorral mozgatható kilépőrést alkalmaztak. Az optikai rács fix helyzetű. Egy adott hullámhossz eléréséhez azt a belépő és kilépőres kombinációt alkalmazzák, amelynél a mechanikai elmozdulás a lehető legkisebb. Ezzel a megoldással biztosították a színekvonalak egymás utáni (szekvens) mérését 70-80 elemre.



3.4 ábra Monokromátor felépítése

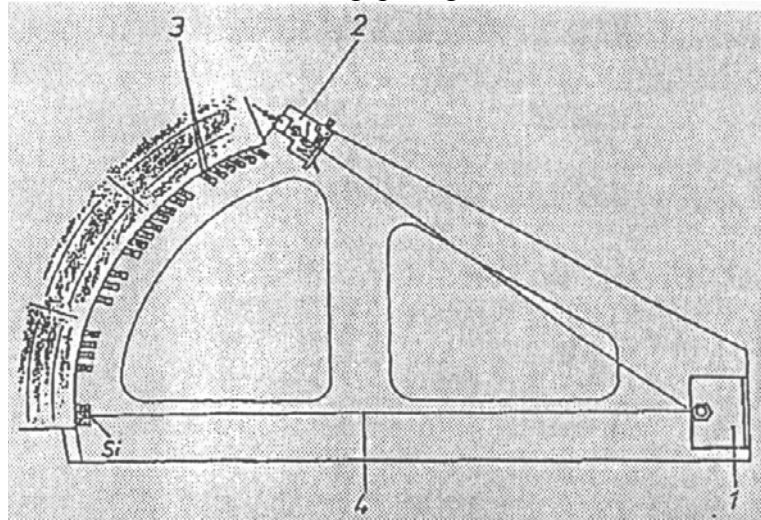
1: Belépőrések; 2: Kilépőrések; 3: Léptetőmotor; 4: Rács

### 3.2.4 Polikromátor

A polikromátor optikai sugármenetét a 3.5 ábra mutatja. A belépőres mögött helyezték el a háttérkorrekciós berendezést. A kilépőres a rács fókusz síkjában található. A vonalakat a kvarcrefraktor lemez segítségével pozicionálják a kilépő resre a készülék gyári beállítása során. A mérendő hullámhossznak megfelelően különböző típusú, érzékenységgű fotoelektron-sorozókat alkalmaznak a színekvonalintenzitások mérésére.

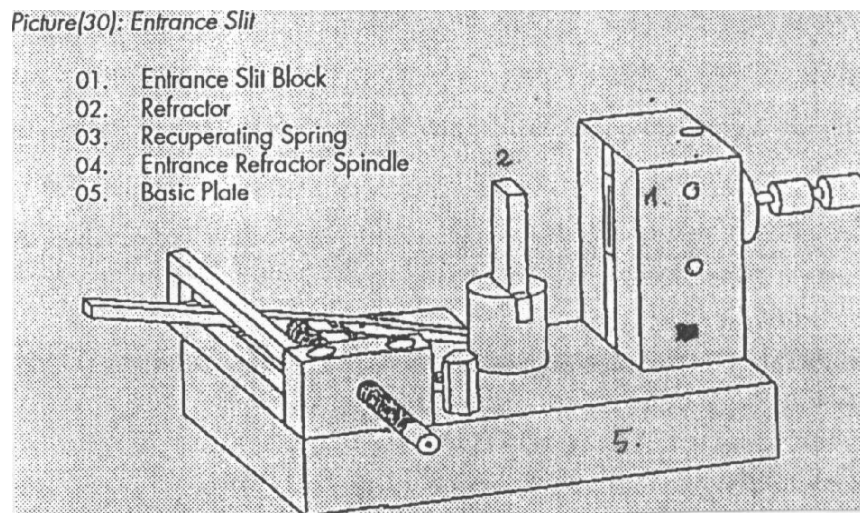
A háttérkorrekciót a rendszer úgy végzi (3.6 ábra), hogy a belépőres mögött elhelyezett planparallel kvarclemezt egy orsós meghajtórendszeren keresztül léptetőmotorral elfordítja az alapállapottól jobbra ill. balra. Ezáltal a felbontás előtti fényt az általunk beállítható mértékben eltolja a megfelelő irányba. Ennek eredményeként a rácsra eső fény annak három különböző

helyén jelenik meg, így a felbontott fényből vagy az egyes színképvonalak esnek a kilépésre (vonal + háttér), vagy a jobb, ill. a baloldali háttér. Ezeket az intenzitásokat a fotoelektrosokszorozó külön-külön méri és a számítógép dolgozza fel.



