

# Gyakorlati mérés technika, dozimetria

Budapest, 2025

**8. Elméleti és gyakorlati dozimetriai ismeretek.**

- 8.1.1. Operatív dozimetriai mennyiségek
- 8.1.2. Hatósági személyi monitoring célja és eszközei, a TLD doziméter kiértékelésére vonatkozó előírások
- 8.1.3. A külső-és belső sugárterhelés személyi dozimetriájának főbb mérési módszerei
- 8.1.4. Egyenérték és effektív dózis használata és becslése

**9. Méréstechnika elmélet és gyakorlat**

- 9.1. Általános kérdések
  - 9.1.1. Gázionizációs detektorok jellemzői és főbb alkalmazásuk
  - 9.1.2. A szcintillációs detektálás elve és alkalmazási lehetőségei
  - 9.1.3. Félvezető detektorok működési elve és alkalmazásuk
  - 9.1.4. A nukleáris mérőrendszerek általános felépítése, a sokcsatornás mérőrendszerek felépítése és működési elve.
  - 9.1.5. Felületi szennyezettség mérésének eszközei
- 9.2. Nem nukleáris ipari alkalmazások, beleértve oktatást és kutatást
  - 9.2.1. Ipari besugárzóknál alkalmazott nukleáris méréstechnikai módszerek

**14. Sugárvédelmi tervezés és értékelés: kibocsátás és környezetellenőrzés, terjedésszámítás**

- 14.1. Általános kérdések
  - 14.1.1. A kibocsátás- és környezetellenőrzés eszközei és módszerei

**Az operatív dozimetriai mennyiségek** a sugárvédelemben olyan dózismennyiségek, amelyeket a **sugárterhelés gyors becslésére** és a sugárvédelmi intézkedések operatív irányítására használnak. Ezeket jellemzően **hordozható műszerekkel**, például személyi dózismérőkkel vagy környezeti sugárzásmérőkkel határozzák meg.

**Főbb operatív dozimetriai mennyiségek (Sv):**

- **Környezeti dózisegyenérték ( $H^*(10)$ )** Az ionizáló sugárzás külső expozíciójának jellemzésére szolgál. Meghatározása egy ICRU gömb 10 mm mélységében lévő referencia ponton történik, ami az emberi testbe bejutó sugárzás becslésére alkalmas. Gyakran használják gamma- és neutron-sugárzás mérésére.
- **Személyi dózisegyenérték ( $Hp(d)$ )** Egy adott mélységben ( $d$ ) a bőr felszíne alatt a sugárterhelés becslésére szolgál. Az a dózisegyenérték, amely a doziméter viselési pontján a lágy testszövet  $d$  mélységében fellép
  - $Hp(10)$  : mély dózis, amely a belső szöveteket érő sugárzásra vonatkozik.
  - $Hp(0.07)$  : bőrfelszíni dózis, amely a bőr sugárterhelését mutatja.
  - $Hp(3)$ : szemlencse dózis, amely a szem sugárzásvédelméhez fontos.

Az **pillanatnyi sugárzási teret dózisegyenérték-teljesítménnyel** lehet jellemezni (Sv/h).

Dózismennyiség	Jelölés	Mértékegység	Mit jellemez?
Elnyelt dózis	D	Gy	A besugárzott anyag egységnyi tömegében a sugárzásból elnyelt energia. (J/kg). Determinisztikus hatások jellemzésére használják.
Egyenérték dózis	H	Sv	Az R típusú és minőségű sugárzás súlytényezőjével súlyozott, a T szövetben vagy szervben elnyelt dózis
Effektív dózis	E	Sv	Az emberi test összes szövetére vagy szervére (T) vonatkozó, súlyozott egyenérték dózisok összeg. Sztochasztikus hatások jellemzésére használják.

Effektív dózis

$$E = \sum w_T \cdot H_T$$

T szövet vagy szerv súlytényezője (wT)

Szerv / Szövet	wT érték
Csontvelő (vörös)	0,12
Vastagbél	0,12
Tüdő	0,12
Gyomor	0,12
Emlő	0,12
Ivarszervek	0,08
Húgyhólyag	0,04
Nyelőcső	0,04
Máj	0,04
Pajzsmirigy	0,04
Csontfelszín	0,01
Agy	0,01
Nyálmirigyek	0,01
Bőr	0,01
Egyéb szövetek	0,12

R típusú sugárzás súlytényezője (wR)

Sugárzás típusa	wR érték
Gamma- és röntgensugárzás	1
Béta-részecskék	1
Neutronok (függ az energiától)	5–20
Alfa-részecskék	20
Protonok	2

Egyenérték dózis

$$H_T = \sum D_{T,R} \cdot w_R$$

Dózismennyiség	Jelölés	Mértékegység	Mit jellemez?
Lekötött egyenértékdózis	HT(τ)	Sv	Radionuklid felvételétől származó, a T szövetre vagy szervre vonatkozó egyenérték dózis τ időtartamú integrálja
Effektív dózis	E	Sv	Az emberi test összes szövetére vagy szervére (T) vonatkozó, súlyozott egyenérték dózisok összege

Lekötött egyenértékdózis

Effektív dózis

$$H_{T,\tau} = \int_0^\tau \dot{H}_T(t) dt$$

$$E_\tau = \sum_T w_T \cdot H_{T,\tau}$$

$$E = A \cdot DFC$$

τ = 50 év (felnőtt), 70 év (gyermek)

T szövet vagy szerv súlytényezője (wT)

A = inkorporált aktivitás (Bq)  
DFC = dóziskonverziós tényező ICRP 119, 130

**A személyi dozimetria feladata** a sugárveszélyes tevékenységet végző dolgozók **külső forrástól származó sugárterhelésének megállapítása.**

**A hatósági személyi monitoring célja:**

- A munkavállalók sugárterhelésének mérésére és ellenőrzésére.
- A sugárvédelmi szabályozás betartásának igazolására.
- A sugárzás hatásainak csökkentésére és a biztonságos munkakörnyezet fenntartására.
- A munkavállalók egészségügyi állapotának védelme érdekében.

**TLD hatósági doziméterek kiértékelésére vonatkozó előírások:**

- Mérés és kiértékelés gyakorisága: Magyarországon 2 havonta
- Adatok kiértékelésének módja: 2 hónap hordás, begyűjtés, postai beküldés, laborban bontás, automata kiolvasás (felfűtés, fénymérés), konvertálás (impulzus -> Sv), összerendelés (dózis -> személy)
- Szabványos előírások: Adott időközönként kalibrálás, BFKH általi hitelesítés, minőség biztosítás, rendszeres ellenőrzés
- A kiértékelés pontos dokumentálása: Adatbázisban mentés és jegyzőkönyv nyomtatás
- Munkavállalói tájékoztatás: Dózismegszortási szint átlépése esetén kötelező, illetve kérésre

## 8.1.3. A külső sugárterhelés személyi dozimetriájának főbb mérési módszerei

Személyi dózisegyenérték mérés, Hp(10), Hp(0,07) alapvetően gamma, de van béta és neutron dozimetria is.

### Fajtái:

**1. Aktív doziméterek:** Előnye: közvetlen kijelzés és riasztás. Hátránya: drága, folyamatos energia ellátás szükséges.

**2. Passzív doziméterek:** Előnye: Besugárzás közben nincs energia igénye, kis méretű, kevésbé sérülékeny. Hátránya: Csak utólagosan értékelhető ki, a doziméter maga olcsó, de a kiolvasó rendszer drága.

**2.a Filmdoziméter:** Fekete-fehér fotografiai film az ionizáló sugárzás hatására elszíneződik. Több réteggel több nagyságrendnyi dózist lehet átfogni. Eltérő érzékenységgű emulziós réteggel, szűrőzéssel lehet különböző sugárzási fajtákat, tereket mérni.

Az előhívott filmen fotométer (denzitométer) méri a keletkezett feketedés mértékét. Hátránya: egyszer használatos, az előhívás nehézkes, magas hőmérsékletre és páratartalomra érzékeny, alacsony érzékenység nagy energián.

**2.b Termolumineszcens (TL) doziméter:** Bizonyos szilárd szigetelő anyagban (szervetlen kristály, üveg, kerámiapl. Pl.: LiF – lítium-fluorid, CaF<sub>2</sub> – kalcium-fluorid, vagy CaSO<sub>4</sub> – kalcium-szulfát ) az ionizáló sugárzás hatására csapdába esett szabad elektronok és a lyukak egyesülnek és fényt emittálnak. A kilépő fény mennyisége arányos az elnyelt dózissal.

A kiolvasáshoz fotoelektron-sokszorozó (PMT) szükséges, létezik automata és kézi kiolvasó is.

Előnye: újra használható, különböző TLD anyagok különböző feladatokhoz.

Hátránya: kiolvasás után maradvány dózis, fading, komplex kifűtési görbék. **Jelenleg hatósági doziméter.**

**2.c Optikailag stimulált lumineszcens (OSL) doziméter:** A stimuláció hő helyett fényimpulzussal történik. Általában alumínium-oxid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C). Lumineszcencia kiváltása a csapdamélységnek megfelelő hullámhosszú fénnel történő megvilágítással.

Előnye: többször kiolvasható

**2.d Radiofotolumineszcens (RPL) doziméter:** Ezüsttel aktivált foszfátüveg, amelyben ionizáló sugárzás hatására stabil lumineszcens centrumok

jönnek létre. Ha a besugárzott dozimétert UV fénnel megvilágítjuk, az látható fényt bocsát ki, amelynek intenzitása arányos az üvegben elnyelt dózissal.

Előnye: nincs fading, és többször is kiolvasható.







**Passzív Doziméterek** egyik – nemzetközileg - legismertebb gyártója a Landauer cég. Alkalmas a béta, gamma, röntgen sugárzás mérésére, opcióként a neutron sugárzás is detektálható.

Kiolvasó egység (reader) szükséges a kiértékeléshez.

Manuális, automata és félautomata megoldások, bővíthető.

INLIGHT® doziméter



TOPAZ® szemlencse  
doziméter



OSLR olvasó



ONYX®  
gyűrűdoziméter





**Tolldoziméter:** Kisméretű ionizációs kamrák, amibe be van építve egy kvarcszál as elektrométer, ennek kitérése arányos a kamra feszültségével, mikroszkóppal olvasható le. Előnye: **Közvetlenül leolvasható.** Hátránya: **szűk méréstartomány, ütésre érzékeny.**

**Elektronikus doziméter:** Kis méretű GM-csővel vagy szilícium diódával szerelt, elemes sugárzás mérő műszer.

Előnye: **Méri a dózisteljesítményt, a nullázástól számított dózist** és riasztási szint túllépésekor **fény- és hangjelzést ad.**

A historikus adatokat ment, az adatok számítógépre letölthetők. Hátránya: **Pulzált sugárzási térben nem alkalmazható,** néhány 1000 üzemóra után elemet kell cserélni. A passzív doziméterekhez képest nehezek (50–150 g).

**Neutron személyi dozimetria:** Nincs olyan detektor, ami a termikustól 14 MeV-ig képes lenne mérni.

**Magfotoemulzió:** A filmanyagban lévő hidrogént a gyorsneutronok meglölik, az előhívott anyagban nyomat hagynak.

Hátránya: **gyors fading (1 hét),** gamma keresztérzékenység.

**Szilárdtest nyomdetektor:** A neutron sugárzás egyes ásványokban, üvegekben és műanyagokban szerkezeti károsodást hoznak létre.

A felületet megfelelő marószerszel kezelve, a **károsodott zóna sokkal gyorsabban maródik le,** mint az ép felület. Az anyagon **optikai mikroszkóppal látható mélyedések** keletkeznek.

Előnye: **fotonokra és elektronokra érzéketlen**

**TLD albedo doziméterek:** A test által lassított neutronok a testfelszínen visszaszóródott termikus neutronokat hoznak létre, ami mérhető  **$6\text{LiF}$  detektorral.** A gamma keresztérzékenységet  $7\text{LiF}$  detektorral kompenzálják. A  **$7\text{LiF}$  nem érzékeny a termikus neutronokra.**

Előnye: Termikus és gyors neutronok szűrőzéssel külön mérhetőek.

**Buborékdetektorok:** Egy átlátszó műanyag csőben neutron hatására szabad szemmel látható cseppecskék jönnek létre. A keletkezett buborékok száma arányos a neutronok testszövet dózisával.

**Elektronikus doziméter:** Kis méretű szcintillációs detektorral szerelt, gamma vagy gamma és röntgen sugárzást mérő személyi dózismérők. Két változatban: **DoseG (gamma)**, illetve **Dose GX (gamma + röntgen)**.

Méréstartomány DT-re: 0,001  $\mu\text{Sv/h}$  ... 10 Sv/h

Méréstartomány energiára DoseG:  
50 keV ... 10 MeV

Méréstartomány energiára DoseGX: 12 keV ... 10 MeV

Méretei: 85 × 55 × 25 mm

Tömege: 110 g

Üzemidő idő a műszer újratöltését követően:  
kb 170 óra (500 nSv/h alatti gamma  
háttérsugárzási dózistérben és kikapcsolt  
hátérvilágítással és kikapcsolt hangjelzővel)

Akku töltési ideje: kb 5 óra



8.1.3. Személyi dozimetria				
Tulajdonság	EPD (Elektronikus doziméter)	OSL (Optikailag stimulált lumineszcens)	TLD (Termolumineszcens)	
Mérési elv	Szilíciumdióda, GM vagy ionizációs kamra	Fénnyel stimulált lumineszcencia	Hővel stimulált lumineszcencia	
Valós idejű mérés	Igen	Nem	Nem	
Újraolvashatóság	Igen (korlátlanul)	Igen (többször, de nem korlátlanul)	Nem (egyszer olvasható)	
Stabilitás	Nagyon magas (digitális memória, elem)	Hosszú távon stabil, de kissé romolhat	Hő és fény befolyásolhatja	
Hőmérsékleti érzékenység	Extrém hőmérsékleten korlátozott	Kismértékben érzékeny	Érzékeny, melegítés szükséges	
Leolvasási módszer	Digitális kijelző, USB vagy vezeték nélküli adatátvitel	Alacsony energiájú fényimpulzus	Fűtés (100–400°C)	
Pontosság	Nagyon magas (folyamatos kalibrálás)	Magas	Magas, de kiolvasás után elvész	
Riasztási funkció	Igen (hallható, vizuális és rezgő riasztás)	Nem	Nem	
Áramforrás	Elem vagy akkumulátor	Nincs szükség áramra	Nincs szükség áramra	
Ár	Drága	Közepes	Olcsó	

## Belső sugárterhelés mérése

A belső sugárterhelés akkor jelentkezik, ha radioaktív anyag jut be a szervezetbe belégzés, lenyelés vagy bőrön át történő felszívódás útján.

### 1 In vivo mérések (testben lévő sugárzás közvetlen mérése)

- Egésztest-számláló (Whole-Body Counter, WBC) – Nagy érzékenységű detektorokkal méri a testben lévő gamma-sugárzó radionuklidokat.
- Pajzsmirigy-számláló (Thyroid counter) – A pajzsmirigy jód felvételének méréseire szolgál.
- Tüdő-számláló (Lung Counter) – Tüdőbe jutott uránium, plutónium és amerícium méréseire szolgál.

### 2 In vitro mérések (biológiai minták elemzése)

- Vizelet- és székletelemzés – Radioaktív anyagok kiürülésének vizsgálata.
- Vérminták elemzése – Specifikus radioizotópok jelenlétének meghatározása.
- Orrkenet-vizsgálat – Belélegzett radioaktív anyagok kimutatására

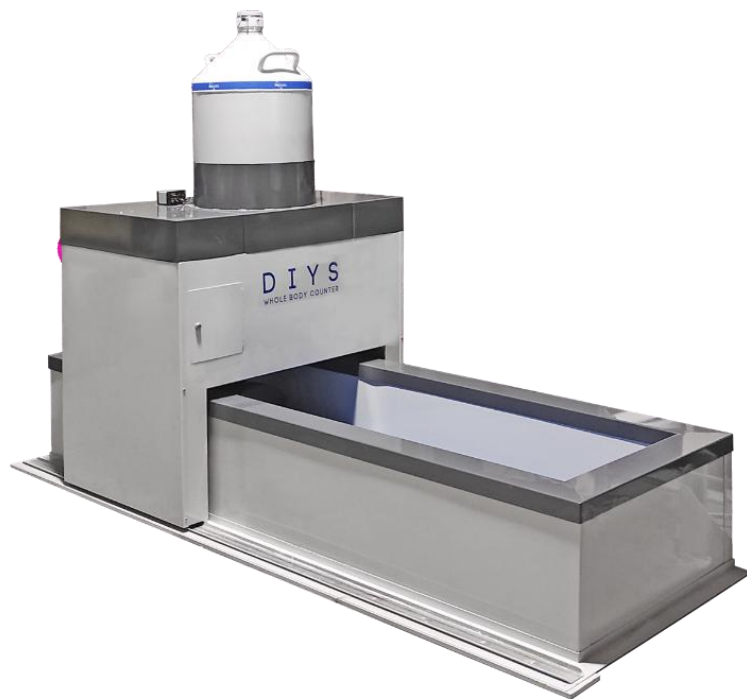


Sugárterhelés típusa	Mérési módszer
Külső gamma- és röntgensugárzás (béta?)	TLD, OSL, EPD doziméter
Belső gamma-sugárzás	Egésztest-számláló, pajzsmirigy- számláló
Belső alfa- vagy béta-sugárzás	Vizelet-, vörvizsgálat

A kompakt és könnyen kezelhető **DIYS egésztest-számlálók** (gyártó: Helgeson) egy megbízható sugárzásmérő eszköz, aminek használatával biztosítható a nukleáris létesítményekben, laboratóriumokban vagy kórházakban dolgozó személyzet biztonsága.

