

*Benedek Béla*

# RADIOGRÁFIAI ANYAGVIZSGÁLAT

© Dunaújvárosi Egyetem–Ecotech Nonprofit Zrt., 2022  
© Benedek Béla author, 2022

A kötet A Dunaújvárosi Egyetem Paksi Kompetencia- és Kutatóközpontjának kialakításához szükséges feladatok ellátásához kapcsolódó 1734/2019. (XII. 19.) Korm. határozat alapján kapott támogatásból valósul meg.

DUNAÚJVÁROSI EGYETEM  
[www.uniduna.hu](http://www.uniduna.hu)  
**D=U=E PRESS**

Kiadóvezető Németh István

Felelős kiadó Dr. habil András István  
Felelős szerkesztő Nemeskéry Artúr

Tördelés Duma Attila  
Készült a HTSART nyomdában  
Felelős vezető Halász Iván

**Benedek Béla**

# **RADIOGRÁFIAI ANYAGVIZSGÁLAT**

**DUE Press**  
Dunaújváros, 2022





## TARTALOM

|                                                                                |               |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>1. BEVEZETÉS A RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATBA</b>                         | <b>9</b>      |
| 1.1. ÁLTALÁNOS BEVEZETŐ                                                        | 9             |
| 1.2. TERMINOLÓGIA                                                              | 10            |
| 1.3. ALKALMAZÁSOK                                                              | 11            |
| 1.4. A VIZSGÁLATOK FŐ LÉPÉSEI                                                  | 13            |
| 1.5. HAGYOMÁNYOS RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATI ELJÁRÁSOK                          | 14            |
| 1.6. EGYÉB ELJÁRÁSOK                                                           | 21            |
| 1.7. FEJLETT TECHNIKÁK                                                         | 23            |
| 1.8. ALKALMASSÁG ÉS KORLÁTOK                                                   | 28            |
| <br><b>2. A RADIOGRÁFIAI VIZSGÁLAT FIZIKAI ALAPJAI</b>                         | <br><b>31</b> |
| 2.1. IPARI RADIOGRÁFIA: DEFINÍCIÓ                                              | 31            |
| 2.2. AZ IPARI RADIOGRÁFIA – MINT RONCSOLÁSMENTES<br>VIZSGÁLATI ELJÁRÁS – CÉLJA | 31            |
| 2.3. AZ IPARI RADIOGRÁFIÁBAN HASZNÁLT MÉRTÉKEGYSÉGEK                           | 32            |
| 2.4. AZ IONIZÁLÓ ÉS ÁTHATOLÓ SUGÁRZÁSOK TERMÉSZETE                             | 33            |
| 2.5. AZ ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁS                                               | 34            |
| 2.6. ELEKTROMÁGNESES SPEKTRUM                                                  | 35            |
| 2.7. A RÖNTGEN- ÉS GAMMASUGARAK TULAJDONSÁGAI                                  | 36            |
| 2.8. A RÖNTGENSUGÁRZÁS ELŐÁLLÍTÁSA                                             | 51            |
| 2.9. A GAMMASUGÁRZÁS ELŐÁLLÍTÁSA                                               | 56            |
| 2.9.10 RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATHOZ<br>ALKALMAZHATÓ RADIONUKLIDOK         | 63            |
| 2.9.11 A SUGÁRFORRÁS MÉRETE                                                    | 64            |



|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÉS ESZKÖZÖK</b>                                                                  | 67  |
| 3.1. VARRATVIZSGÁLATRA SZOLGÁLÓ RADIOGRÁFIAI MÓDSZEREK<br>(MSZ EN ISO 17636-1:2013)                         | 69  |
| 3.2. RADIOGRÁFIAI MÓDSZEREK ÖNTVÉNYEK VIZSGÁLATÁHOZ<br>(MSZ EN 12681-1:2018)                                | 94  |
| 3.3. A RADIOGRÁFIAI FELVÉTELEK JELÖLÉSEI                                                                    | 107 |
| 3.4. A BESUGÁRZÁSI IDŐ KISZÁMÍTÁSA                                                                          | 109 |
| 3.5. A RÖNTGENGÉPEK BEÁLLÍTÁSA ÉS MŰKÖDTETÉSE                                                               | 117 |
| 3.6. GAMMASUGÁR-FORRÁSOK KÉSZÜLÉKEINEK BEÁLLÍTÁSA<br>ÉS MŰKÖDTETÉSE                                         | 127 |
| 3.7. FILMEK ÉS ERŐSÍTŐ FÓLIÁK                                                                               | 135 |
| <b>4. TERMÉKISMERET</b>                                                                                     | 153 |
| 4.1. METALLURGIAI ÉS FÉMTANI ALAPISMERETEK                                                                  | 153 |
| 4.2. GYÁRTÁS- ÉS TERMÉKISMERET (ÖNTÉS, ALAKÍTÁSOK, FORGÁCSOLÓ<br>MEGMUNKÁLÁSOK, HEGESZTÉSI ELJÁRÁSOK)       | 173 |
| 4.3. ÜZEMELŐ BERENDEZÉSEK KÁROSODÁSAI (KORRÓZIÓS FOLYAMATOK,<br>MECHANIKAI ÉS TERMIKUS EREDETŰ KÁROSODÁSOK) | 207 |
| 4.4. KOMPOZITOK                                                                                             | 217 |
| <b>5. FILMKIDOLGOZÁS, KÉPMINŐSÉG</b>                                                                        | 223 |
| 5.1. FILMKIDOLGOZÁS, ELŐHÍVÁS                                                                               | 223 |
| 5.2. KIDOLGOZÁS KÖZBENI ELLENŐRZÉSEK                                                                        | 237 |
| 5.3. GEOMETRIAI ÉLETLENSÉG                                                                                  | 242 |
| 5.4. A KONTRASZT                                                                                            | 252 |
| 5.5. A SUGÁRZÁSI ENERGIA                                                                                    | 255 |
| 5.6. FILM-FÓLIA-ÉRINTKEZÉS                                                                                  | 257 |
| 5.7. KÉPMINŐSÉG-JELZŐK                                                                                      | 258 |
| <b>6. REFERENCIADOKUMENTUMOK, JEGYZŐKÖNYV-KÉSZÍTÉS, MINŐSÉGÜGYI<br/>SZEMPONTOK</b>                          | 271 |
| 6.1. A REFERENCIADOKUMENTUMOK TÍPUSAI                                                                       | 271 |
| 6.2. EURÓPAI ÉS NEMZETKÖZI SZABVÁNYOSÍTÁS                                                                   | 273 |