3.5 ábra Polikromátor felépítése

1: Rács; 2: Háttérkorrektor; 3: Kilépőrések; 4: Fényút a Si példáján



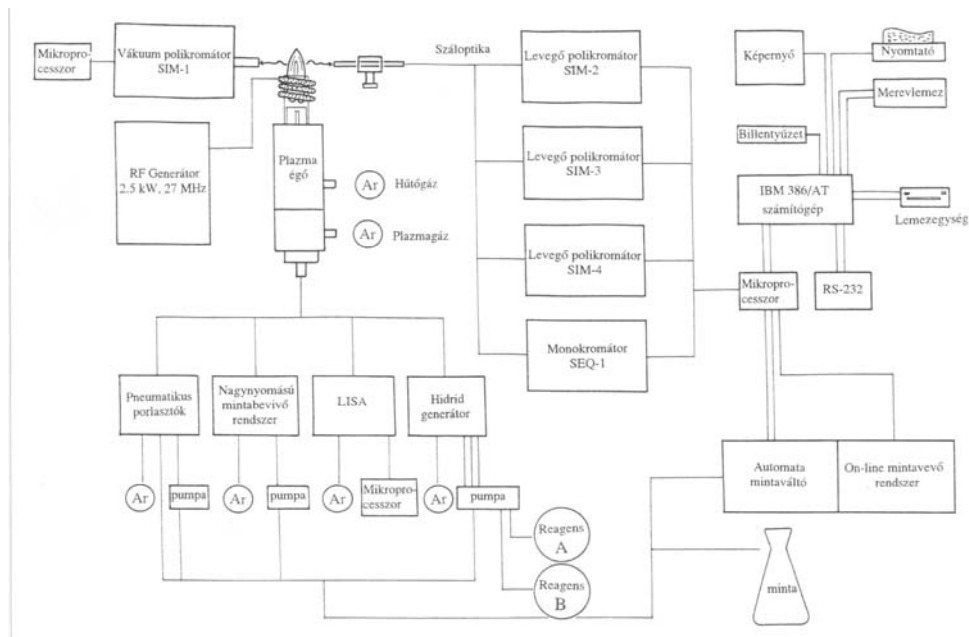
3.6 ábra Háttérkorrekciós egység

### 3.3 Spectroflame-ICP spektrométer felépítésének ismertetése

A berendezés teljes elvi bloksémája a 3.7 ábrán látható. A max. 2,5 kW szabályozott teljesítményű, szabadonfutó rádiófrekvenciás (RF) generátor (27,12 MHz) által előállított plazma a kicsatoló indukciós tekercsben és az argon gázáram hatására az e fölötti térben jön létre. A plazma fényét közvetlenül egy vákuum polikromátorba képezzük le, argon gáz öblítésű fényúton keresztül, hogy a rövid hullámhosszúságú (< 200 nm) színképvonalak levegőben történő elnyelődését megakadályozzuk. A plazma körül elhelyezett száloptikák vezetik a fényt további három, egymástól független polikromátorba és egy monokromátorba. A monokromátor lehetővé teszi tetszőlegesen kiválasztott elemek színképvonalainak mérését, szélesebb (1-10 nm) spektrumtartományok vizsgálatát.

A négy polikromátorban 25 elem csatornája foglal helyet, mely elemek szimultán mérhetők. A készülékben összesen hat optikai egység (pl. 4 polikromátor és két monokromátor) és max.

128 csatorna kiépítése lehetséges. A rendszer teljes vezérlését, a mérést, adatgyűjtést és adatfeldolgozást IBM PC 386 AT számítógép végzi.