A DIYS egésztest-számlálók alkalmasak **belső sugárterhelés kimutatására és az inkorporáció mennyiségi mérésére** az egész test vagy a belső szervek tekintetében (Bq).

Az egésztest mérésénél a detektoros konzol **végig pásztázza a testet**. A belső szervek önálló vizsgálata esetében a detektorfej rögzített pozícióban, a mérendő szervre irányítva mér. A DIYS egésztest-számlálót a gyártó cég több verzióban gyártja. A verziókat a vizsgált személy **fektetésénél használt kiépítés formája** is meghatározza, illetve a **detektor mozgathatósága**: fix, vagy szabályozható.



### Egy egésztest-számláló főbb elemei:

- az **ólómmal** árnyékolt fekvőhely (**5 cm oldalfalak** és a fenéklap)
- sín pár (rögzített fekvőhelyes verzió esetében)
- detektortartó konzol (benne a detektor és a – HpGe esetében - LN vagy elektromos hűtés)
- **detektor árnyékolás 10 cm ólom**
- MCA sokcsatornás analizátor elektronika
- vezérlő elektronika
- számítógép
- dedikált szoftver: adatgyűjtés és spektrum megjelenítés, adatfeldolgozás, energia- és határfok kalibráció, mérés paraméterezés, fájlkezelés, egyéb segédprogramok.

**Gázzal töltött kamrába 2 elektródát vezetnek és egyen feszültséget kapcsolnak rá. A feszültség nagyságától függően eltérően viselkedik a detektor. 3 feszültség tartományban használható -> 3 féle műszer (ion kamra, proporcionális számláló, Geiger-Müller cső)**

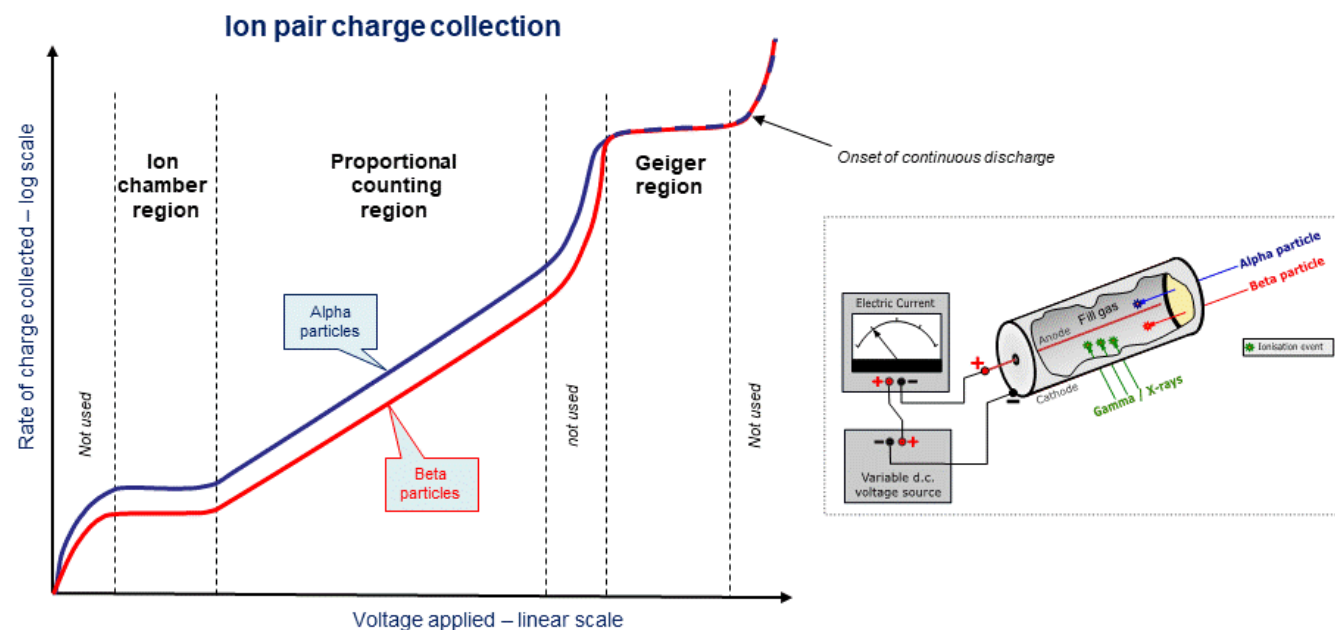
Az **ionizáló részecske áthaladása után** a töltéssel rendelkező részecskék a feszültség hatására **mozogni kezdenek a gázon keresztül**: az ionizációban keletkezett **elektronok a pozitív elektróda (anód)**, a **pozitív ionok pedig a negatív elektróda (katód)** felé.

Az **ionok sebessége függ** a kamra terében lévő elektromos **térerősségtől**, a kamrában lévő **gáz nyomásától**, valamint a **gáz anyagi minőségétől**.

Előfordulhat, hogy nem minden ion és elektron jut el azonban a gyűjtő elektródáig:

- Az **elektron megkötődhet a gázban**, függ a gáz természetétől. Ezért érdemes nemesgázt használni.
- **Rekombináció**: elektromos erőter hatására az ellentétes irányba mozgó pozitív ionok és negatív elektronok **egymással ütközve** elveszíthetik töltésüket, **egymást semlegesíthetik**. Ezért kell nagyobb feszültséget használni.

Jellemzően a **detektor fala kis rendszámú anyag**, sok esetben **végablakos**, hogy ne gyengítse a mérendő ionizáló sugárzást. A falvastagság jelentősen befolyásolja, hogy képes-e a detektor alfa, béta, vagy kis energiás gamma sugárzás mérésére.





Az ionizációs kamra feszültség tartományban az elektromos tér **minden ionpárt begyűjt**. A **feszültség változtatása nem befolyásolja a kimenő áram erősséget**. A detektor által szolgáltatott **jel energiatfüggő** és a **sugárzás intenzitásával arányos**. Ha a keletkező jelet minden egyes ionizáló részecske esetében külön-külön mérjük, akkor a kamra impulzus üzemű. Ha a kamra jelének a kamrán átfolyó áram átlagát tekintjük, akkor **áramüzemű (integráló)** ionizációs kamráról beszélünk, ehhez femtoamper, pikoamper mérő műszerek kellenek. **Alacsony áramerősség -> nincs multiplikációs hatás erősíteni kell az elektromos jelet**. A kamra kialakítása szerint lehet:

1. **Szabad levegős kamra**: A levegő szabadon közlekedhet a kamrán keresztül. **Sugárvédelmi célra jellemzően nem használják**, de füst érzékelésre is alkalmas.

2. **Atmoszférikus nyomású levegővel töltött kamra**: Elsődleges etalonnak használható **levegőben vagy vízben közölt dózisteljesítmény mérésre** használható (Gy/h)

3. **Nagy nyomású nemes gázzal töltött kamra**: Nagyobb nyomással, nagyobb az esély az ionizáló sugárzás és a gáz részecskék ütközésére, ezért **érzékenyebb**, de vastagabb fal szükséges, **így elsődlegesen gamma sugárzás mérésre használható**.

Pl.: Dóziskalibrátor.

**Előnye**: túlterhelés esetén sem „bénul le”. **Pulzált sugárzási térben is sikerrel alkalmazható**. **Folyamatos nagy dózis terek mérésre**, és

**elsődleges referenciának** használható. **Hátrányok**: magas alsó méréshatár.

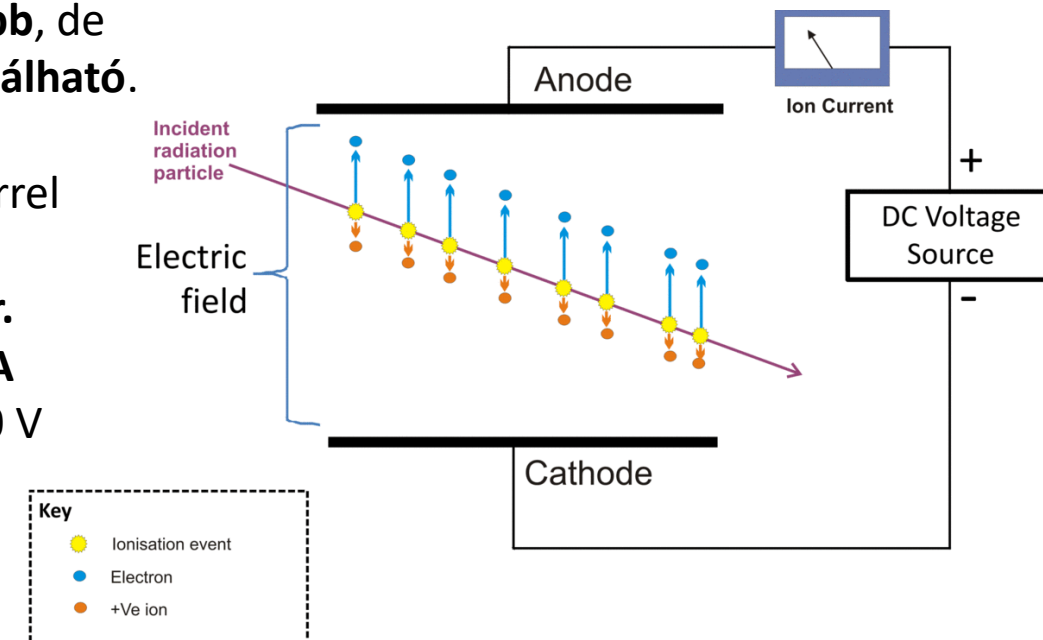
**Egy kamrához szűk mérési tartomány tartozik**. **Érzékeny a nedvességre**. **A méréshez kell kamrát választani**: Feszültség tartomány lehet: 100 V .. 500 V

**Választható kamra térfogatok**: 0.005 cm<sup>3</sup> ... 50 000 cm<sup>3</sup>

**Térfogatnak megfelelő kimeneti áramerősség**: 10<sup>-14</sup> A ... 10<sup>-7</sup> A

**Maximális dózisteljesítmény kamra térfogattal fordítottan arányos**:

1 mGy/h ... 100 Gy/h





A Proporcionális számláló feszültség tartományban az **ionpárok maguk is képesek újabb töltéshordozók létrehozására**.

Az ionpárok **anód közelében létrehozzák a lavina effektust a számláló többi része ionkamraként funkcionál**.

Impulzus kimenetet ad, amelynek nagysága arányos az elnyelt sugárzás energiájával (**Energiafüggő impulzus kimenet**).

A számláló alacsony nyomáson fel van töltve **nemes gázzal és kioltó gázzal** Pl.: 90% argon, 10% metán.

**A jelerősítést befolyásolja a számláló mérete, a gáz nyomása, a rákapcsolt feszültség nagysága és a gáz összetétele.**

Felhasználás:

A rossz felbontás miatt spektrométerként korlátozottan használható.

Gamma és röntgen **környezeti dózisegyenérték-teljesítmény**,  $H^*(10)$  mérés.

**Kéz-láb felületi szennyezettség** mérés. Az ionizáló sugárzás a végablakon lévő mylar fólián keresztül lép be a számlálóba. Általában gáz-átáramlásos rendszerben használják: nem érzékeny a fólián keletkező lyukakra.

Előnye:

**Széles mérési tartomány,  
nagy méretben gyártható**

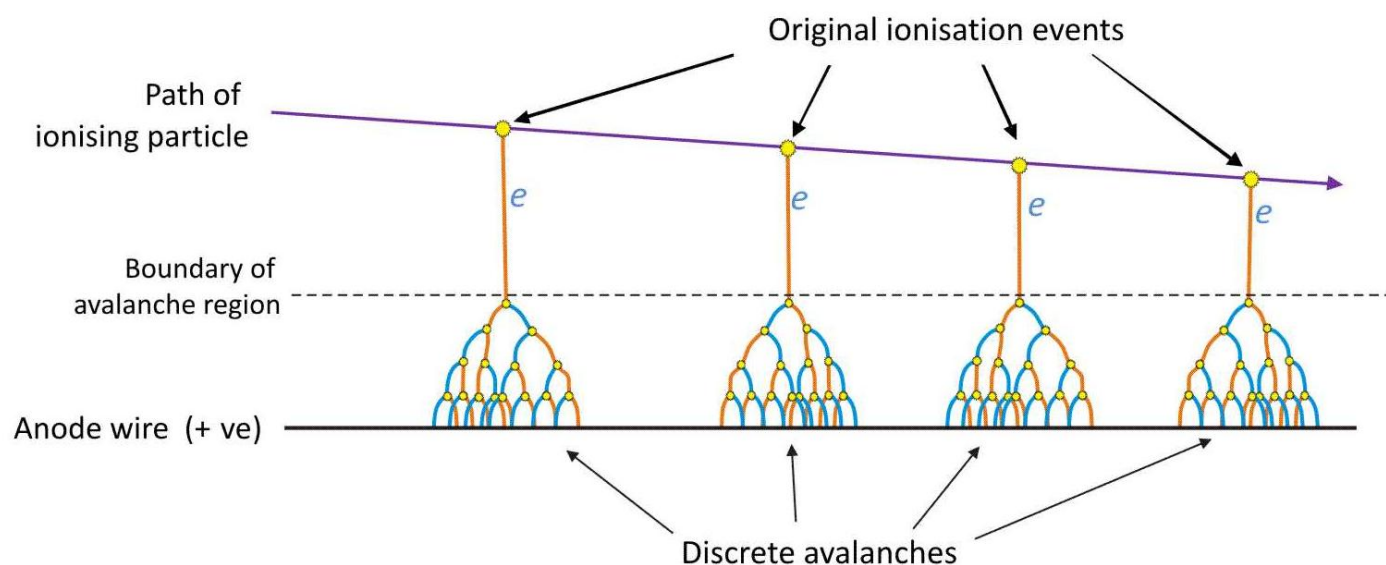
Hátránya:

**Folyamatos gáz csere szükséges lehet,  
Pulzált terekre nem jó, hosszú holtidő,  
öregedés**

Tipikus feszültség: 700 V ... 100V

Dózisteljesítmény tartomány:

Pl.: 10 nSv/h – 15 m Sv/h



A Geiger-Müller (GM) cső feszültség tartományban a **lavina effektus** az ionizációt követően **azonnal megkezdődik**, nem csak az anód közelében, így maximális az erősítés. Az erősítés akár  $10^8$  szoros is lehet, külső elektronikus erősítő alkalmazására nincs szükség.

Az ionizáló részecske **energiájától és fajtájától függetlenül azonos impulzus jön létre**, ami könnyen detektálható.

A GM cső **alacsony nyomású nemes gázzal és kioltó gázzal van feltöltve**.

Felhasználás:

**Levegőben közölt dózisteljesítmény**  $K_a$  [Gy/h], **környezeti dózisegyenérték-teljesítmény**,  $H^*(10)$  [Sv/h] mérés, **Felületi szennyezettség mérés** [Bq/cm<sup>2</sup>].