|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| 6.3. A VIZSGÁLATI TECHNOLOGIA MEGHATÁROZÁSA                    |     |
| 275                                                            |     |
| 6.4. A VIZSGÁLATI UTASÍTÁS KÉSZÍTÉSÉNEK LÉPÉSEI                | 276 |
| 6.5. A VIZSGÁLATI UTASÍTÁS FEJEZETEI                           | 277 |
| 6.6. AZ EREDMÉNYEK RÖGZÍTÉSE ÉS ÉRTÉKELÉSE,<br>JEGYZŐKÖNYVEZÉS | 280 |
| 6.7. A VIZSGÁLÓSZEMÉLYZET MINŐSÍTÉSE                           | 285 |
| 6.8. A DOKUMENTUMOK NYOMONKÖVETHETŐSÉGE                        | 291 |
| <br>                                                           |     |
| <b>7. SUGÁRVÉDELMI SZEMPONTOK</b>                              | 293 |
| 7.1. SUGÁRZÁSI HATÁSOK                                         | 294 |
| 7.2. SUGÁRZÁSNAK KITETT SZEMÉLYZET AZONOSÍTÁSA                 | 297 |
| 7.3. SUGÁRVÉDELMI ALAPELVEK                                    | 297 |
| 7.4. SUGÁRVÉDELMI INTÉZKEDÉSEK ÉS ALKALMAZÁSUK                 | 298 |



## 1. BEVEZETÉS A RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATBA

### 1.1 ÁLTALÁNOS BEVEZETŐ

#### 1.1.1 MI A RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLAT?

Roncsolásmentes vizsgálat (angolból származó rövidítéssel: NDT, magyarul RMV) alatt azon eljárások összességét értjük, amelyek sem a vizsgálat során, sem azt követően nem károsítják a vizsgált tárgyat. Ennek köszönhetően az RMV hatékonyan alkalmazható a termelési folyamat bármely fázisában és a vizsgálandó alkatrész vagy munkadarab hasznos, üzemi élettartamának teljes ideje alatt. A roncsolásos vizsgálattal ellentétben – amellyel csak mintavételes vizsgálatra van lehetőség – a roncsolásmentes vizsgálat során a teljes anyagmennyiség ellenőrizhető, ami javítja a termékek minőségét és megbízhatóságát.

A roncsolásmentes vizsgálati eljárások alkalmazása kiterjed a különféle alkatrészek méretének (például vastagságának) meghatározására, fizikai és mechanikai tulajdonságok (például vezetőképesség, keménység vagy belső feszültség) mérésére, folytonossági hiányok (például repedések, zárványok) kimutatására. Alkalmazhatók akár automatizált termelési folyamatokban, akár egyedi munkadarabok esetében. A darabok vizsgálhatók gyártás közben, üzembe helyezés vagy összeszerelés előtt, vagy akár működés közben is, mivel a vizsgálat során semmiféle károsodás nem éri őket.

Az RMV-eljárások és módszerek különböző fizikai alapelveken nyugszanak, felhasználva más tudományterületek (kémia, matematika, stb.) ismereteit is. Az alapelvek bizonyos fizikai jelenségeket írnak le, ideértve a jelenségekre vonatkozó, matematikai képletek vagy egyenletek formájában megfogalmazott törvényszerűségeket is. A vizsgálatokkal az anyagok valamilyen tulajdonságát vagy annak megváltozását határozzuk meg. Tekintve, hogy ezek a tulajdonságok sok esetben közvetlenül nem mérhetők vagy nem figyelhetők meg, közvetett mérési-vizsgálati módszerekhez kell fordulni, amelyek ily módon lehetővé teszik az anyag jellemzését vagy folytonossági hiányainak azonosítását.