3.7 ábra Spectroflame ICP-AES rendszer felépítése és kiegészítő tartozékai

### 3.3.1 A Spectroflame ICP-AES műszaki adatai

#### Nagyfrekvenciás generátor

- Generátor teljesítmény: 2,5 kW
- Folyamatosan szabályozható teljesítmény
- Teljesítmény stabilizálás
- Frekvencia: 27,12 MHz

#### Porlasztórendszer és plazmaégő

- Koncentrikus és szögporlasztók
- Scott-kamra üvegből
- Fix-, ill. szétszedhető plazmaégők, tartalék kvarccsövekkel
- Perisztaltikus pumpa
- Argonnedvesítő egység
- Vízár

#### Spektrométer optikák

- Maximálisan 128 mérőcsatorna
- Maximum 5 optikai rendszer
- Hőmérséklet ingadozásra érzéketlen konstrukció
- Hullámhossztartomány: 165-800 nm
- Paschen-Runge elrendezés
- Rowland-kör átmérője: 750 mm
- Holografikus rács, rácsfordozóanyag: zerodur



## Optikai rendszerek

Optika	Rácson lévő vonalak száma (von./mm)	Hullámhossz-tartomány (nm)	Reciprok diszperzió 1./2. rend (nm/mm)
<i>Levegő optikák</i>			
Polikromátorok	1800	200-800	0,67/0,33
	2400	200-590	0,50/0,25
	3600	200-410	0,33/-
Monokromátor	2400	200-480	0,50/-
<i>Vákuum optika</i>			
polikromátor	3600	165-200	0,33/-

### Monokromátor

- Paschen-Runge elrendezés
- Csúcskereső rutin nélküli közvetlen vonalraállítás
- 4 belépőrés záróblendékkal, száoptikás összeköttetés a fényforrással
- Mozgóreszre szerelt 6 kilépőrés és fotoelektronsokszorozók
- Spektrumvonalakra állás számítógépvezérléssel

### Vákuum rendszer

- Füstmentes, kétlépcsős vákuumpumpa
- Argonöblítésű fényút

### Kiegészítő egységek

- Fluoridrezisztens plazmaéggő, porlasztó és porlasztókamra
- Ultrahangos porlasztó + deszolvatáló rendszer
- Automata mintaváltó
- Hidridgenerátor
- LISA (Little Samples Analyzer)

### Méreték

- Szélesség: 1800 mm
- Mélység: 750 mm
- Magasság: 1590 mm

## 3.4 A készülék üzembe helyezése



*A készüléket csak a gyakorlatvezető helyezheti üzembe!*

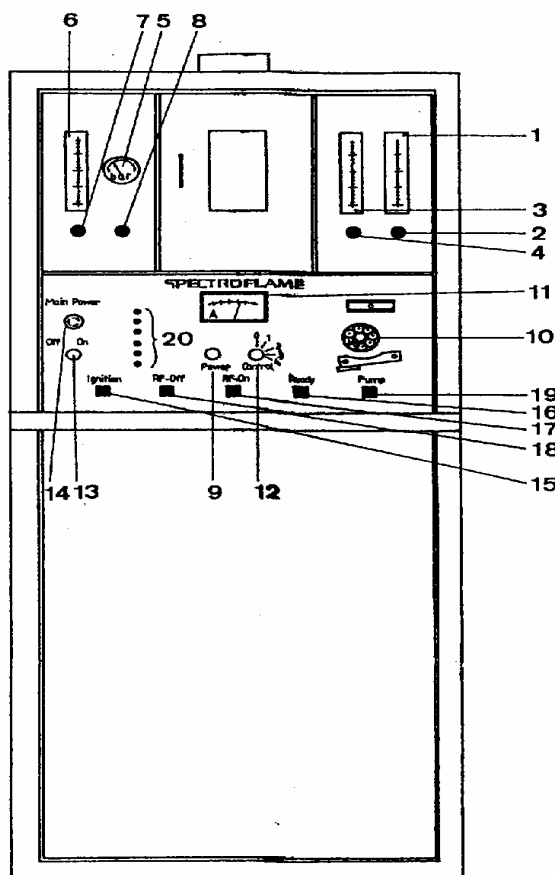
### A plazma bekapcsolása

- A helyiség elszívását bekapcsoljuk (kapcsoló a folyosón)
- A készülék kapcsoló kulcsát **Stand by** állásból **On** állásba fordítjuk
- A vákuum szivattyút bekapcsoljuk
- A vákuumszelep tanksapkát nyitjuk
- Az argonpalackon 5-7 bar nyomást állítunk be
- A vészleállító gombot (**Main Power**) oldjuk
- A **Ready** gombot megnyomjuk (piros fénnel világít)