Cső típusok:

**Végablakos** (alfa, béta, gamma), **vékony falú** (béta, gamma), **vastag falú/energia kompenzált** (gamma).

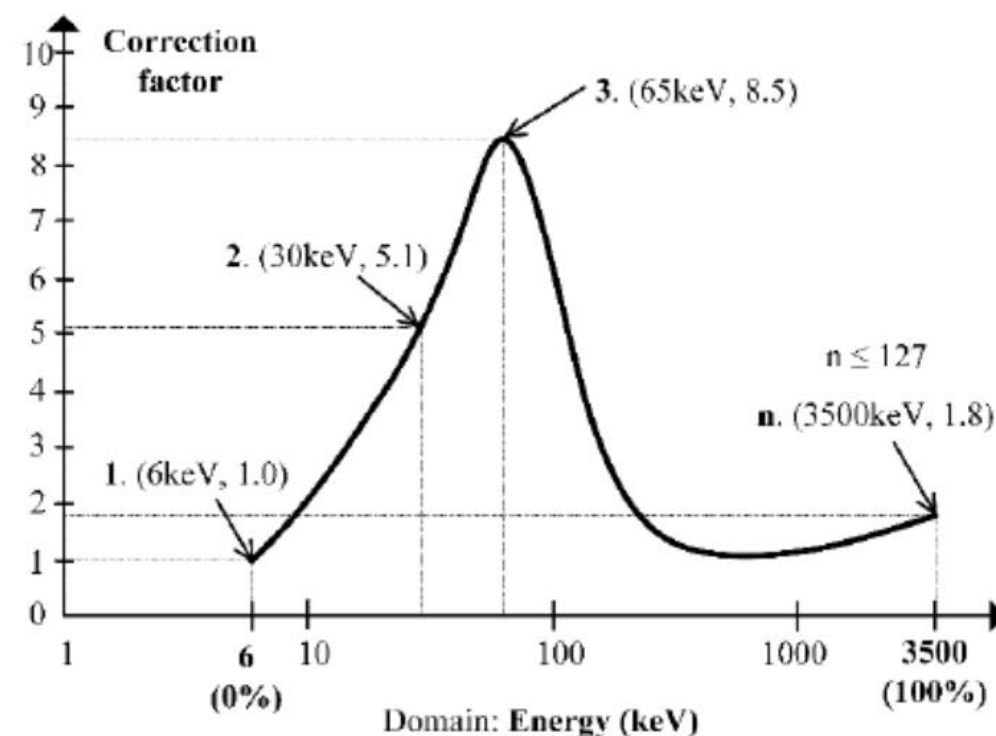
Előnye: **Általános felhasználás, széles mérési tartomány, megbízható, robosztus, olcsó**

Hátránya: **Pulzált terekre nem jó, sugárzás típusokat nem választ szét, öregedés, hosszú holtidő** (kivétel GAMMA műszerek)

Tipikus feszültség: 400V .. 900 V

Dózisteljesítmény tartomány:

Pl.: 10 nSv/h – 100 Sv/h



Dupla Geiger-Müller csővel szerelt detektor, széles mérési tartománnyal.

Mérhető paraméter:

**gamma- és röntgen környezeti dózisegyenérték-teljesítmény,  $H^*(10)$  [Sv/h]**

**Mérési tartomány: 60 nSv/h ... 100 Sv/h**

**Energiatartomány: 50 keV - 1,5 MeV**

Nukleáris paraméterek az IEC-61017 szerint

Mérési idő: Folyamatos, 2 s ... 3600 s

Tápellátás: 9 ... 32 VDC

Működési hőmérséklet-tartomány: -40 °C ... +65 °C

**Környezetállóság: IP 67**

**Kommunikáció: RS-485/MODBUS.**

Szoftver: Windows alapú program a műszer adatainak lekérdezéséhez, beállításokhoz és vezérléshez.

Szimulátor integrációhoz elérhető.

Szabadon állítható fix és dinamikus riasztási határértékek

Dózisteljesítménytől függő jelkimenet hang- vagy fényjelzés részére

Figyelmeztetés és riasztás céljára több konfigurálható kimenet



**Ionizáló sugárzás hatására** bizonyos anyagokban **fényvillanások** (alacsony energiás fotonok/ pl.: NaI(Tl)-ban kék fény: 325 – 550 nm) keletkeznek. Ezt a jelenséget nevezik **szcintillációnak**.

A szcintillációs detektor főbb részei: **Szcintillátor**, **fényérzékelő** (fotoelektron-sokszorozó/PMT, fotódióda/SiPM, töltés-csatolt eszköz/CCD), **feldolgozó elektronika**

A **PMT** minden egyes beérkező **fotonra** legfeljebb egy **elektront** bocsát ki a fotokatódon, amelyet feszültség hatására megsokszoroz a dinódákon, hogy az anódról már egy jól mérhető elektromos impulzust hozzon létre. Az impulzus **amplitúdója** az ionizáló sugárzás **energiájáról**, míg a **szélessége a fajtájáról** hordoz információt. **Spektrometriára alkalmas**

Adott **mérési feladatra megfelelő méretű** és **anyagú** szcintillátort kell választani.

Szcintillátor anyaga lehet: **szilárd vagy folyékony**, illetve **szerves vagy szervetlen**

Szcintillátorok sugárzás fajtákhoz: alfa: ZnS(Ag), béta: PVT plasztik, gamma: NaI(Tl), neutron: Bór-poliészter + ZnS(Ag)

Szcintillátorok alkalmazásokhoz: nagy érzékenység: NaI(Tl), jó felbontás: LaBr<sub>3</sub> (Ce), gyors regenerálódás: BGO

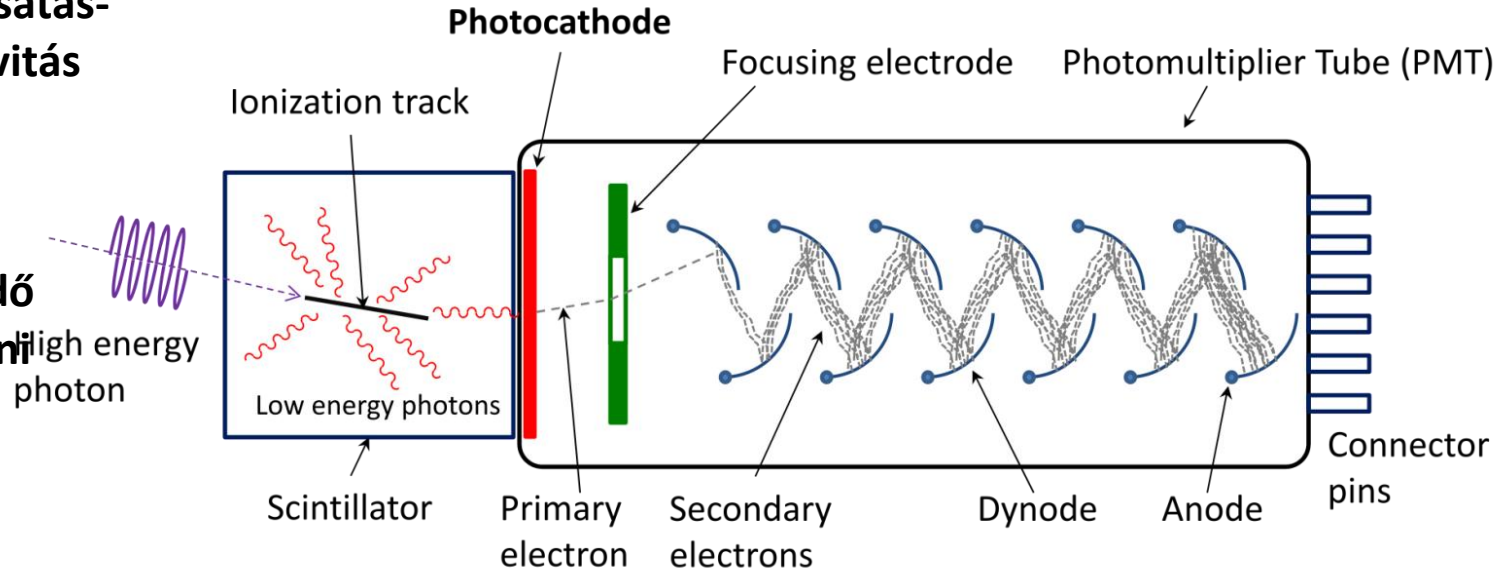
Felhasználás: **Sugárkapuk, környezeti mérés, kibocsátás-ellenőrzés, minta vizsgálat, izotóp azonosítás, aktivitás becslés, képalkotás.**

Előnye:

**Nagy érzékenység/hatásfok, alacsony ár, energia szelektív mérés, jelalak diszkrimináció, rövid holtidő (10<sup>-9</sup> s), egyszerűen lehet nagy detektort készíteni**

Hátránya:

**Szűk mérési tartomány, alacsony dózisterekhez jó, félvezetőknél gyengébb felbontás.**



Nagy érzékenységű szcintillációs típusú spektrometriai detektor, izotóp-azonosítási képességgel, sugárkapu üzemmóddal és dózisteljesítmény-méréssel.

**Mérhető sugárzás fajták:** alfa, béta, gamma és neutron sugárzás (a választott szcintillátor szerint)

**Kimeneti adatok:** Gamma spektrum, beütésszám [cps], becsült aktivitás [Bq] és dózisteljesítmény [Sv/h], azonosított radioizotópok listája.

**Mérési tartomány  $\gamma$  sugárzásra:** 30 nSv/h ... 240  $\mu$ Sv/h

Izotópozonosítás: Bővíthető izotópkönyvtár.

**Energiatartomány:** 20 keV ... 3 MeV

**Gamma spektrum:** 512 ... 4096 amplitúdó csatorna

Energiastabilizálás: Természetes háttér

Állítható mérési időtartomány: 0,1 s ... 30 nap

Kommunikáció: RS-485, Ethernet / Modbus , HTTPS

Felhasználói kalibráció és öndiagnosztika

Tápellátás: 9 ... 32 VDC vagy POE / 5W

Működési hőmérséklettartomány: -30 °C ... +55 °C

**Készülékház:** IP68, IP20 (tokozat és szcintillátor függő)

Méretek, tömeg: 2"x2" NaI(Tl) kristállyal:

**75x351 mm ( $\varnothing$ xH), 1,65 kg**

Szoftver: Webszerver alapú felhasználói

felület hardveres beállítás és vezérlés funkciókkal





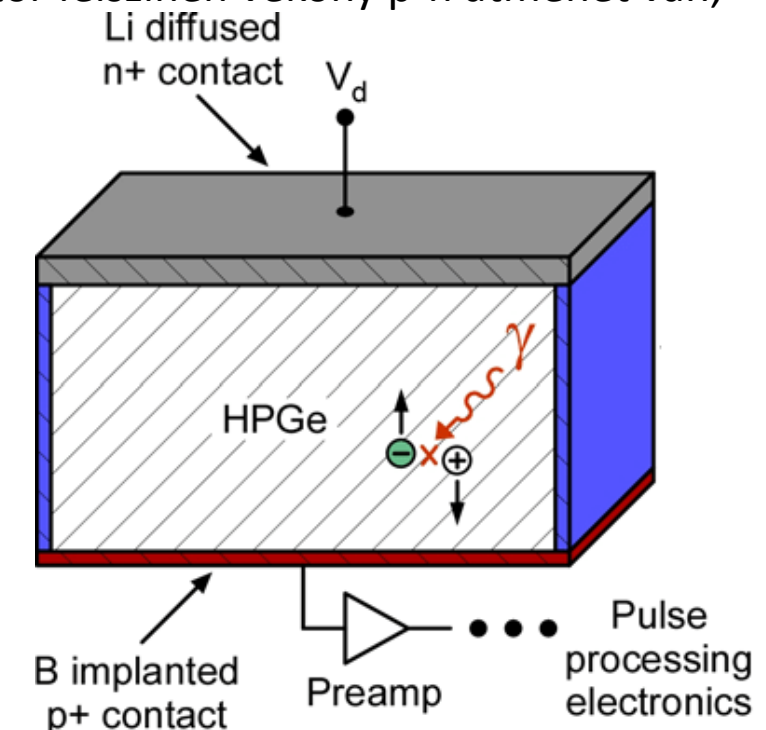
A nagy tisztaságú **félvezető kristályra záró irányba egyenfeszültséget kapcsolva** egy kiürített réteg jön létre, amelyben szinte nincs szabad töltéshordozó. Amikor az ionizáló sugárzás a detektorba érkezik, **elektron-lyuk párokat** hoz létre a kristályban. Ezek a töltéshordozók az elektromos tér hatására a megfelelő elektródák felé mozognak, és ott **elektromos impulzust** hoznak létre, amely mérhető. Általában egyetlen **nagy tisztaságú félvezető kristályból** (pl. **germánium vagy szilícium**) áll, amelyben egy p-n átmenetet alkalmaznak. A detektor aktív térfogata **a kiürített réteg, amely a p-típusú és n-típusú félvezetők találkozásánál** jön létre. Ezt a réteget a külső feszültség növelésével tágitják ki, így nagyobb térfogatban tud érzékelni ionizáló sugárzást.

Felhasználás:

- **Alfa spektrometria:** Szilícium felületi záróréteges félvezető detektor (**PiPS**). A detektor felszínén vékony p-n átmenet van, és ott jön létre a kiürített réteg.  
A fólia védett más típusú detektorokhoz képest kevésbé sérülékeny.
- **Gamma spektrometria:** Nagytisztaságú germánium detektor (**HPGe**). **Kevert (több izotóp) és összetett sugárforrások, maszkolt anyagok, valamint nukleáris anyagok meghatározására alkalmas.** Folyékony nitrogénes, vagy elektromos hűtés szükséges.
- **Hordozható, szegmentált gamma spektrometria:** kadmium cink tellúrid (**CZT**), kadmium tellúrid (**CdTe**) detektor. Közvetlen gamma foton - elektromos jelátalakítás zajlik le. Nem kell hűteni. Csak kis méretben (kb. 5 mm) gyártható.

Előnye: **Jó energiafelbontás, mechanikai szilárdság, az ionizáló sugárzásra stabil és lineáris válasz, kis méretben is gyártható.**

Hátránya: **Drága, bizonyos típusokat hűteni kell.**





Kézi, nagy tisztaságú germánium félvezető detektor

**Izotóp-azonosítás 88** elemű izotóp könyvtárral (állítható)

Detektorkristály méretei: **d: 60 mm, h: 25 mm**

**Energiafelbontás: 1332 keV-nál FWHM < 2,5 keV**

**Hatásfok 3 "x 3" NaI-hoz képest: 10-13 % (1332 keV-nél)**

Energiatartomány: 40 keV - 3 MeV (12 MeV opcionális)