A roncsolásmentes vizsgálati módszerekkel végzett mérések vagy vizsgálatok közvetett jellege miatt a kapott jeleket – gyakori kifejezéssel: indikációkat – és azok számszerűen meghatározott paramétereit értelmezni kell, azaz mérési vagy vizsgálati eredményekké kell átalakítani azokat. Ez az átalakítás az alábbi tényezők tekintetében minden módszer esetében egyedi:

- ◆ az eljárás fizikai alapelvei és eszközei,
- ◆ a vizsgált anyag,
- ◆ a gyártási folyamat.

Következésképpen, egy adott vizsgálati eljárás vagy módszer új problémára történő alkalmazása előzetes próbákat igényel, melyek során az anyagvizsgáló szakembernek egyértelműen meg kell állapítania a jelzések és a kiváltó okok között fennálló összefüggéseket, valamint azok technológiai jelentését. Az előzetes próbákra annyi időt kell hagyni, amennyi alatt – roncsolásos vizsgálat segítségével, a minta



vizsgálat közbeni viselkedése alapján – megállapítható az említett kapcsolat és esetenként elemezhető az anyagban meglévő folytonossági hiány.

### 1.1.2 MIÉRT FONTOS A RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLAT?

A roncsolásmentes vizsgálatok számos ipari területen, például repülőgépek, vonatok, gázvezetékek, csővezetékek, hidak, nyomástartó berendezések esetében nélkülözhetetlenek a szerkezetek integritásának ellenőrzéséhez. Ugyancsak fontos szerepet játszanak különféle termékek minőségének ellenőrzésében, azok gyártása során.

A roncsolásmentes vizsgálatok céljai és egyben előnyei a következők:

- ◆ szerkezetek integritásának és megbízhatóságának megállapítása
- ◆ balesetek megelőzése és az emberi élet védelme
- ◆ üzemelő berendezések működőképességének biztosítása
- ◆ gyártási folyamatok ellenőrzése
- ◆ terméktervezés támogatása
- ◆ gyártási költségek csökkentése
- ◆ egységes minőségi szint fenntartása
- ◆ ügyfél-elégedettség biztosítása és a gyártó hírnevének fenntartása

1.1. táblázat. A leggyakrabban alkalmazott RMV (NDT) eljárások

| MÓDSZER                            | FIZIKAI JELENSÉG                    |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| Vizuális vizsgálat (VT)            | Látható fény visszaverődése, törése |
| Folyadékbehatolásos vizsgálat (PT) | Kapilláris hatás                    |
| Mágnesezhető poros vizsgálat (MT)  | Mágneses mező szóródása             |
| Örvényáramos vizsgálat (ET)        | Elektromágneses indukció            |
| Ipari radiográfiai vizsgálat (RT)  | Elektromágneses hullám áthatolása   |
| Ultrahangos vizsgálat (UT)         | Rugalmas hullámok visszaverődése    |

## 1.2 TERMINOLÓGIA

A szakkifejezések helyes használata érdekében feltétlenül javasolt az alábbi szabványok elolvasása és alkalmazása:

MSZ EN 1330-1 Roncsolásmentes vizsgálat. Terminológia. 1. rész: Az általános fogalmak listája

MSZ EN 1330-2 Roncsolásmentes vizsgálat. Fogalommeghatározások. 2. rész: A roncsolásmentes vizsgálati módszerek közös fogalmai

MSZ EN 1330-3 Fogalommeghatározások. 3. rész: Az ipari radiográfiai vizsgálat fogalmai



|                  |                                                                                                               |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MSZ EN ISO 12706 | Roncsolásmentes vizsgálatok. Folyadékbehatolásos vizsgálatok. Szakszótár (ISO 12706:2009)                     |
| MSZ EN ISO 12718 | Roncsolásmentes vizsgálat. Örvényáramos vizsgálat. Szakszótár (ISO 12718:2019)                                |
| MSZ EN ISO 23243 | Roncsolásmentes vizsgálat. Rezgősoros ultrahangos vizsgálatok. Szakszótár (ISO 23243:2020) /Fázisvezérelt UH/ |

### 1.3 ALKALMAZÁSOK

Az alkalmazási kör tekintetében a roncsolásmentes vizsgálat általában három nagy területre terjed ki:

#### 1.3.1 DEFEKTOLÓGIA (HIBAKIMUTATÁS)

A heterogén anyagtartományok, folytonossági hiányok, stb. felderítése megfelelő ellenőrzés segítségével a termékek gyártása folyamán, a további költséges eljárások elkerülése érdekében. A potenciális hibák előjeleinek kiszűrése üzemelés közben, azok tényleges bekövetkezését megelőzően.

A javítások végrehajtása érdekében nagyon fontos ismerni a folytonossági hiányok eredetét a műszaki, gyártási, felhasználási és üzemeltetési területen. Nagy jelentősége van a hatékony együttműködésnek a kutatást végző metallurgiai szakemberek, a hibák felderítéséért felelős roncsolásmentes anyagvizsgálók és a munkadarab megfelelő működését biztosító műszaki szakemberek között.