- A porlasztógáz (**Nebulizer**) szelepet elzárjuk
- A hűtőgáz (**Coolant**) és a plazmagáz (**Auxiliary**) áramlik, ezekhez a szelepekhez nem nyúlunk
- Energia beállítása (**Power Control**) 0,67 A-re
- Generátor bekapcsolása (**RF-On**)
- Gyújtás az **Ignition** gomb megnyomásával
- Sikeres gyújtás esetén a porlasztógáz szelepet lassan kinyitjuk, a nyomást 3,2 barra állítjuk
- Bekapcsoljuk a perisztaltikus pumpát, és desztillált vízzel öblítjük a rendszert

### Számítógép előkészítése méréshez

- Bekapcsoljuk a számítógépet
- *Win* utasítással elindítjuk a Windows-t
- Elindítjuk a SmartAnalyzer programot



3.8 ábra Generátor kezelőlapja

1. Hűtőgáz rotamétere
2. Gázszelep
3. Plazmagáz rotamétere
4. Gázszelep
5. Porlasztógáz nyomásmérője
6. Porlasztógáz rotamétere
- 7-8. Gázszelepek
9. Teljesítmény állító potméter
10. Perisztaltikus pumpa
11. Energia kijelző
12. Teljesítmény fokozat kapcsoló
13. Kapcsoló kulcs
14. Vészleállító gomb
15. Gyújtófeszültség kapcsoló
16. Bekapcsoló/törölő gomb
17. RF bekapcsoló gombja
18. RF kikapcsoló gombja
19. Perisztaltikus pumpa kapcsolója
20. Hibakijelzők

### 3.4.1 Optikák beállítása

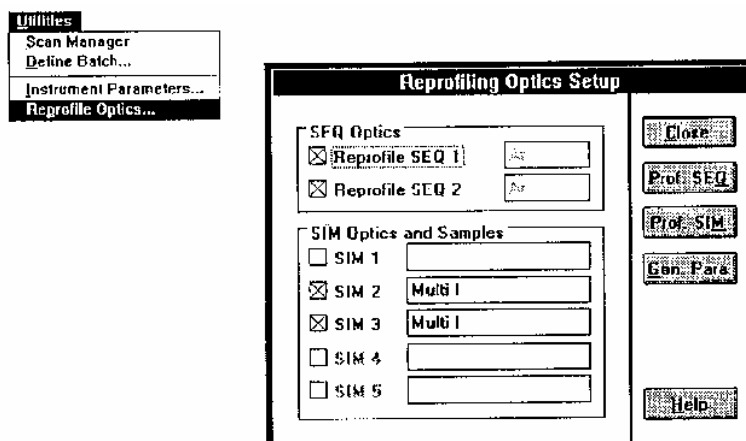
Az optikák beállítása automatikusan történik. A polikromátorok beállításakor a készülék egy-egy kiválasztott elem (esetünkben Mn, Fe, Na, S), monokromátornál az Ar megadott vonalaihoz tartozó csúcsmaximumokat keresi meg. Az optikák beállítása szükséges:

- Minden nap, amikor bekapcsoljuk a készüléket.
- A rendszer újraindítása után.
- A számítógép újraindítása után.
- Új mérőmódszer építése előtt.



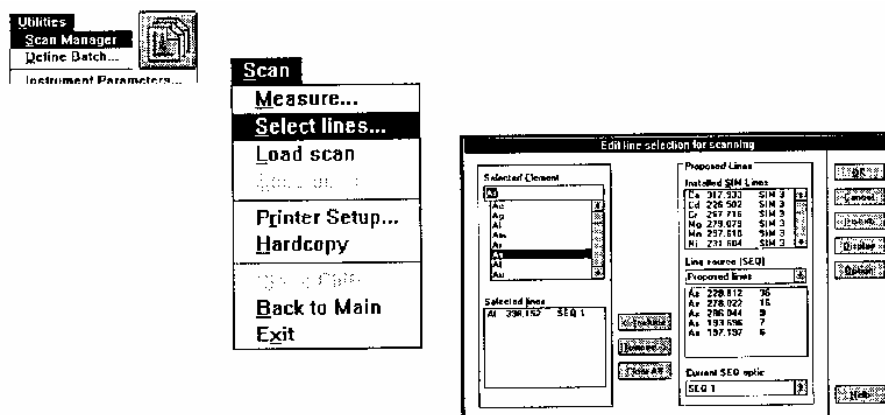
*Nem megfelelő kalibrálás esetén a készülék fizikailag károsodhat!*