**Súly: 3.6 kg + 0,5 kg akkumulátor**

Méret: 20 cm x 13 cm x 15 cm

**Az akkumulátor élettartama: 5 óra**

Lehűlési idő: 2 óra

A detektor indítási ideje: 2 perc

**Hosszú élettartamú belső Stirling-ciklusú  
elektromos hűtő**

Izotópkategóriák: SNM, NORM, IND, MED

Felhasználói interfész : Android mobiltelefon

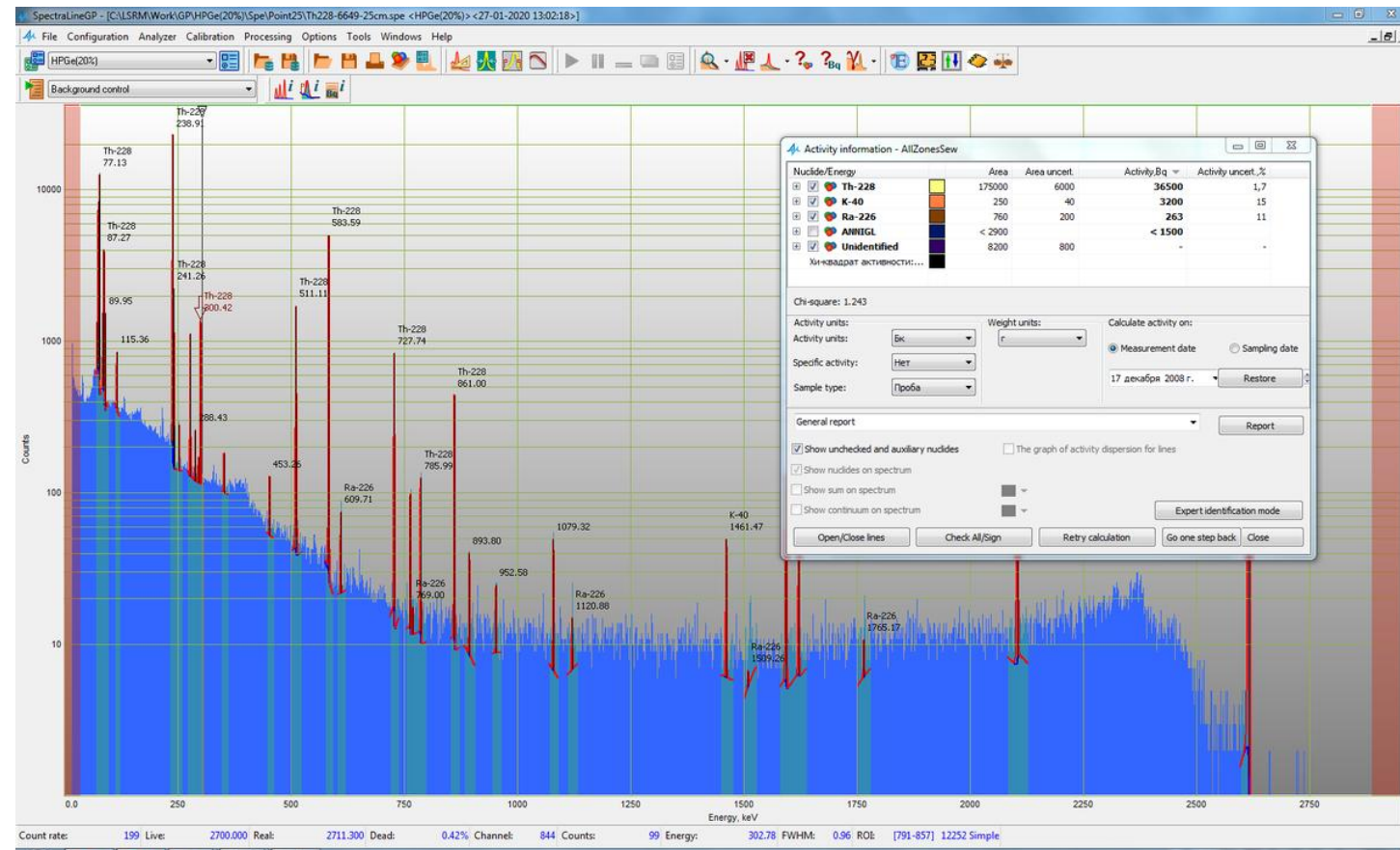
Adatmentés ANSI N42.42 formátumban

Vezeték nélküli adatkapcsolat: távolról működtethető

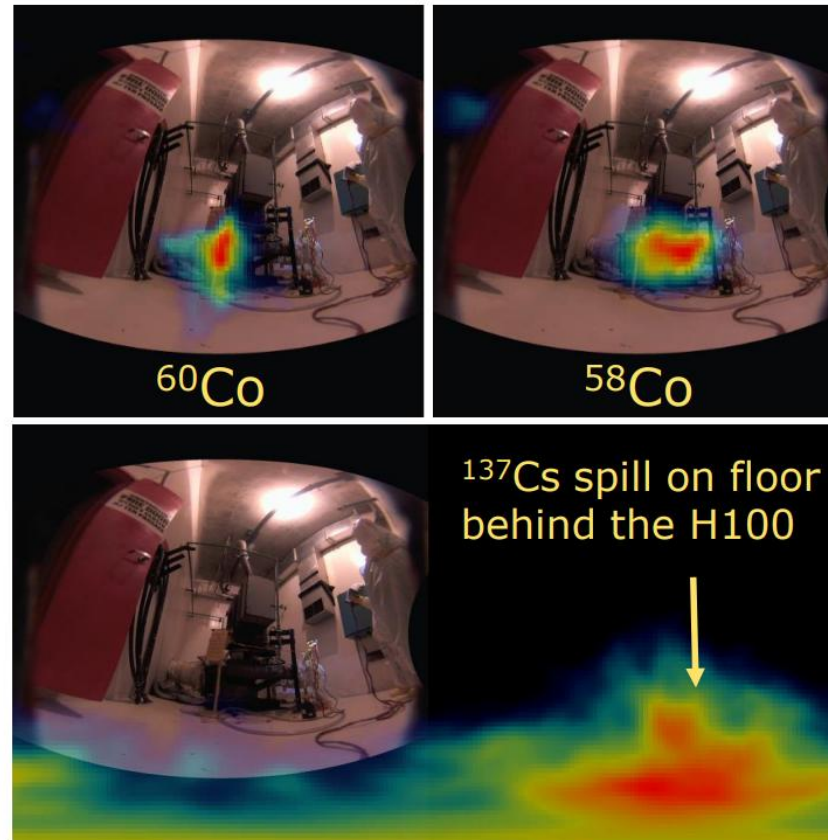
Neutron detektor opcionális



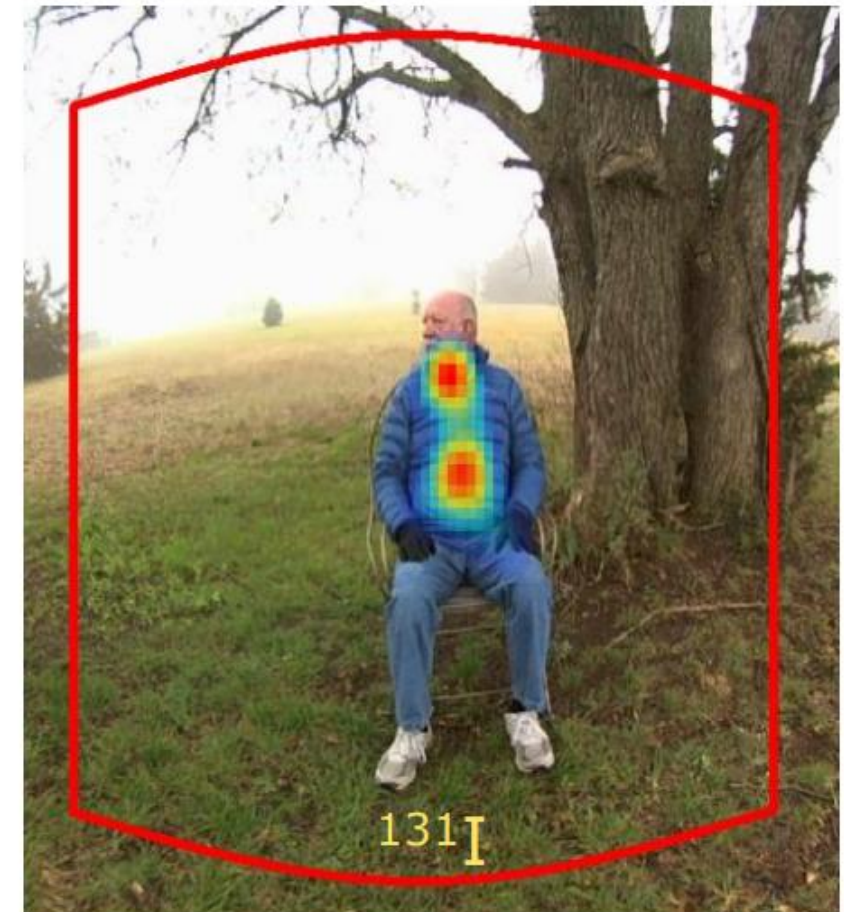
Kimagasló minőségben gyártó, nemzetközileg elismert lettországi, rigai cég. Nukleáris méréstechnikai műszereket gyártanak. Egyik legismertebb termékcsoportjukat alkotják a nagytisztaságú germánium detektorok (HpGe), illetve a sokcsatornás analizátorok (MCA-k).



H sorozathoz tartozó ipari kivitelű **CZT képalkotó spektrométerek**, amelyek alkalmasak a gamma-sugárforrások azonosítására, mennyiségi meghatározására és lokalizálására. Folyamatos gamma spektroszkópai mérés mellett, képes - akár nuklidspecifikus is – színes eloszlási térképet alkotni a sugárzás intenzitásáról, ráillesztve azt az optikai képre. Előnye: **Nincs szükség hűtésre, azonnal használható, a félvezetővel közel azonos felbontású**

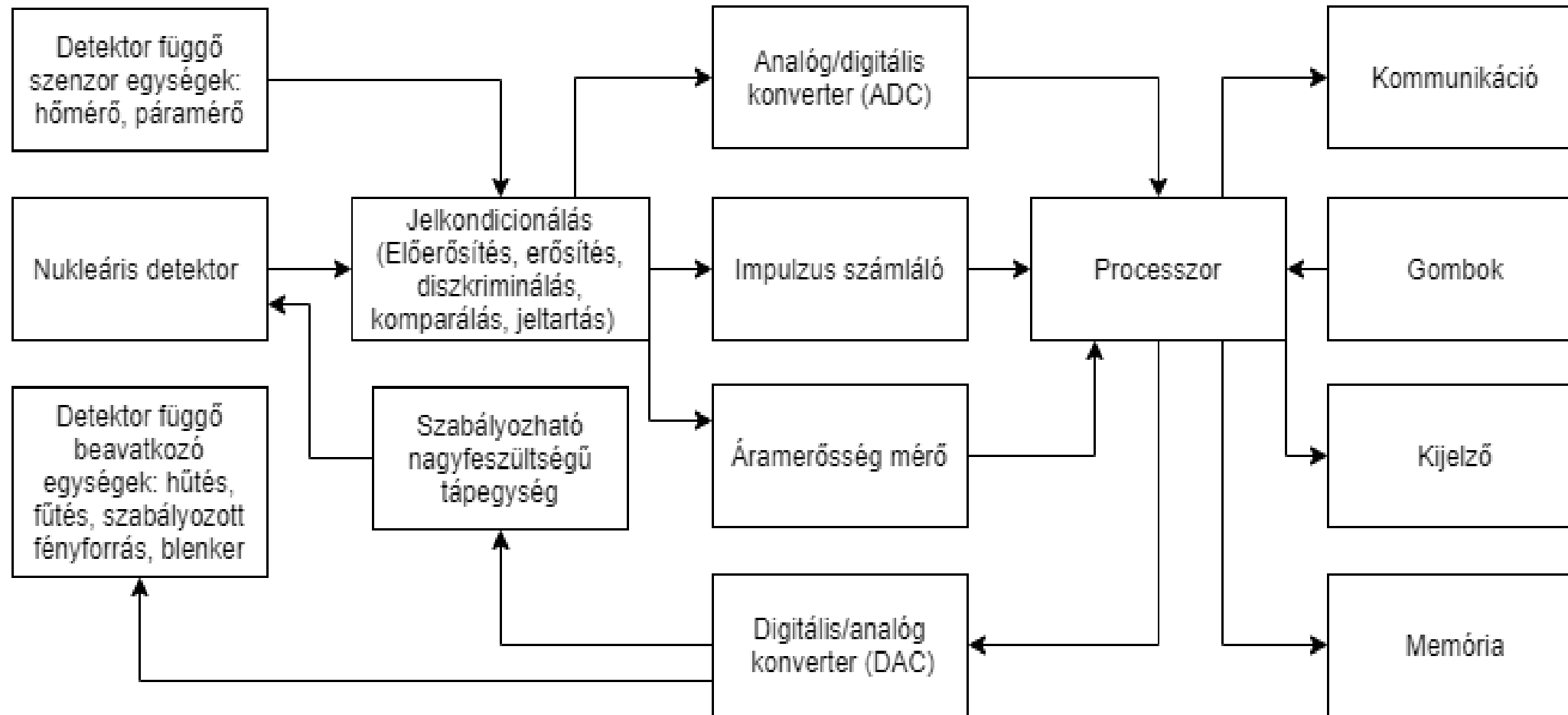


10-minute isotope-specific images of an RHR pump room in a U.S. nuclear facility, using the H Series



## 9.1.4. A nukleáris mérőrendszerek általános felépítése, a sokcsatornás mérőrendszerek felépítése és működési elve.

*Elméleti nukleáris mérőrendszer felépítése, detektor függő kiegészítő részegységekkel.*



**1. Detektor,**

**2. Jelátalakító,**

**3. jelfeldolgozó,**

**4. vezérlő,**

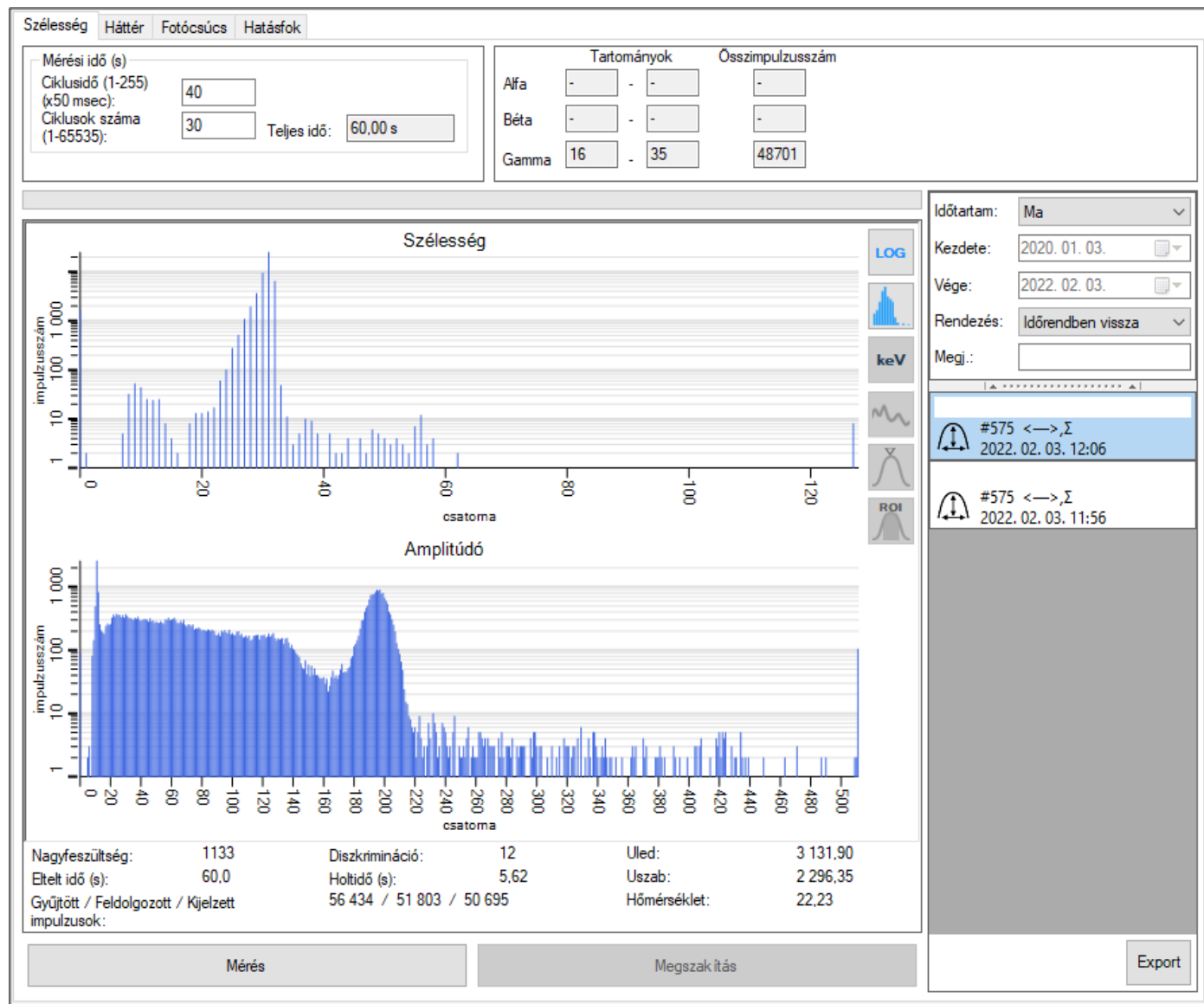
**5. kijelző és adattároló egységek**



**Mérőrendszer lehetséges üzemmódjai:**

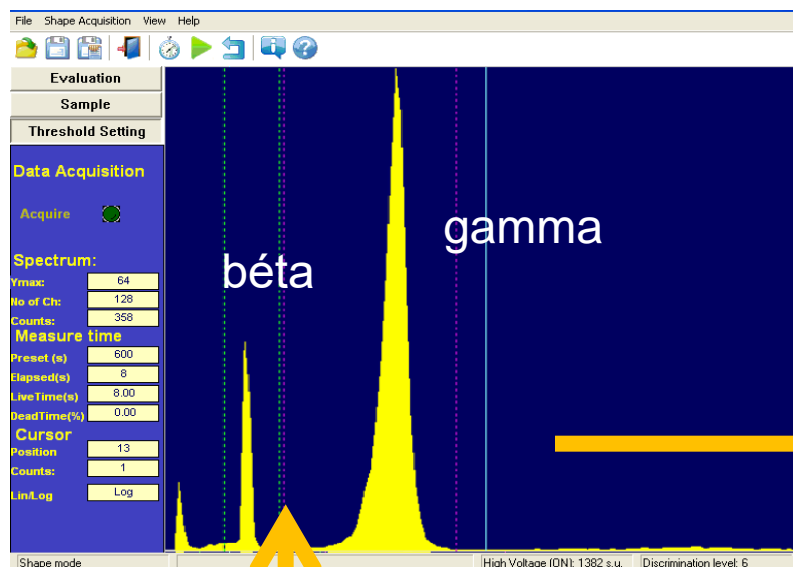
**impulzus:** a válaszjelek egyenként hozzárendelhetők az elnyelt részecskékhez. Energia szelektív detektorokban keletkező impulzuson mérhető:

- **nagysága** (az elnyelt energia függvénye)
- **száma** (az aktivitás függvénye)
- **szélessége** (az elnyelt részecske típusától függ)
- **áram:** a válaszjel folyamatos, jellemzője az áramerősség