A minőségbiztosítás a roncsolásmentes vizsgálati eljárások időszakos ellenőrzésén keresztül kapcsolódik a defektológiához. Statisztikai elemzésekkel, szakértők segítségével kell megerősíteni, hogy a detektált eltérések, folytonossági hiányok valóban reálisak, és nem hamis indikációkból származó eredmények.

#### 1.3.2 AZ ANYAGJELLEMZŐK MEGHATÁROZÁSA

A cél az anyagok kémiai, szerkezeti, mechanikai, stb. tulajdonságainak azonosítása.

Az anyagok tulajdonságai bizonyos esetekben RMV-módszerekkel is megállapíthatók, azonban figyelembe kell venni azt, hogy a szóba jövő módszerek összehasonlító jellegűek, ezért megfontolást és gondos előkészítést igényel az alkalmazásuk. Az alábbi két példa ad magyarázatot erre:

Anyagok osztályozása keménység szerint: Ha Rockwell- vagy Brinell-féle keménység pontos értékre van szükség, akkor legcélszerűbb a hagyományos keménységi vizsgálat elvégzése. Ha azonban azt kívánjuk igazolni, hogy a hőkezelés két meghatározott határérték közötti keménységet eredményez, akkor a kisfrekvenciájú örvényáramú jelek harmonikus elemzésén alapuló RMV-módszer bizonyulhat a leghatékonyabbnak, amely a vizsgálat gyorsaságának köszönhetően kisebb költséggel jár. A mérőeszközt kalibrálni kell és néhány referencia mintán ellenőrizni kell a vizsgálati technika alkalmasságát.



Anyagok osztályozása az elektromos vezetőképesség mérésével: Az örvényáramú elven működő vezetőképesség-mérő készülék – megfelelő kalibrálást és beállítást követően – megbízható értékeket ad.

### 1.3.3 MÉRETELLENŐRZÉS

A méretellenőrzés biztosítja azt, hogy a termékek teljesek, méretüket és alakjukat tekintve megfelelőek legyenek, és összeszerelésük a tervezett sorrend szerint elvégezhető legyen.

### 1.3.4 IPARI SZEKTOROK

A roncsolásmentes vizsgálat alkalmazása az alábbi ipari területeken a legelterjedtebb:

- ◆ metallurgia (gyártás közbeni vizsgálatok),
- ◆ hegesztés,
- ◆ autóipar (motorok, karosszéria, különféle alkatrészek),
- ◆ repülőgépipar (szerkezetek, futóművek, propellerek, turbinák, rakéták),
- ◆ építőipar (szerkezetek, hidak, nyomástartó berendezések, tartályok, liftkábelek, drótkötélpályák, felvonók),
- ◆ vezetékek (gázvezetékek, olajvezetékek),
- ◆ vasút (sínek, kocsik tengelyei és kerekei),
- ◆ tengerészet (tengeralattjárók, hajók, offshore létesítmények),
- ◆ ipari üzemek (erőművek, petrokémiai üzemek, vegyipari üzemek, papír- és cellulózipari üzemek, ásványfeldolgozó üzemek, turbinák, hőcserélők, kazánok, stb.),
- ◆ szabadidőparkok és vidámparkok,
- ◆ élelmiszeripar,
- ◆ művészet.

### 1.3.5 A RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLAT ÉSSZERŰ ALKALMAZÁSA

Mivel ezek a módszerek lehetővé teszik a munkadarab vagy termék teljes egészének vizsgálatát, és annak teljes térfogatáról vagy felületéről szolgáltatnak adatokat, hozzájárulnak a termékek és a gyártás egységes minőségi szintjének fenntartásához. Az üzemelő rendszerek működéséhez vagy karbantartásához kapcsolódó roncsolásmentes vizsgálatok hozzájárulnak a működőképesség megállapításához, az üzemzavarok és balesetek megelőzéséhez. Közvetlen és közvetett gazdasági profitot is termelnek. Csökkentik a gyártási költségeket azáltal, hogy a gyártási folyamat egyes lépései során kiválogatják azokat a termékeket, amelyek a folyamat végén selejtezésre kerülnének (közvetlen profit), továbbá segítséget adnak a tervezés fejlesztéséhez és gyártás közbeni ellenőrzéséhez (közvetett profit).





A roncsolásmentes vizsgálat alkalmazásának sikere főként az alábbi követelmények teljesülésétől függ:

- ◆ A vizsgálat tegye lehetővé a folyamat alapvető lépéseinek megfelelő fejlesztését.
- ◆ A gazdasági tényezők figyelembevételével a vizsgálatokat a maximális teljesítmény és profit kritériumai szerint tervezzék meg és hajtsák végre.

A fentiek érdekében speciális, az adott problémára kifejlesztett vizsgálóeszközök alkalmazására van szükség.