A <Utilities> menüpontból kiválasztjuk a <Reprofile Optics> pontot. Az installált optikákat az optika neve előtt  jelzi. A monokromátor kalibrálásához kapcsoljuk ki a perisztaltikus pumpát, majd válasszuk a <Prof. SEQ> kapcsolót. A szimultán optika beállításához indítsuk el a perisztaltikus pumpát, majd helyezzük a mintabevivő csövet a MECHANIKUS REKALIBRÁLÁS nevű oldatba. Az oldat  $20 \text{ mg/dm}^3 \text{ Fe-}, \text{Na-}, \text{Mn-}, \text{S-t}$  tartalmaz. 30 s után válasszuk a <Prof. SIM> kapcsolót. Ha az optikák beállítása megtörtént, a rendszer automatikusan visszatér az előző menüponthoz.



### 3.4.2 Kvalitatív analízis

A <Utilities> menüpontból kiválasztjuk a <Scan Manager> opciót. A színkép vonalak kiválasztása a <Select Lines...> pontban lehetséges. Az elemek alfabetikus sorrendben jelennek meg a képernyőn. Ha kiválasztjuk valamelyik elemet, a jobb oldali részen külön jelennek meg a polikromátoron ill. a monokromátoron elérhető vonalak. Kérhetjük az elem összes ismert és ICP-AES elemzésekhez ajánlott színkép vonalainak, valamint a spektrális zavarást okozó elemek listáját. Ha az egerrel kétszer kattintunk a kiválasztott vonalon, az elem szimbóluma megjelenik a <Selected Lines> mezőben. A kiválasztott színkép vonal környezetében található, zavarást okozó vonalakat a <Disturb> menüpontban találjuk.



Miután kiválasztottuk a vizsgálandó elemek vonalait, lépünk be a <Measure> menüpontra. Helyezzük a mintabevivő tefloncsövet a mintaoldatba. Adjuk meg a minta nevét, a <Select

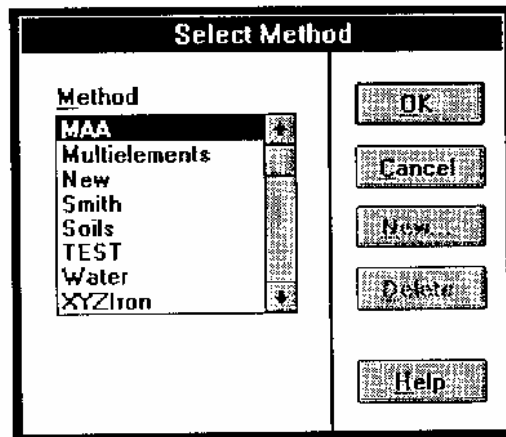
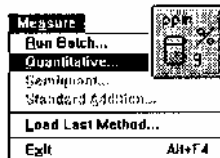
**SIM**> és <**Select SEQ**> kapcsolókkal válasszuk ki a kívánt vonalakat, és a <**Start**> -tal indítsuk el a mérést. Annyi ablak jelenik meg a képernyőn, ahány színképvonalat kiválasztottunk. Az egyes spektrumok adatai külön-külön tárolhatók, adatbázisba rendezhetők. A <**Scan Manager**>-ből <**Exit**>-tel térhetünk vissza a főmenübe.

Az ide tartozó gyakorlatok: 3.5.1 és 3.5.2.