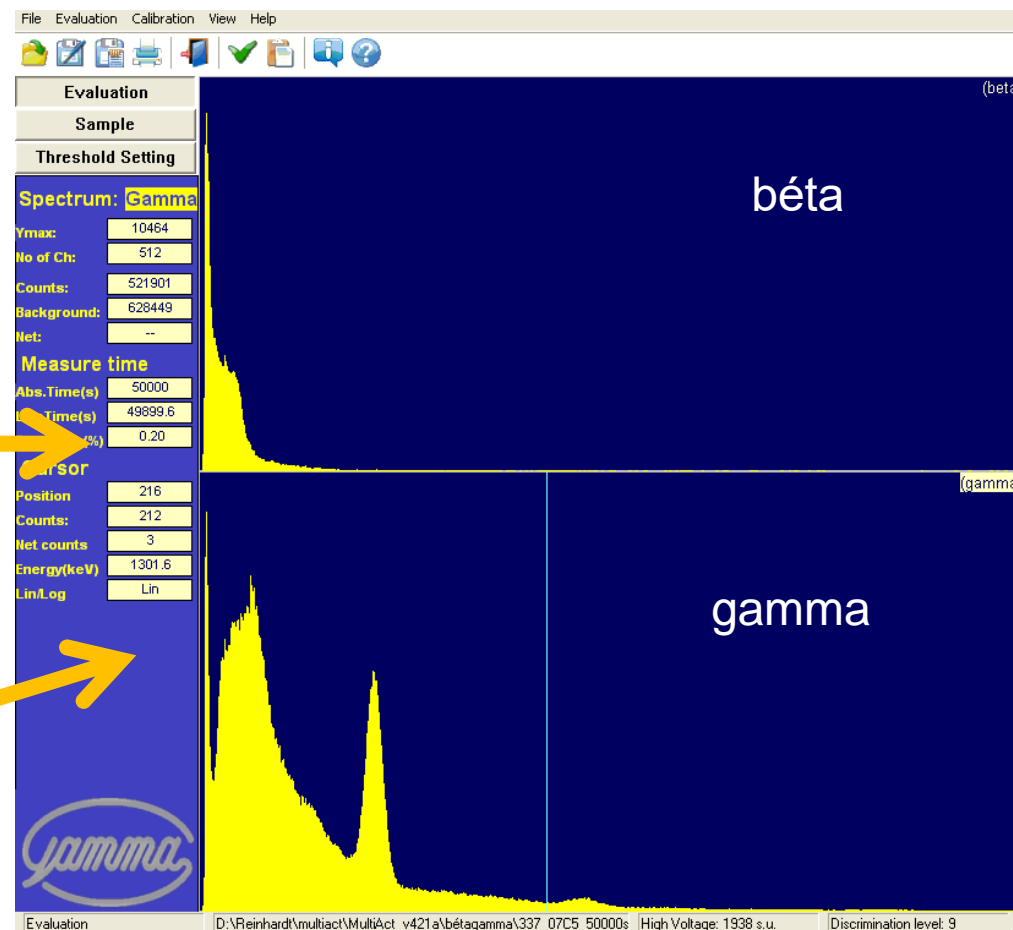
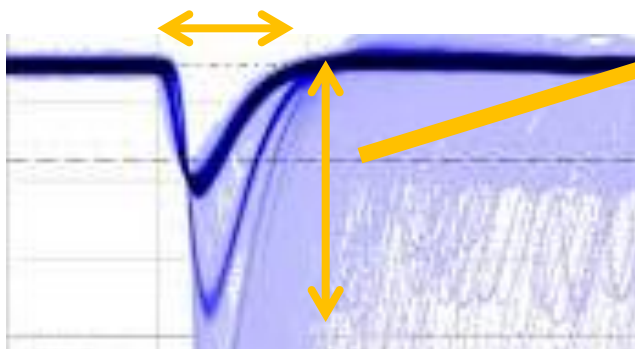
*Cs-137 sugárforrás mérése gamma (NaI(Tl)) szcintillátorral*

A szcintillációs detektorból érkező **impulzusok amplitúdója alapján energia spektrum** a **szélességük alapján szélesség spektrum** hozható létre. A szélesség szerint a különböző **sugárzás fajták szétválasztást** követően, a **gamma energia spektrum alapján izotóp azonosítás** lehetséges.

*Cs-137 sugárforrás mérése béta (PVT plastik), gamma (NaI(Tl)) szendvics szcintillátorral*



128 csatornás szélesség spektrum



512 csatornás energia spektrum

## Egycsatornás analízátor (differenciál diszkriminátor)

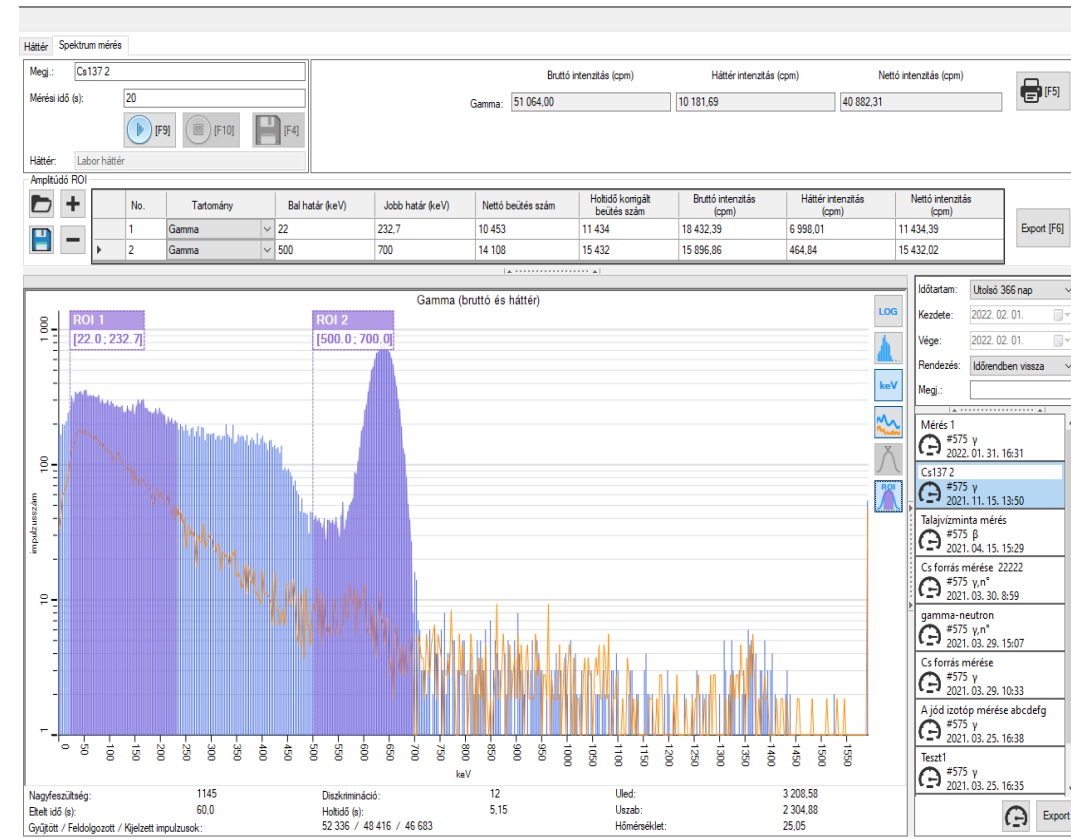
Kapott eredmény: **impulzus/beütés szám**

- **Integrális** mód: a kimenő jelek közül azokat válogatja ki, amelyek egy előre beállított **alapszintnél magasabb amplitúdóval rendelkeznek**
- **Differenciális** mód: a kimenő jelek közül azokat válogatja ki, amelyek az **alapszintnél magasabb és egy másik beállított szintnél alacsonyabb amplitúdó értékek közé esnek**

## Sokcsatornás analízátor

Kapott eredmény: **spektrum**

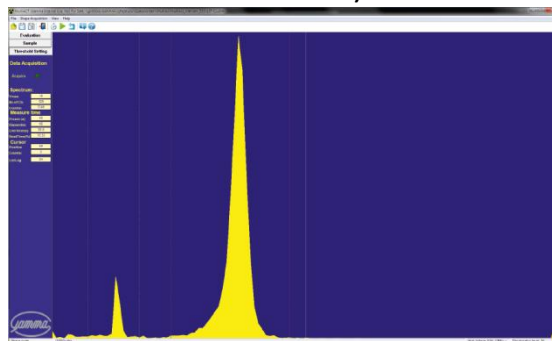
A kimenő jeleket amplitúdó alapján szétválogatja és a megfelelő csatornába helyezi  
**vízszintes tengely: energia vagy csatorna**  
**függőleges tengely: beütések száma**



**Feladat: Ismeretlen izotóp összetételű minta mérése gamma szcintillációs mérőhelyen: Több pontos kalibráció, háttérmérés, mintamérés, kiértékelés.**

1. Jelalak szétválasztás impulzus szélesség szerint. (Csak szendvics detektornál.)

Beütésszám 0..65535

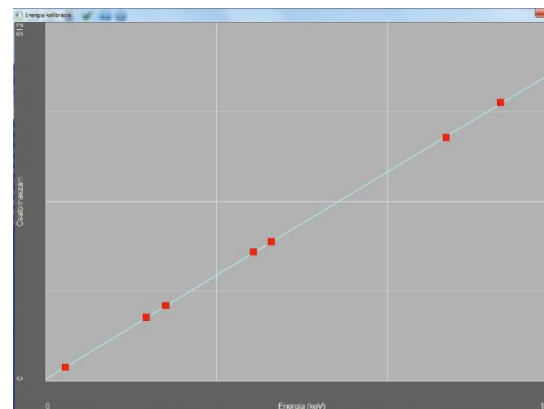


Csatornaszám 0..128

2. Energia kalibráció.

Csatorna - energia megfeleltetés

Csatornaszám 0..512

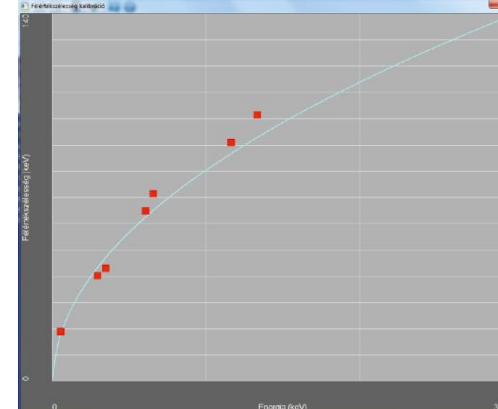


Energia 0..3000 [keV]

3. Félértékszélesség kalibráció.

Csúcsszélesség – energia megfeleltetés

Félértékszélesség 0..140 [keV]

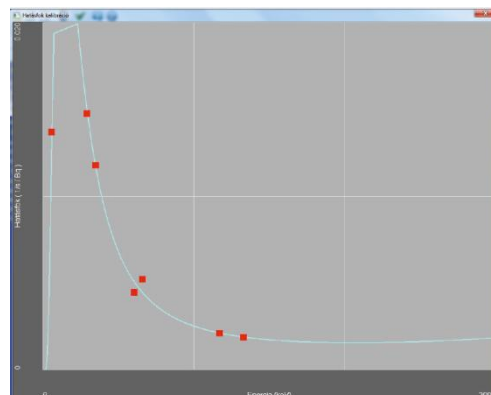


Energia 0..3000 [keV]

4. Hatásfok kalibráció.

Aktivitás– energia megfeleltetés

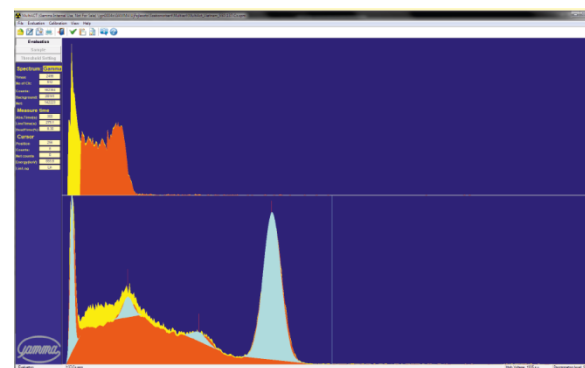
Hatásfok 0..1 [1/s/Bq]



Energia 0..3000 [keV]

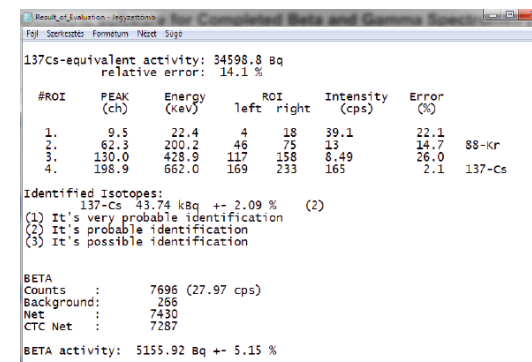
5. Háttérmérés, Ismeretlen minta mérés, háttérlevonás, csúskeresés

Beütésszám 0..65535



Csatornaszám 0..512

6. Kiértékelés: izotóp azonosítás, aktivitás becslés

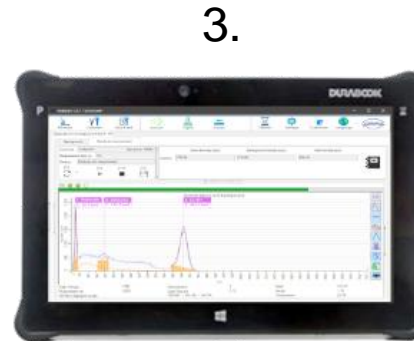




A **mérőrendszer alkalmas a** pajzsmirigy diagnosztikában használt izotópok aktivitásának becslésére.

A mérőrendszer a következő fő elemekből áll:

1. RadNDI szcintillációs detektor, kollimátor, kiegészítő árnyékoló lemez a mérési tartomány megváltoztatásához
2. Állvány
3. Tablet (Windows op. rendszerrel) a telepített RadSpect gamma spektroszkópiai szoftverrel.
4. Szállítóbörönd



## 9.1.5. Felületi szennyezettség mérésének eszközei

Felületi szennyezettség lehet **alfa, béta és gamma sugárzó anyag**. Milyen szintet kell mérni?

**2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet A radioaktív anyag alkalmazása befejezését követően** a sugárveszélyes munkahely sugárvédelmi felügyeletének megszüntetéséhez szükséges elemzés tartalmi követelményei

3.1. A felületeken a **fixált szennyeződések** megengedett értéke **béta- és gamma-sugárzó izotópok esetében 5 Bq/cm<sup>2</sup>**, azonban a felületek radioaktív szennyeződését ezen érték alatt is az észszerűen elérhető legkisebb értékre kell csökkenteni. A felületi szennyezettség 0,4 Bq/cm<sup>2</sup> érték alá történő csökkentése az esetek többségében nem szükséges.

3.2. A felületeken a fixált szennyeződések megengedett értéke **alfa-sugárzó izotópok esetében 0,5 Bq/cm<sup>2</sup>**, azonban a felületek radioaktív szennyeződését ezen érték alatt is az észszerűen elérhető legkisebb értékre kell csökkenteni. A felületi szennyezettség 0,04 Bq/cm<sup>2</sup> érték alá történő csökkentése az esetek többségében nem szükséges.

3.3. A felületeken a fixált szennyeződések megengedett értéke **3H és 14C izotópok esetében 50 Bq/cm<sup>2</sup>**, azonban a felületek radioaktív szennyeződését ezen érték alatt is az észszerűen elérhető legkisebb értékre kell csökkenteni. A felületi szennyezettség 4 Bq/cm<sup>2</sup> érték alá történő csökkentése az esetek többségében nem szükséges.

**MSZ 62-7:2017 szabvány** Az ionizáló sugárzás elleni védelem. 7. rész:

Sugárvédelem nyitott radioaktív anyagok alkalmazásakor.