#### 1.4 A VIZSGÁLATOK FŐ LÉPÉSEI

A defektológiai, anyagjellemzési és méretellenőrzési feladatok esetében az anyagok, elemek, stb. roncsolásmentes módszerrel történő vizsgálatának lényege a belső minőség biztosítása, amely az alábbi négy lépést foglalja magába:

- ◆ a megfelelő módszerek és technikák kiválasztása,
- ◆ indikációk gyűjtése (adatgyűjtés),
- ◆ indikációk értelmezése,
- ◆ indikációk értékelése.

##### 1.4.1 A MEGFELELŐ MÓDSZEREK ÉS TECHNIKÁK KIVÁLASZTÁSA

A helyes választás érdekében fontos figyelembe venni az anyag természetét, szerkezetét és a termék alakját, valamint ismerni kell a kimutatni kívánt heterogenitások típusait. Figyelembe kell venni, hogy minden módszernek vannak korlátai az anyag természete és geometriája, a vizsgálati terület és a vizsgálat által lehetővé tett alkalmazási sebesség miatt.

Mivel minden módszer korlátozott érzékenységgű, esetenként eltérő, hogy az adott vizsgálat elvégzésére alkalmasak-e vagy sem, ezért pontosan meg kell határozni a vizsgálatához szükséges érzékenységi és tűréshatárokat, és a termékre vonatkozó minőségi és elfogadási követelményeket.

##### 1.4.2 INDIKÁCIÓK GYŰJTÉSE

A roncsolásmentes vizsgálati módszerek általános jellemzője az, hogy közvetett eljárások, vagyis a munkadarabok keresett tulajdonságait más, kapcsolódó tulajdonságokon keresztül határozzák meg. A heterogenitások (inhomogenitások) felderítése, azaz a megfelelő indikáció észlelése függ a heterogenitás természetétől (folytonossági hiány, zárvány, stb.), alakjától (gömbszerű, egyenes vonalú, pontszerű, stb.), helyzetétől (felületi, belső), irányától és méretétől.

Az anyag inhomogenitására vonatkozó indikáció létrehozásához minden módszer esetében ismerni kell a darab tulajdonságait és a potenciálisan megjelenő (várható) heterogenitásokat.



### 1.4.3 AZ INDIKÁCIÓK ÉRTELMEZÉSE

Indikáció esetén alapvetően fontos, hogy azt pontosan értelmezzék, azaz ismerni kell a detektált jel és a különféle heterogenitások természete, alakja, helyzete, iránya és mérete közötti összefüggéseket. Ezeket az összefüggéseket (referencia) próbatesteken elvégzett előzetes vizsgálatokkal, illetve kalibrációval kell megállapítani.

### 1.4.4 ÉRTÉKELÉS

Végül, az indikáció érzékelését és értelmezését követően kerül sor az értékelésre – más szóval a döntéshozatalra – azzal kapcsolatban, hogy az indikáció – lényegében a mögötte álló folytonossági hiány, eltérés – elfogadható-e vagy sem. Az indikációk értelmezése a roncsolásmentes anyagvizsgáló feladata, míg az értékelési kritériumok a műszaki osztály felelősségi körébe tartoznak. Ez a szakértői csoport analizálja az üzemi terhelésre és működési feltételekre vonatkozó adatokat és határozza meg a kritikus szakaszt, szerkezeti elemet, zónát – megbízhatósági szinteket rendelve mindegyikhez – és rögzíti a minőségi szintet, azaz az elfogadási, illetve elutasítási kritériumokat.

Annak érdekében, hogy az értékelés egyértelmű és hibátlan legyen, a vizsgálat eme lépését pontosan meg kell határozni és dokumentálni kell.

A következő alfejezet a klasszikus roncsolásmentes eljárásokba nyújt rövid betekintést.

## 1.5 HAGYOMÁNYOS RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATI ELJÁRÁSOK

### 1.5.1 VIZUÁLIS VIZSGÁLAT

Ez a legelterjedtebb eljárás, bár sokszor nem is vagyunk tudatában, amikor alkalmazzuk. A vizuális vizsgálat (VT) a vizsgálati tárgy szabad szemmel, vagy egyszerű optikai eszközökkel történő szemrevételezését jelenti.

A vizuális vizsgálat számos probléma megoldását teszi lehetővé a legkülönbözőbb iparágakban és más roncsolásmentes eljárásokhoz kapcsolódva elsődleges szerepe van az adatgyűjtésben. Használható az anyag bármilyen további vizsgálata előtt, ezáltal lehetővé teszi a nyilvánvalóan hibás darabok közvetlen kiselejtezését és a lényegtelen szabálytalanságok azonosítását, amelyek növelhetik a hamis indikációk számát.

Az eljárás az alábbiak alapos ismeretét igényli:

- ◆ a szem és a látás mechanizmusa,
- ◆ a látás pszichológiája, különös tekintettel a kifáradásra,
- ◆ az érzékelés és színlátás elmélete,
- ◆ megvilágítás mérése és értékelése az elvégzendő vizsgálat alapján,
- ◆ vizsgálati segédeszközök (nagyítók, endoszkópok, TV rendszerek, stb.).



A szemrevételezés tipikus célja, többek között, a felület állapotának felmérése, a kapcsolódó felületek illeszkedésének, a munkadarab felületi védelmének, a varrat megfelelőségének ellenőrzése, vagy az esetleges szivárgások észlelése.