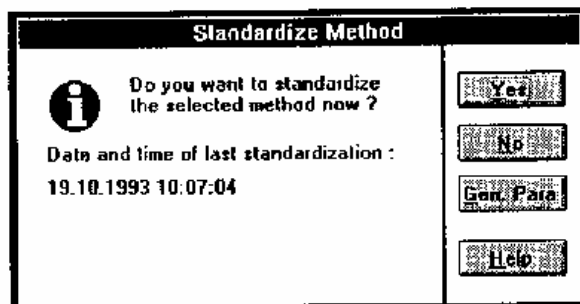
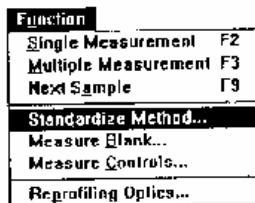
### 3.4.3 Kvantitatív analízis

A kvantitatív analízis előre elkészített mérőmódszerrel történik. A mérőmódszer „építőkövei” az elemek spektrumai (kijelölve az intenzitás maximum és a háttér hullámhossza), a standardok (elemek és koncentrációik), a kalibrációs adatok (koncentrációk és intenzitások), valamint a mérés időbeni állandóságát ellenőrző kontroll oldatok adatai. A mérőmódszer készítését a gyakorlaton ismertetjük.

Kvalitatív analízishez a <**Measure**> menüpontból válasszuk a <**Quantitative...**> opciót. Megjelenik a rendelkezésre álló módszerek listája <**Select Method**>. Válasszuk ki a **Gyakorlat** nevű módszert.



Végezzük el a módszer kalibrálását. A <**Function**> menüből válasszuk ki a <**Standardize Method...**> pontot. A program megerősítést kér, majd a képernyő bal felső sarkában megjelennek a recalibráló oldatok nevei. Ha az oldatokat a megadott sorrendben megmértük, megjelennek az illesztések adatai, és a rendszer elemzésre kész.



Ide a 3.5.3 -3.5.4 gyakorlatok tartoznak.

### Fontosabb funkcióbillentyűk

<Start> Egy mérés végrehajtása

<Multi Measure> Az előre meghatározott öblítési idő után megadott számú mérés elvégzése

<Average> Mérési eredmények átlagának megadása

<Standard Deviation> Standard deviáció lekérése

<Next Sample> Mérési adatok tárolása, új minta kérése

## 3.5 Gyakorlati feladatok

### 3.5.1 Csapvíz minta kvalitatív elemzése

A laboratóriumban található vízcsapból folyassuk a vizet kb. 10 percig, majd tiszta műanyag edénybe töltünk 50 ml ivóvizet. Válasszunk ki tetszés szerint 20-25 elemet, és vegyük fel a spektrumokat.

### 3.5.2 Spektrális zavarás tanulmányozása

Az arzén zavarja a kadmium 228,60 nm-nél található vonalát. Vegyük fel 5 mg/dm<sup>3</sup> kadmiumot, majd 50 mg/dm<sup>3</sup> arzént, ill. mindkét elemet tartalmazó oldatok spektrumát a következő hullámhosszokon: As 189,042 nm, Cd 228,600 nm, Cd 226,502 nm

### 3.5.3 Kimutatási határ (DL) és háttérekvivalens koncentráció (BEC) megadása

A rendelkezésre álló standardoldatok felhasználásával készítsünk 50 ml oldatot, melynek Na, K, Ca, Mg, Sr, Ba, Fe, Mn és Cr koncentrációja egyaránt 0,5 mg/dm<sup>3</sup>. Határozzuk meg a bruttó és nettó vonalintenzitást, valamint a háttérintenzitást. A számolást a következő egyenletek alapján végezzük:

$$S = \frac{I_{brutto} - I_{háttér}}{C}, \text{ ahol } S \text{ az érzékenység}$$

$$DL = \frac{2 \cdot SD}{S}, \text{ ahol } DL \text{ a kimutatási határ}$$

$$BEC = \frac{I_{háttér}}{S}, \text{ ahol } BEC \text{ a háttérekvivalens koncentráció}$$

### 3.5.4 Csapvíz minta elemösszetételének meghatározása

Az előzőekben ismertetett módon (3.5.1 gyakorlat) vett ivóvízminta elemzése. Határozzuk meg 5 párhuzamos mérésből a víz Na, K, Ca, Mg, Sr, Ba, Fe, Mn és Cr tartalmát. Adjuk meg az átlagot, szórást és kimutatási határt.