A felületi szennyezettség ellenőrzésekor a méréseket a következő nagyságú felületekre kell átlagolni:

**testfelszín: 100 cm<sup>2</sup>**

**padló, falak, mennyezet: 1000 cm<sup>2</sup>**

**egyéb felületek: 300 cm<sup>2</sup>**

**pontszerű szennyezés gyanúja esetén: 1 cm<sup>2</sup>**

A mérni hitelesített, illetve kalibrált felületi

**szennyezettség mérővel, vagy dörzsminta mérésével** kell

A felületi szennyezettség beavatkozási szintjei

Felületek	Beavatkozási szintek (Bq /cm <sup>2</sup> )		
	α-sugárzók	β-sugárzók	<sup>3</sup> H, <sup>14</sup> C, <sup>99m</sup> Tc
Helyiségek és tárgyak az ellenőrzött területen	5	50	500
Helyiségek és tárgyak felületén az ellenőrzött területen kívül, személyes öltözéken	0,5	5	50
Védőruha külső felületén	5	50	500
Védőruha belső felületén	0,5	5	50
Bőrön	0,5	5	50

## 9.1.5. Felületi szennyezettség mérésének eszközei

Lehetséges mérési módszerek:

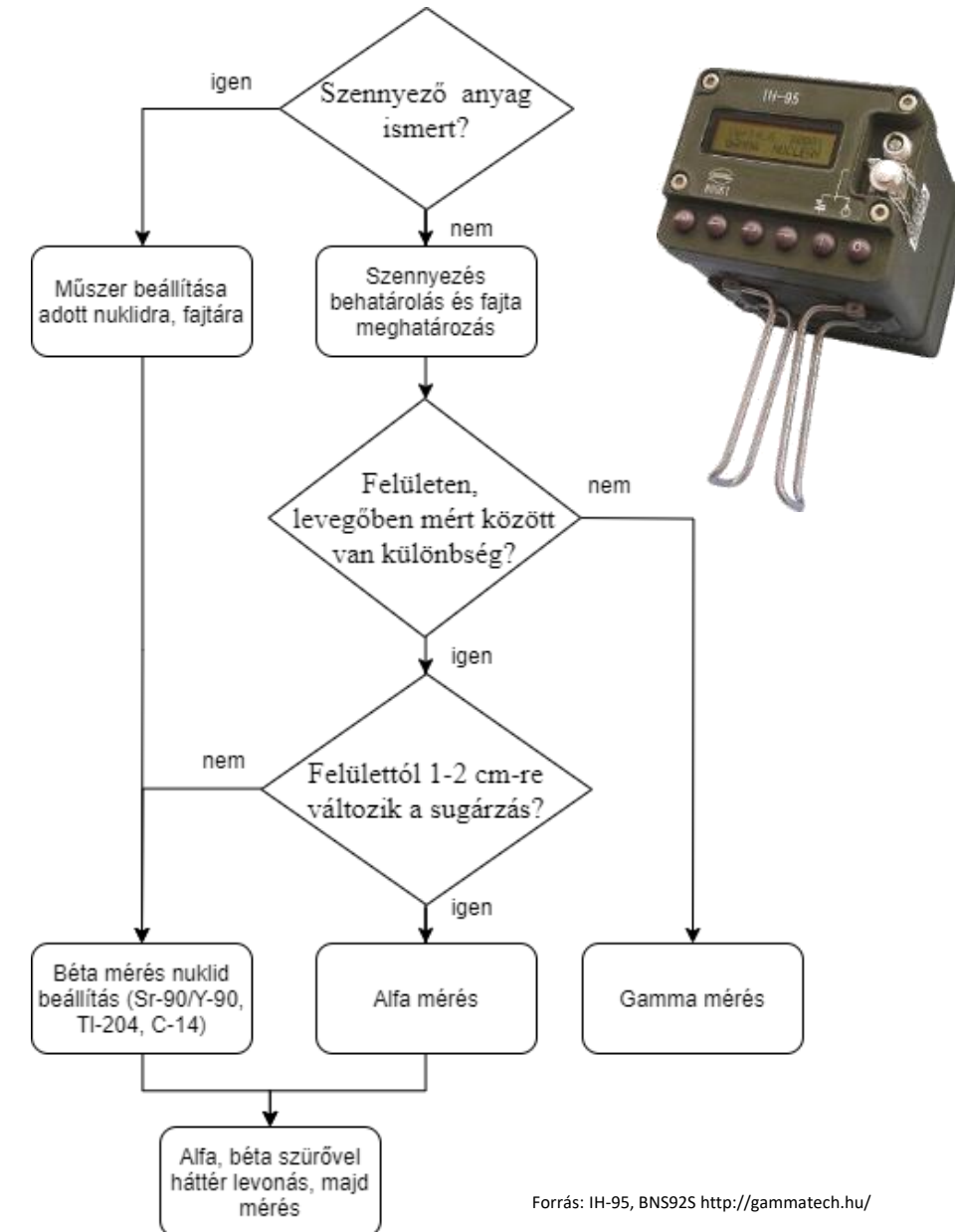
- **Közvetlen felületi szennyezettség mérés** során meg kell különböztetni a **gyors keresés és pontos szennyezettség mérést**.
- **Gyors keresés:** alfa+béta+gamma [cps] kijelzés. Ilyen esetben a **cél a szennyezések helyének lokalizálása. Nagy gamma források közelében nem használható.** A keresendő területet alaposan végig kell mérni a **felülettől max . 1-2 cm re**, mivel pár cm levegő vagy árnyékolás is komoly hibát vihet a mérésbe.
- **Pontos szennyezettség mérés:** adott sugárzás fajtára [Bq/cm<sup>2</sup>] kijelzés. **Mérés menetét GM csővel lásd folyamatábrán.**
- **Közvetett felületi szennyezettség mérés** elsődlegesen **magas gamma háttérű helyeken használható.** Ilyenkor a közvetlen mérés helyett, **dörzsmintát érdemes venni és a mintát alacsonyháttérű mérőhelyen megmérni.**

Lehetséges mérőműszerek:

- **Végablakos GM cső** (alfa, béta, gamma sugárzás nem szétválasztható),
- **Végablakos proporcionális számláló** (alacsony érzékenység),
- **Szcintillációs detektor alfa: ZnS(Ag), béta: PVT plastik** (magas ár),
- **Szilícium Felületi záróréteges félvezető detektor (PiPS)** (csak alfa)

Felületi szennyezettség kvantitatív mérésére kalibrálhatók, ezért **cps** kijelzés mellett **Bq /cm<sup>2</sup>** felületi aktivitás koncentráció (felületi szennyezettség) kijelzés is lehetséges.

*Közvetlen felületi szennyezettség mérése GM csöves műszerrel*



**A SurfaceCheck felületi szennyezettség mérőrendszer** egy nagy felületű végablakos GM csővel szerelt mérőszondát és egy kijelző egységet tartalmaz.

A szonda kábelesen csatlakozik a kijelző egységhez, lehetővé téve személyek

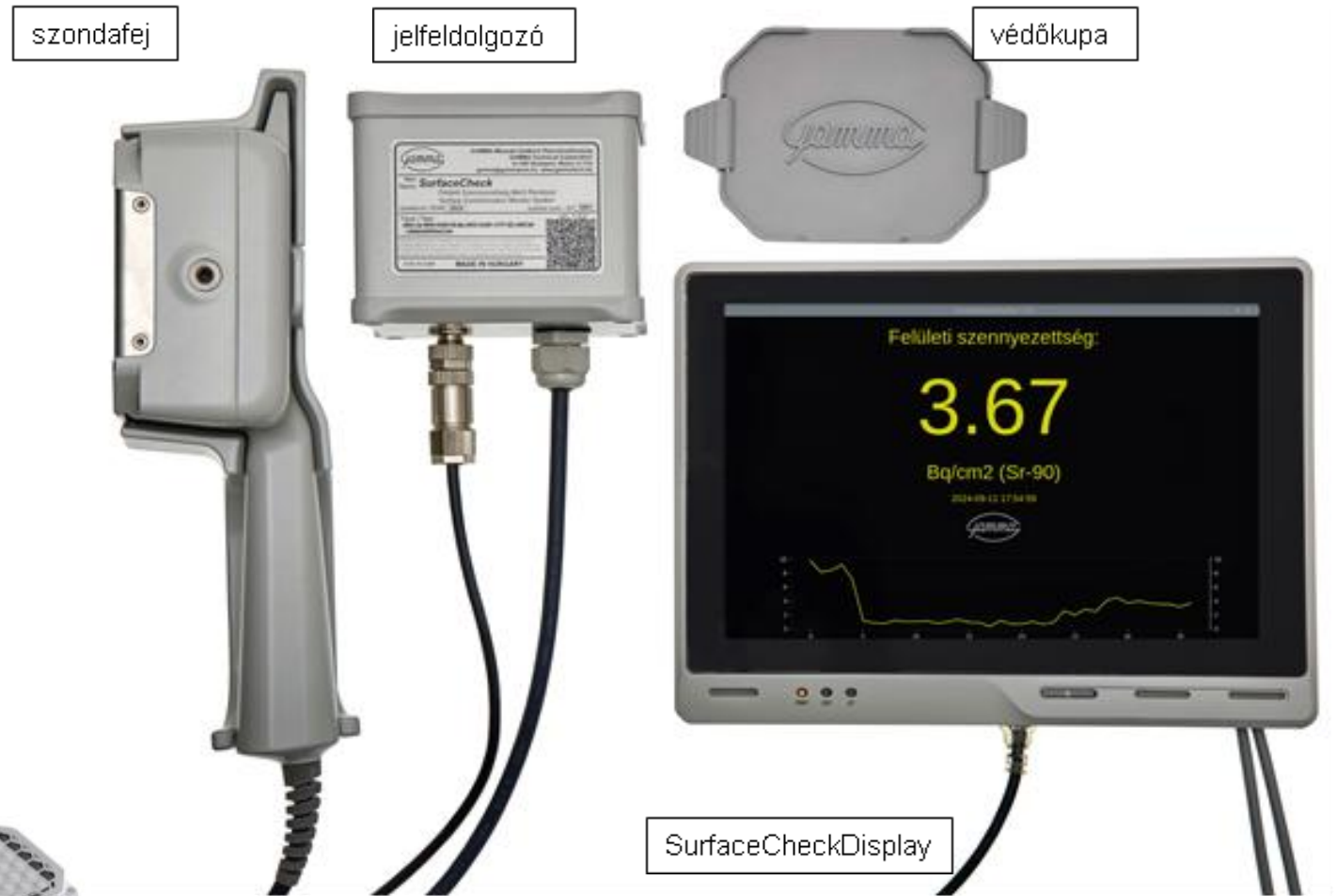
**testfelületének és tárgyak**

**szennyezettségének** önellenőrzését

sugárveszélyes munkahelyek kijáratánál.

A sugárzásmérő műszer széles működési tartományban képes az **alfa, béta és gamma** sugárzás mérésére.

10"-es kijelzővel rendelkezik.





## Dörzsminta mérés

Feladat: **Ismert izotóp összetételű, de ismeretlen aktivitású radioizotóppal szennyezett felületi minta** mérése (általában 2 minta 1 helyről-> dörzsölési hatásfok meghatározás)

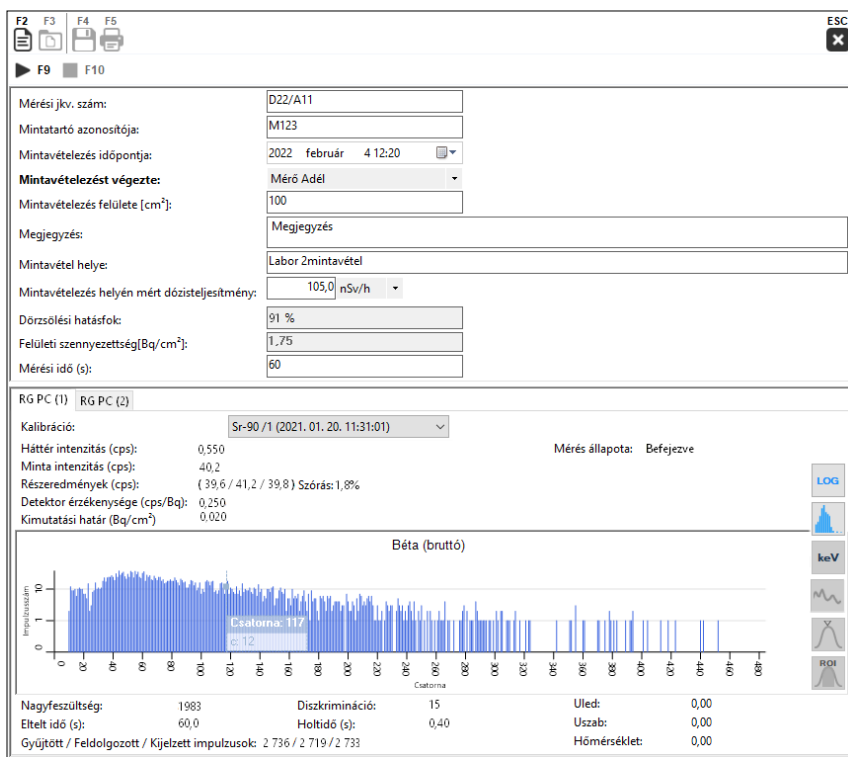
A pontos méréshez a **mintavétel és minta előkészítés** elengedhetetlen.

Béta mérés esetén ajánlott mérési összeállítás: **Alacsony háttérű PVT** plastik szcintillációs összes béta mérőhely.

Akár 2 detektor a minták párhuzamos mérésére.

**Kimeneti adatok** jegyzőkönyvbe: **háttér intenzitás [cps], mért minta intenzitása [cps], detektor érzékenység [cps/Bq], kimutatási határ [Bq/cm<sup>2</sup>], dörzsölési hatásfok [%] és a felületi szennyezettség [Bq/cm<sup>2</sup>].**

A mérő rendszer alkalmassá tehető még: Folyadék, Aeroszol, térfogati minta mérésre is.



Az ipari besugárzóknál alkalmazott nukleáris mérés technikai módszerek olyan eljárások, amelyek **ionizáló sugárzást** használnak különböző **fizikai és kémiai tulajdonságok mérésére**.

Módszereket:

### 1. Abszorpciós módszerek

A sugárzás anyagon való áthaladásakor bekövetkező intenzitáscsökkenést használják ki. Gamma-sugárzás abszorpcióján alapuló sűrűségmérés. Az anyagon áthaladó sugárzás intenzitása csökken, és a detektor ezt méri. Alkalmazások: folyadékok, **szuszpenziók és szilárd anyagok sűrűségmérése**. Röntgensugaras **nedvességtartalom-mérés** A különböző anyagok eltérő mértékben nyelik el a röntgensugarakat, így a nedvességtartalom meghatározható.

### 2. Szóródásos módszerek

A sugárzás anyagon belüli szóródásán alapulnak. Neutronszóródásos **nedvességmérés** Alkalmazás: **talajnedvesség-mérés, építőanyagok víztartalmának** ellenőrzése .Rugalmatlan neutron-szóródás Az energiaveszteséget a visszaszórt neutronok sebességéből számítják ki, ami információt ad az **anyag összetételéről**.

### 3. Aktivációs analízis

**Neutronaktivációs analízis (NAA)** A minta **neutronbesugárzás során radioaktív izotópokká** alakul, majd ezek **gamma-sugárzása alapján azonosíthatók** az elemek. Alkalmazás: **anyagvizsgálat, kohászat**, környezetvédelem.

**Prompt-gamma neutronaktivációs analízis (PGNAA)** neutron besugárzás azonnali gamma-sugárzás méréssel.

### 4. Fluoreszcens módszerek

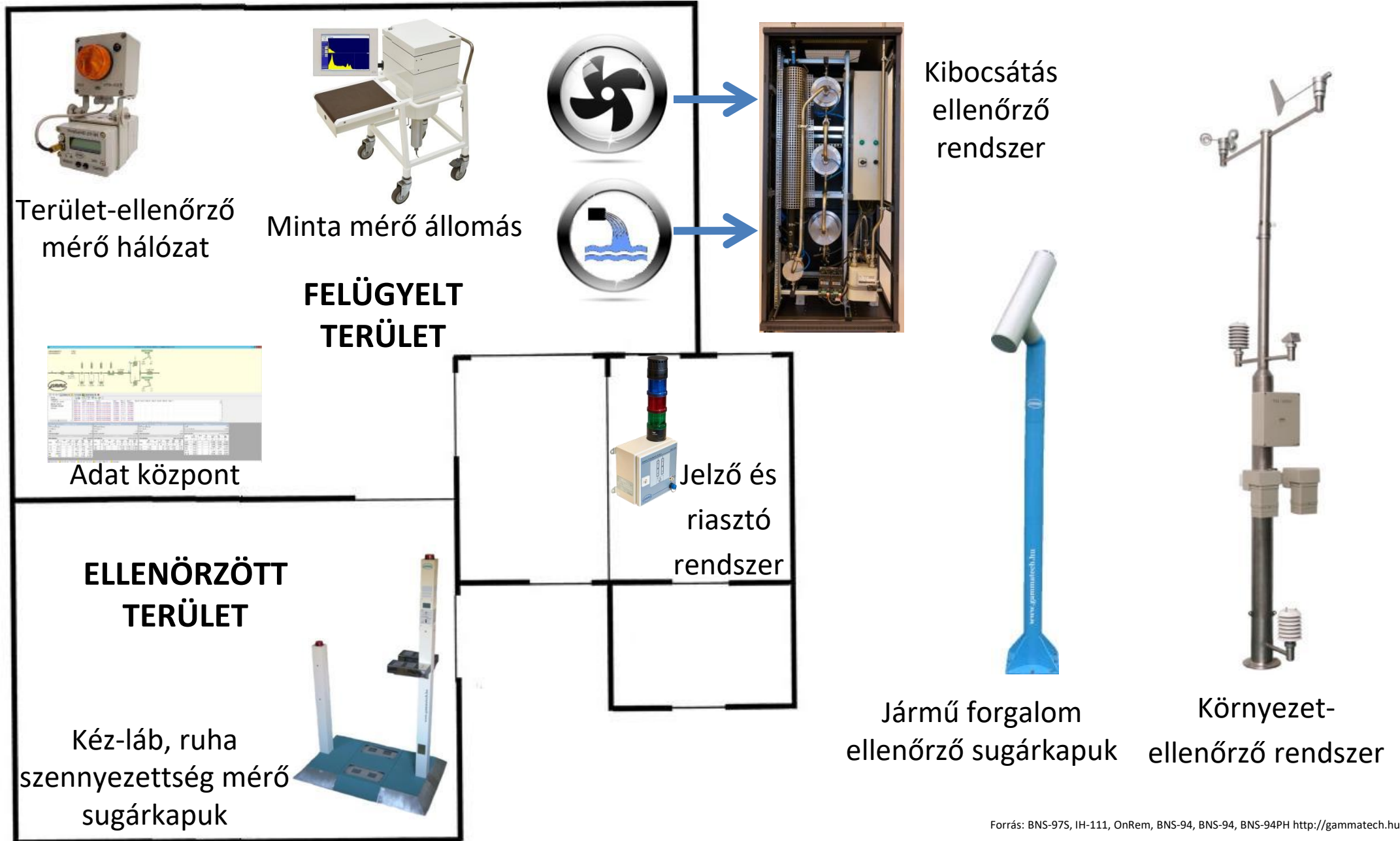
**Röntgenfluoreszcencia (XRF)** A röntgensugárzás **gerjeszti az anyagot**, és az abból kibocsátott karakterisztikus röntgensugárzás alapján meghatározható az **összetétele**. Alkalmazás: **fémek, ötvözetek, ásványok** elemzése.