### 1.5.2 FOLYADÉKBEHATOLÁSOS VIZSGÁLAT

A folyadékbehatolósos – idegen szóval penetrációs – vizsgálat (PT) olyan folyadék alkalmazásán alapul, amely – speciális fizikai és kémiai tulajdonságainak köszönhetően – a vizsgálati felületet nedvesíti, azon szétterül. Ez lehetővé teszi, hogy érvényesüljön a kapilláris hatás, azaz a folyadék behatoljon a felületre nyitott folytonossági hiányokba, és azokban a felületen lévő, fölösleges folyadék eltávolításakor is benne maradjon. Csaknem minden esetben az előhívószer segítségével jelzi a felületen azokat a zónákat, ahol folytonossági hiányok találhatók.

A vizsgálatához behatoló folyadékokra (úgynevezett jelzőfolyadékokra), a felesleges behatoló folyadék eltávolítására alkalmas lemosó szerre, valamint a felületre nyitott folytonossági hiányokról látható indikációkat szolgáltató ultrabolya fényforrásra (fluoreszcens módszer) vagy előhívószerre (szinkontrasztos módszer) van szükség.

A behatoló folyadékok alkalmazási köre a gyártóipar és karbantartás minden olyan területére kiterjed, ahol fémes vagy nem fémes anyagok felületi repedéseit vagy pórusait kell detektálni. A repedésvizsgálat egyetlen feltétele az, hogy a felület ne legyen porózus.

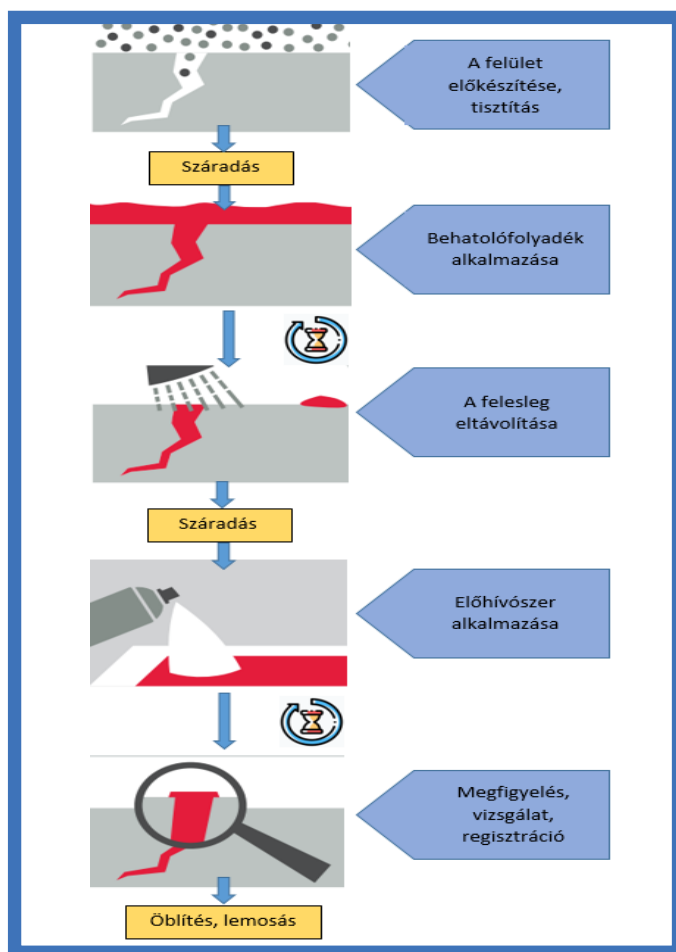
Fontos meghatározni azokat a tényezőket, amelyek befolyásolják a jelzőfolyadéknek a repedésekbe történő bejutását. A legfontosabbak a következők:

- ◆ bármilyen típusú mechanikai akadály jelenléte (mivel ezek fizikailag korlátozzák a folyadék behatolását vagy megváltoztatják a repedés alakját, csökkentve annak méretét),
- ◆ felületi takarások és szennyező anyagok,
- ◆ a repedés alakja,
- ◆ a behatoló folyadék felületi feszültsége,
- ◆ adalékanyagok és szennyező anyagok a behatoló folyadékban,
- ◆ a vizsgálandó darab és a behatoló folyadék hőmérséklete,
- ◆ a vizsgálat helyszínén uralkodó légnyomás,
- ◆ a repedés belsejének érdessége.

Az 1.1 ábra az eljárás általános műveleti sorrendjét mutatja:



1.1. ábra. A műveletek sorrendje folyadékbehatolási vizsgálatnál



### 1.5.3 MÁGNESEZHETŐ POROS VIZSGÁLAT

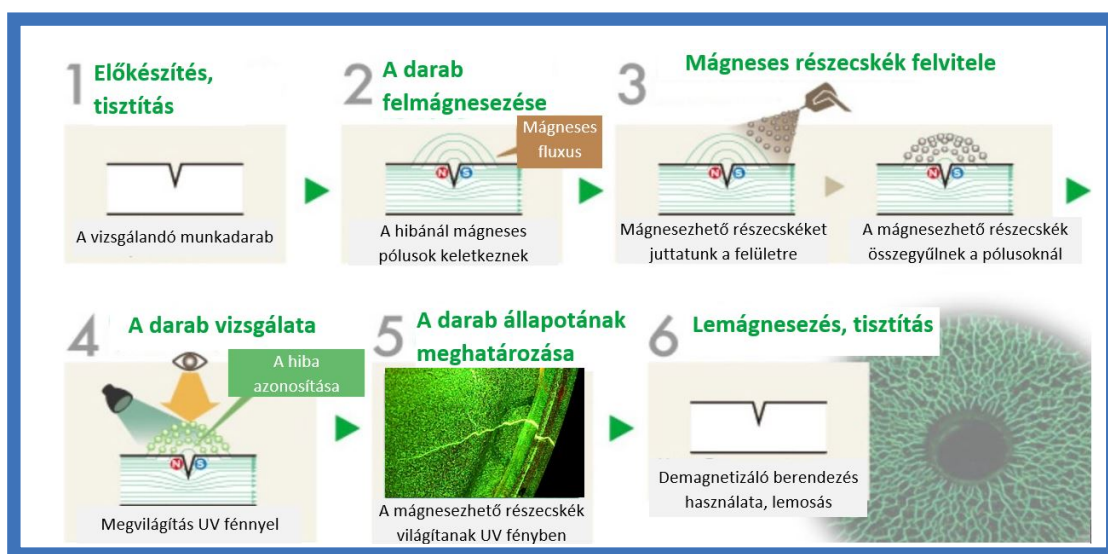
A mágnesezhető poros vizsgálatnál (MT) a ferromágneses anyagon áthaladó mágneses mező szóródását használjuk ki. Ha a darabot (elektro)mágneses térbe helyezzük, és vastartalmú port szórunk rá, akkor a porszemcsék összegyűlnek azokban a zónákban, ahol folytonossági hiányok vannak, mintegy fémhidat alkotva az anyaghiany megszüntetése érdekében. A vizsgálat a következőkön alapul:

- ◆ Ha ferromágneses anyagot mágneses térbe helyezünk, illetve felmágnesezünk, akkor az anyagban jelen lévő folytonossági hiányok eltorzítják az erővonalakat.
- ◆ Ha a folytonossági hiány felületközelű vagy felületre nyitott, akkor az erővonalak egy része kilép a felszínen, ott úgynevezett szórt mágneses mező alakul ki.
- ◆ Ha a felületre mágnesezhető részecskéket helyezünk, akkor a szórt mágneses mező egy részüket vonzani fogja, létrejön az indikáció, ami követi a folytonossági hiány felületi rajzolatát.
- ◆ Ha a folytonossági hiány síkja párhuzamos az eredeti erővonalakkal, akkor nem lesz érzékelhető szórt mágneses mező, és nem jön létre indikáció.



A mágnesezhető poros vizsgálat a ferromágneses (mágnesezhető) anyagokban lévő, felületi vagy felület-közei folytonossági hiányok kimutatására szolgál. (Megjegyzés: ferromágneses anyag például a vascsoport három eleme és azok ötvözeteinek nagy része, így a legfontosabb szerkezeti anyagok, az acélok többsége is.) Ez az egyik leggyorsabb és leggazdaságosabb roncsolásmentes eljárás, az előbb említett folytonossági hiányok detektálásának nagyon érzékeny eszköze. Az 1.2. ábra az eljárás általános műveleti sorrendjét mutatja.

1.2. ábra. A mágnesezhető poros vizsgálat folyamatábrája



Alkalmazható nyersanyagok (például bugák, rudak, profilok) és kész alkatrészek esetében, alakítási, hőkezelési, forgácsolási és galvántechnikai eljárások során az anyaghoz, gyártási folyamathoz és üzemeléshez kapcsolódó folytonossági hiányok feltárására.

A fejlesztéseknek köszönhetően a módszer alkalmazási köre napról napra növekszik. Kiterjed a hegesztési varratok és nyomástartó berendezések vizsgálatától kezdve a fémipari ágazatokban tömegesen vagy gépesítetten gyártott darabokig. Nélkülözhetetlen többek között az autóipar nagy biztonsági követelményű termékei (szelepek, hajtórudak, befogók, fogaskerekek, stb.) ellenőrzéséhez, a hajóiparban (forgattyúk, szelepek, fogaskerekek), a repülőgépiparban (turbínatengelyek, futóművek, hajtórudak), a vasúti karbantartásban (tengelyek, kerekek).