**Gamma-fluoreszcens analízis**. Hasonló az XRF-hez, de **gamma-sugarakat alkalmaz gerjesztésre**.

### 5. Szintézis módszerek

**több sugárzást használnak egyidejűleg**, hogy maximalizálják a mérési pontosságot és hatékonyságot. Pl.: neutronok és gamma, röntgen- és neutron sugárzás együttes alkalmazásával vizsgálják az alapanyagokat.

*Elméleti sugárveszélyes munkahely alaprajza sugárvédelmi mérőrendszerekkel.*





# 14.1.1. Sugárvédelmi ellenőrző rendszer / Terület-ellenőrző hálózat

**Terület-ellenőrző rendszer feladata** a felügyelt területen a **sugárzási szint folyamatos nyomon követése, figyelmeztetési és riasztási szint átlépése esetén fény és hangjelzés, adatmentés.**

A mérési feladatot jellemzik a **gyorsan változó magas dózis terek**, a fő kihívás a **detektorok túlterhelése** a **magas holtidő**, a **riasztási szintek megfelelő megválasztása.**

Részei:

**Helyiségenként mérőtávadók**, Tartózkodási helyiségekben **riasztó egységek** (kijelző, fény-, hangjelző egységek), **riasztás nyugtázó gomb**, **adat központ.**

(Aktuális adatok megjelenítése és tárolása, rendszer adminisztráció), kliens gépek (távoli elérés)

Ajánlott mérő eszközök:

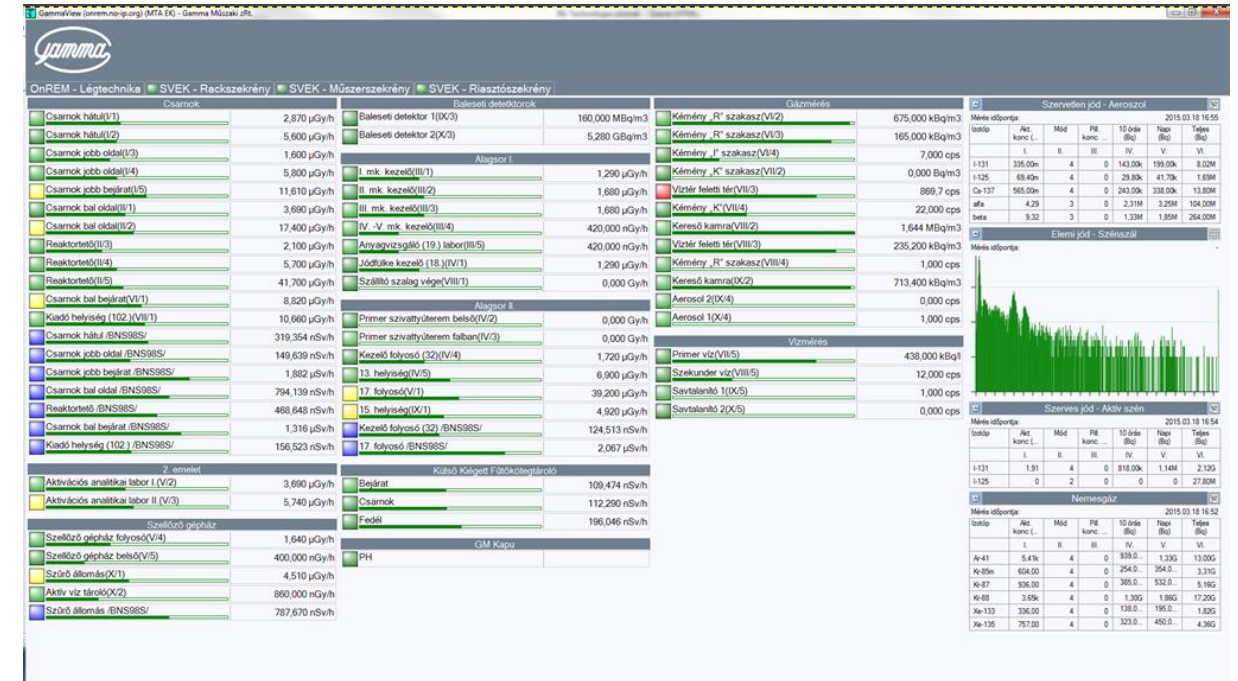
**GM csővel szerelt távadók** (általános célra használható, széles méréstartomány)

**Szcintillációs detektorok** (alacsony, változó energiájú terekben alkalmazható)

További felhasználás: Esemény rekonstrukció, dózis számítás,

tartózkodási idő ellenőrzés, forrás felügyelet,

radioaktív izotópokkal kezelt betegek nyomon követése



## 14.1.1. Sugárvédelmi ellenőrző rendszer / Sugárkapuk

A sugárkapu rendszer feladata a felügyelt és ellenőrzött területek határán áthaladó **személyek**, illetve a **járműforgalom mérése**, szignifikáns sugárszint emelkedés esetén **riasztás** generálása, ezzel **szállított** radioaktív **szennyeződés terjedésének megakadályozása**.

Jellemzői:

Nagy érzékenység, dinamikusan változó riasztási szint, foglaltság mentes időszakban folyamatos háttérmérés.

Nehézségek:

Nem hitelesíthető mérés, téves riasztások lehetnek természetben előforduló sugárzó anyagok miatt.

Mérési feladatok:

- 1. Kéz, láb, ruha szennyezettség mérése:** Kéz (tenyér) – láb(talp) esetében béta, gamma felületi szennyezettség, ruha esetében gamma sugárzás mérése. Forgóvillák, áteresztő pontok vezérlése. Lassú áthaladás jellemzi: Beállítás+ mérési idő (5-6 másodperc/ember)
- 2. Személyek, csomagok tömeges mérése:** Közlekedési folyosókon áthaladó személyekből, csomagokból kibocsátott gamma (neutron) sugárzás mérése. Alkalmazható nagy forgalmú helyeken, ahol nem korlátozható az áthaladás.
- 3. Járműforgalom ellenőrzése:** nagytérfogató szcintillációs detektorokkal gamma, esetleg neutron sugárzás mérése a jármű árnyékoló hatásának és sebességének kompenzálásával.
- 4. Folyosók falának, padlójának szennyezettségének ellenőrzése:** Nagy területek felületi szennyezettségének gyors mérése.



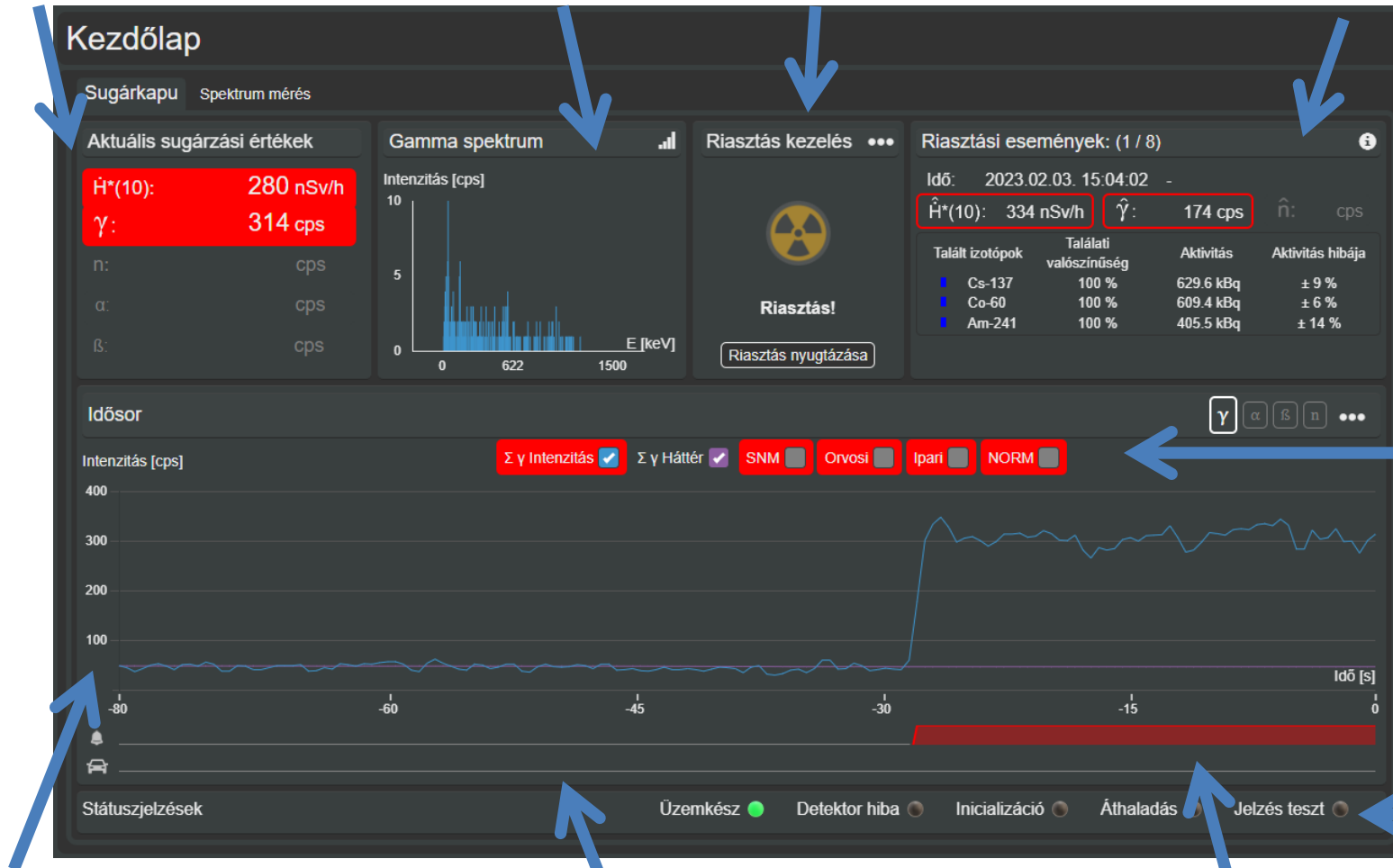
## Sugárkapu kezelő szoftver képe

Mért értékek sugárzás  
fajtánként

Gamma spektrum  
előnézet

Riasztások nyugtázása

Riasztáskor mért értékek,  
azonosított izotópok listája



Izotóp kategóriák

Státuszok

Az elmúlt 80 másodperc  
sugárzási szintje

Foglaltság érzékelés

Riasztás vizualizáció

## 14.1.1. Környezetellenőrző rendszer

A környezetellenőrző rendszer feladata a **sugárveszélyes tevékenység környezetre gyakorolt hatásának nyomon követése**.

A mérési feladatot jellemzik a lassan változó, alacsony sugárzási szintek. A fő kihívás a legalacsonyabb kimutatási határ elérése a lehető legrövidebb idő alatt, a természetes (pl.: radon) és mesterséges sugárzás szétválasztása, terjedés meghatározása.

Feladatok:

- **Levegő aktivitás koncentráció mérése:** Levegőt át kell szívni aeroszol-, elemi-, szerves-, szervesetlen jód szűrőn (szeparált vagy kombinált szűrőn), majd a szűrőn kell mérni az aktivitást. A mérést végre lehet hajtani offline (minta vétel, majd mérés) vagy online (mintavétel közben mérés) módon. Offline nagy térfogatáramú a mintavevővel akár  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ -es kimutatási határ is elérhető, de az eredmény csak hetek múlva lesz meg.
- **Kihullás mérése.** A csapadékot be kell gyűjteni, majd minőségi és mennyiségi analízist kell a mintán végezni.
- **Háttérsugárzás mérése.** Gamma környezeti dózisegyenérték-teljesítményt,  $H^*(10)$  [ $\text{Sv/h}$ ] kell mérni a szennyezést kibocsátó létesítmény körül. Mérési pontok helyének kijelölése tervezhető baleseti szimulációkkal.
- **Környezeti dózis terhelés mérése.** A hosszú távú környezeti hatások megfigyelése a környezetbe kihelyezett doziméterekkel. Pl.: A lakossági dózis korlátok betartásának igazolása.





## 14.1.1. Kibocsátás-ellenőrző rendszer

A Kibocsátás-ellenőrző rendszer feladata **kibocsátási útvonalon távozó radioaktív anyag mérése, kibocsátás szabályozása és annak igazolása**, hogy a sugárveszélyes tevékenység **nem bocsátott ki az engedélyezett kibocsátási szintnél nagyobb aktivitást**. Szabályozás: 15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről.

Halmazállapot alapján meg kell különböztetni **légnemű és folyékony kibocsátást**. Szilárd kibocsátás a radioaktív hulladékok kezelése és minősítése téma területéhez tartozik.

**Az egyes kibocsátási pontokra a hatóság radioizotóponként éves kibocsátási korlátokat engedélyez.** A határértéknek megfelelést izotópazonosítással, aktivitás meghatározással és térfogatáram-méréssel, lehet igazolni.

Mérési megoldások:

**Offline mérés: Visszatartott és tárolt szennyezett levegő, víz kibocsátás előtti mintavétel, majd a minta mérése és minősítése.** Hátránya, hogy emberi erőforrás- és időigényes.

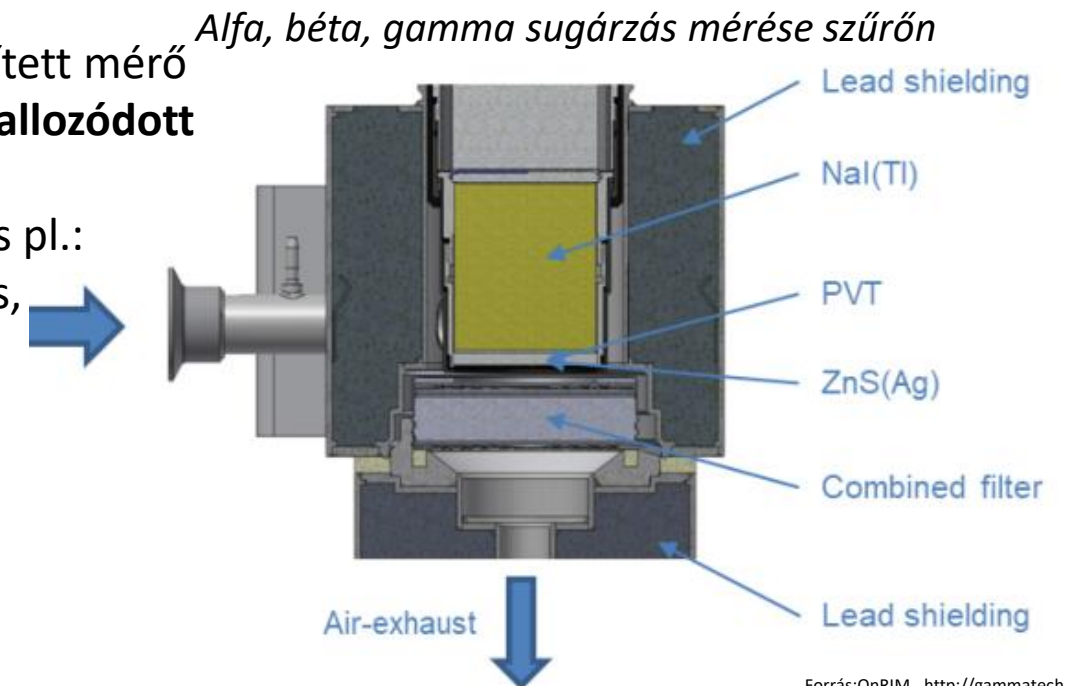
**Online mérés:** A légtechnikába, illetve szennyvíz kezelő rendszerbe beépített mérő egység **automatizált módon** méri a **csőben közlekedő** vagy a **szűrőn felhalmozódott szennyeződést**.

Előnye: Adott szint feletti kibocsátás esetén azonnali beavatkozásra képes pl.: tartalék szűrőre átállás, recirkuláció, bekapcsolás, tároló beiktatás, hígítás, diszperzió.

Hátránya: magas kimutatási határ.

**Normál üzemi és baleseti mérő rendszereket kell telepíteni.**

Nemesgáz és trícium mérése csak nukleáris létesítményeknél, áramlásos detektorokkal

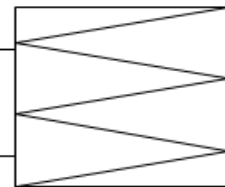
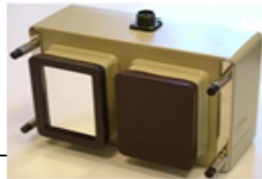




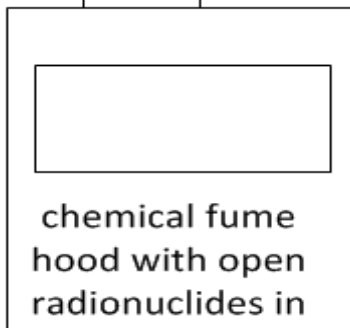
## *Légnemű radioaktív kibocsátás-ellenőrző rendszer szemléltető ábra*

Hol lehet mérni: Csőben, technológia szűrőn, mintavételi ágban

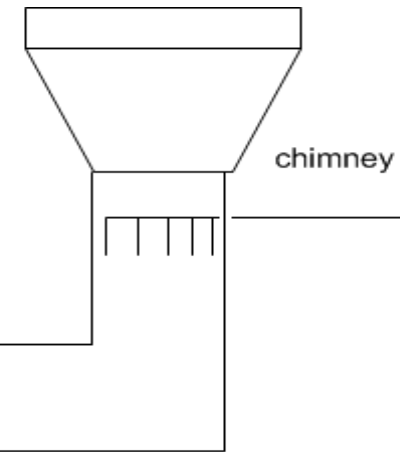
BNS-298 surface contamination meter  
mounted into the wall of the pipe



IH-99D collimated  
and shielded high  
dose tolerance  
detector mounted  
on the filter



chemical fume  
hood with open  
radionuclides in



chimney

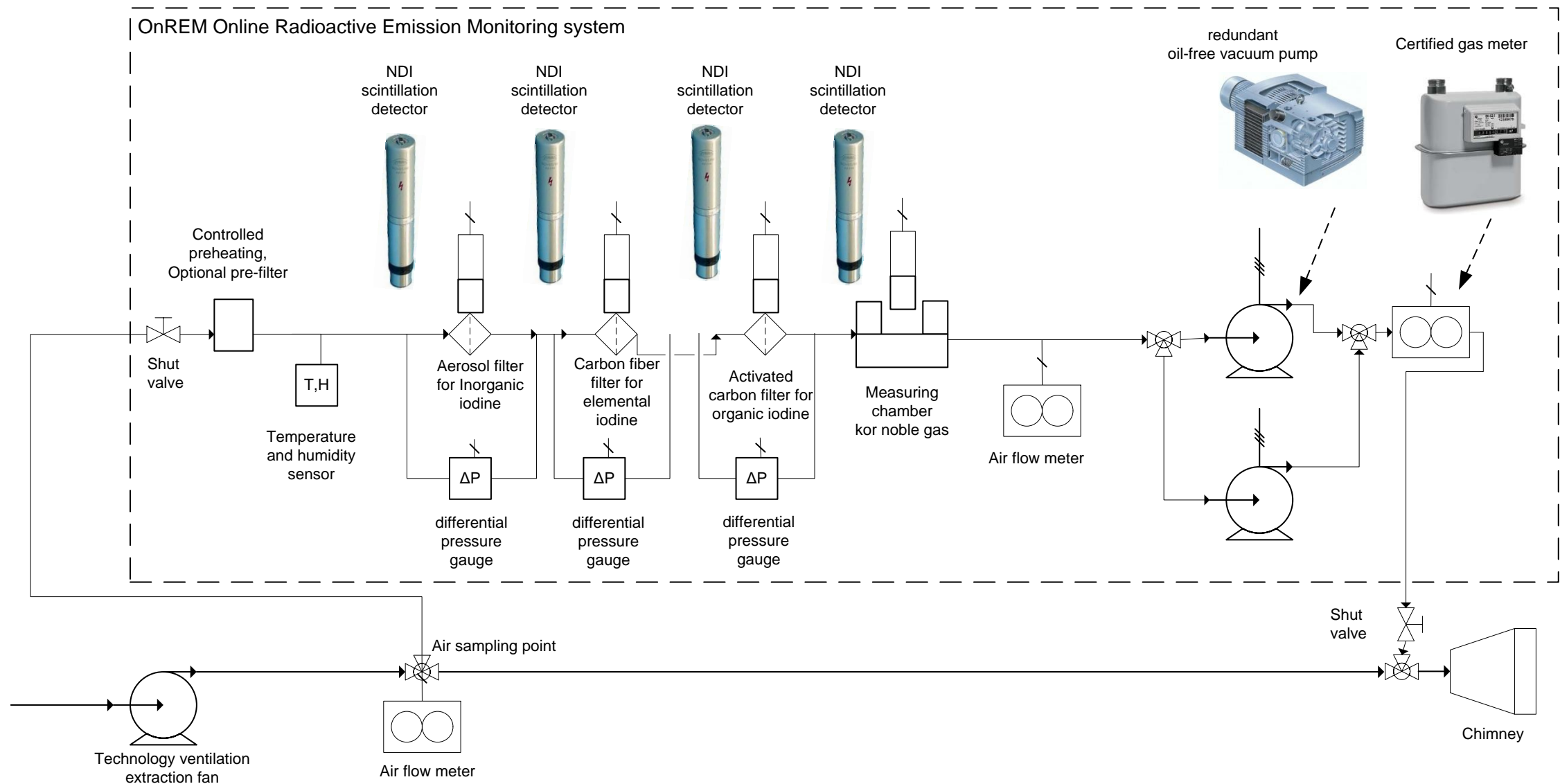


OnREM-lab  
combined filtered  
online emission  
monitor

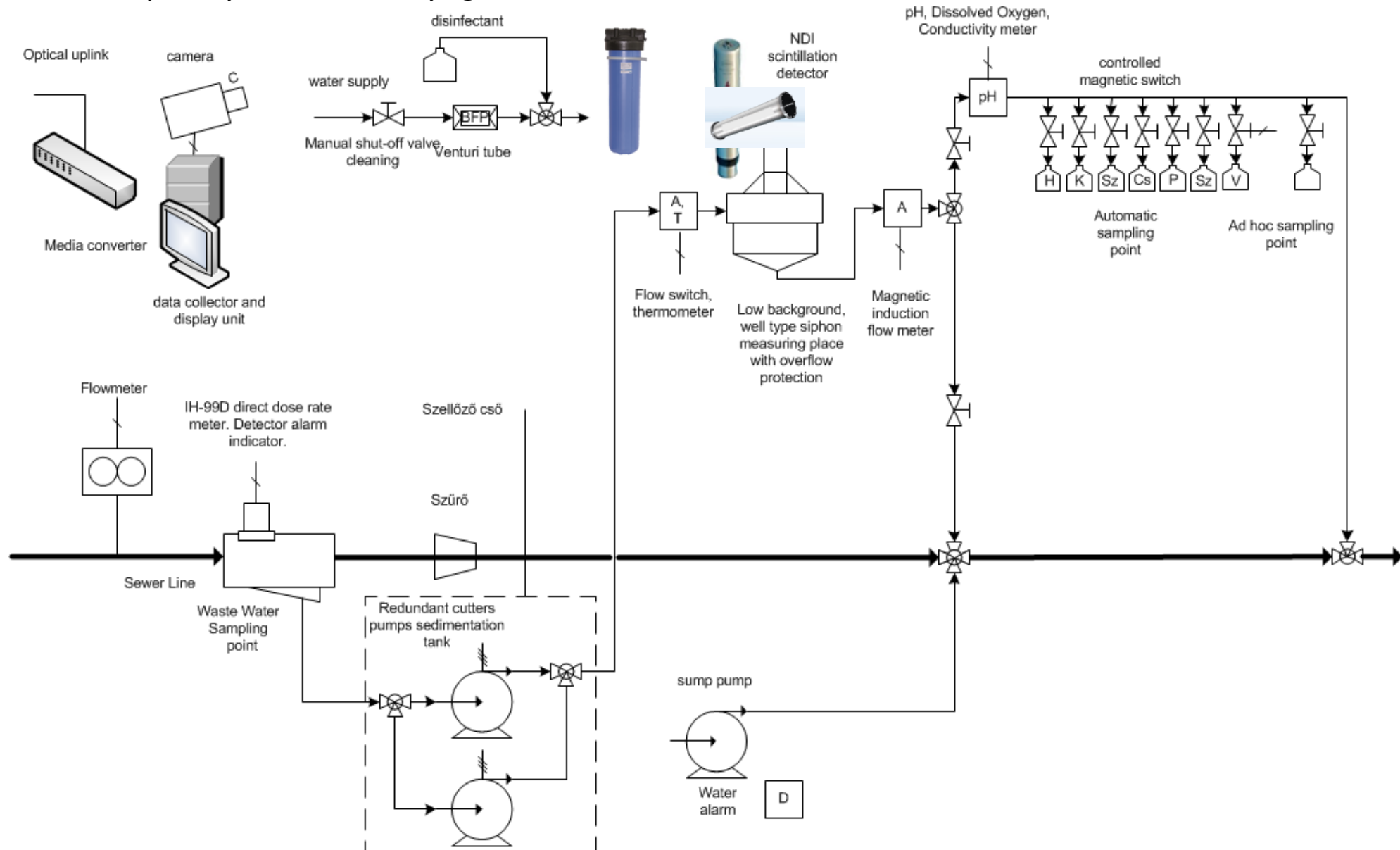


OnREM complex  
online emission  
monitor

## Légnemű radioaktív anyag kibocsátás-ellenőrző rendszer működését szemléltető ábra



*Folyékony radioaktív anyag kibocsátás-ellenőrző rendszer működését szemléltető ábra*



## Aeroszol vagy folyadék mérés

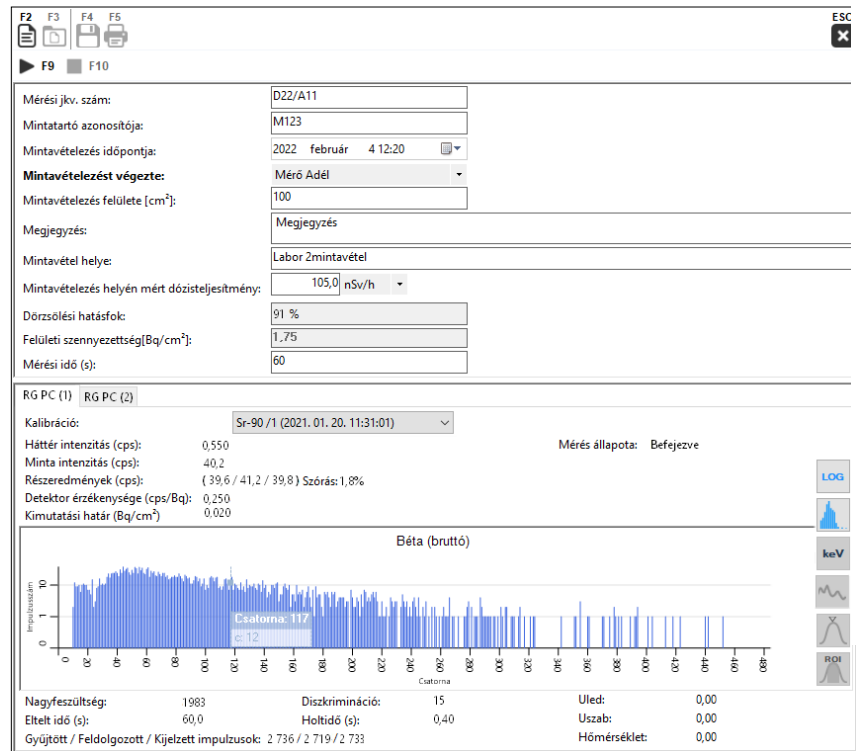
Feladat: Ismert izotóp összetételű, de ismeretlen aktivitású radioizotóppal szennyezett térfogati minta mérése

A pontos méréshez a mintavétel és minta előkészítés elengedhetetlen.

Alfa, béta gamma mérési lehetőség.

Akár 2 detektor a minták párhuzamos mérésére.

**Kimeneti adatok jegyzőkönyvbe: háttér intenzitás [cps], mért minta intenzitása [cps], detektor érzékenység [cps/Bq], kimutatási határ [Bq/cm<sup>2</sup>], dörzsölési hatásfok [%], felületi szennyezettség [Bq/cm<sup>2</sup>] vagy aktivitás l vagy [Bq/l] vagy [Bq/m<sup>3</sup>].**



**II. témakör: dozimetria, mennyiségek és egységek, mérés technika**

16. Mi az elnyelt dózis?
- a. a valamely térfogatelemben elnyelt energia és a térfogatelem tömegének a hányadosa
17. Milyen hatások jellemzésére használható az effektív dózis?
- b. csak a sztochasztikus
18. Melyik sugárzástípusnál függ a sugárzási súlytényező a részecskék energiájától?
- a. neutronsugárzásnál
19. A sugárzási súlytényezők meghatározásakor mi a viszonyítási alap (melyik sugárzás tényezőjét tekintjük 1-nek)?
- c. a röntgen- és gamma-sugárzás
20. Az effektív dózis számításakor milyen tényezőkkel súlyozzuk az egyenértékű dózisokat?
- c. a sugárzás fajtájára és a besugárzott szervre vonatkozó tényezőkkel
21. Mi jellemzi a termolumineszcens dózismérőket?
- a. viszonylag tág energiahatárok között alkalmasak dozismeghatározásra, és általában többször felhasználhatók



## II. témakör: dozimetria, mennyiségek és egységek, mérés technika

22. Mi az egyenértékdózis és az effektív dózis mértékegysége?  
b. sievert (Sv)
23. Mi az „egyenértékdózis” és a „dózisegyenérték” közti alapvető különbség?  
b. az elnyelt dózist az egyenértékdózis esetében a sugárzási súlytényezővel ( $w_R$ ), a dózisegyenérték esetében a minőségi tényezővel ( $Q$ ) szorozzuk
24. Nagyon kis mennyiségű felületi radioaktív szennyezettség felderítésére melyik műszertípus a legalkalmasabb?  
b. végablakos GM cső
25. Melyik detektor alkalmas gamma-spektrumok meghatározására?  
a. HpGe detektor
26. Ha egy gáztöltésű számlálóban fokozatosan növeljük a katód és az anód közti feszültséget, hogyan követik egymást a működési tartományok?  
c. ionizációs tartomány  $\rightarrow$  proporcionális tartomány  $\rightarrow$  GM tartomány

## II. témakör: dozimetria, mennyiségek és egységek, mérés technika

27. Mit lehet meghatározni HpGe detektoros egésztest-számláló berendezéssel?
- d. a szervezetbe bekerült gamma-sugárzó izotópok aktivitását
28. Mi jellemzi a Geiger-Müller (GM) detektorcsövet?
- b. a kimeneti jel nagysága független a sugárzás energiájától
29. Mi jellemzi a gáztöltésű ionizációs kamrákat?
- a. folyamatos kimeneti jelet adnak, rögzített energiájú foton-sugárzásnál a kimeneti jel nagysága arányos a sugárzás intenzitásával

**Radioaktív hulladékminősítés módszertani bemutató**

<https://www.youtube.com/watch?v=uOeCKJi0q0M>

**Köszönöm a figyelmet!**  
**Kérdések?**