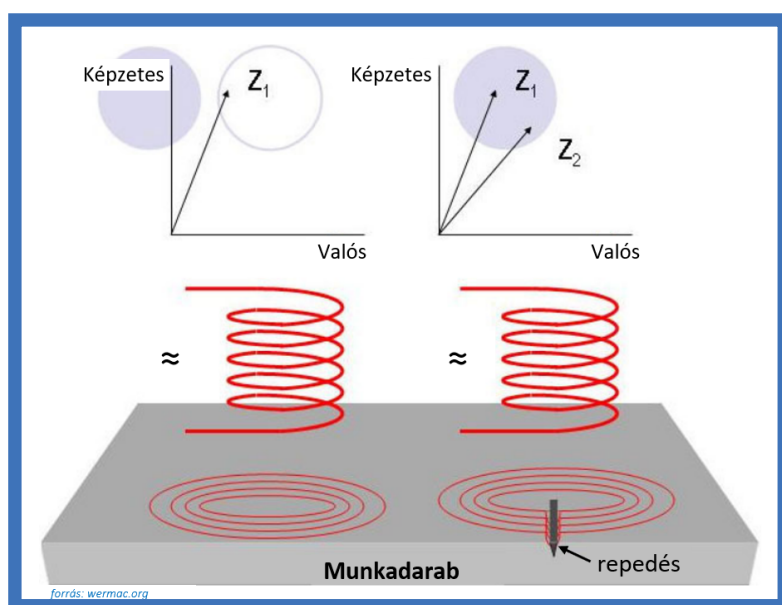
#### 1.5.4 ÖRVÉNYÁRAMOS VIZSGÁLAT

Ha vezetőképes anyag közelében váltakozó áram folyik, akkor abban indukált áram keletkezik, amely az anyag minősége, vastagsága és homogenitása függvényében oszlik el. Ez az úgynevezett örvényáram-eloszlás maga is képes egy másik vezetőben (tekercsben) további áramot indukálni, amelynek jellemzőit a primer áram és az anyag paraméterei határozzák meg.

Az örvényáramos vizsgálat (ET) készüléke megfelelő frekvenciájú elektromos impulzusokat kibocsátó generátort tartalmaz, amelyhez egy vagy több, a vizsgált anyagban örvényáramot indukáló tekercs csatlakozik. Az örvényáram alapesetben további egy vagy két tekercsben kelt elektromos feszültséget, amit a készülék felerősít, így oszcilloszkóp segítségével vagy digitális képernyőn megjeleníthető.

Az 1.3. ábra vázlatosan mutatja be, hogyan működik az örvényáramos vizsgálat. A tekercs (piros) mágneses mezőt hoz létre, amely örvényáramot indukál a munkadarabban. Ha a gerjesztett területen hiba jelenik meg, az örvényáramnak más utat kell választania, ami megváltoztatja a tekercs impedanciáját. Az impedanciaváltozás nagyságát és irányát a készülék képernyőjén lehet leolvasni ( $Z_1$ – $Z_2$ ).

1.3. ábra. Az örvényáramos eljárás működési elve



A tekercs(ek) általában egyetlen, szondának nevezett egységet alkotnak, amit a munkadarabra helyeznek, vagy bevezetnek egy cső belsejébe. Más esetekben a szonda belsejébe helyezik a vizsgálandó anyagot. A vizsgálat minden esetben összehasonlító jellegű és ismert jelmintákat igényel, amelyekhez a szonda válaszele hasonlítható.

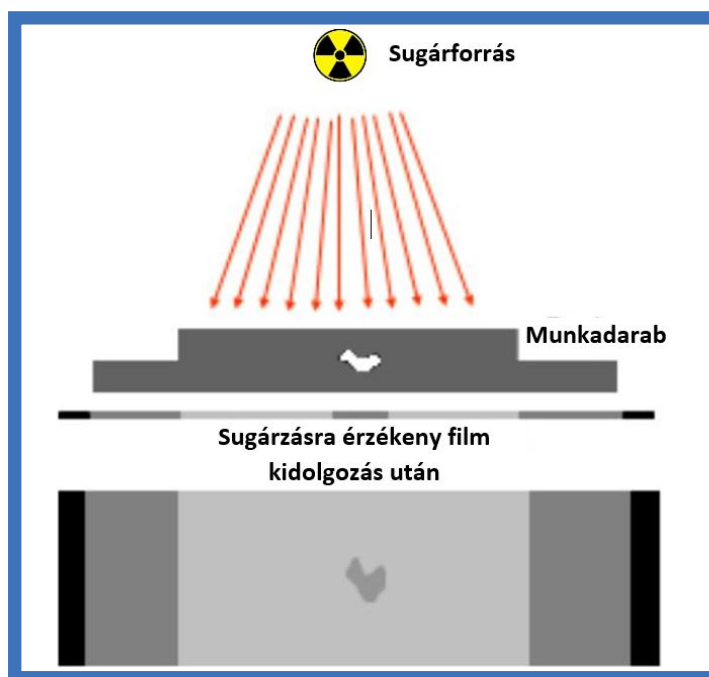
Néhány példa az örvényáramos vizsgálat alkalmazására:

- ◆ anyagok elektromos vezetőképességének mérése,
- ◆ fémek és ötvözetek jellemzőinek meghatározása,
- ◆ hőkezeléssel létrehozott anyagállapot ellenőrzése,
- ◆ fémes anyagok osztályozása kémiai elemzések nélkül, vashulladék válogatása,
- ◆ fémalapon lévő fémes és nem fémes bevonatok vastagságának mérése,
- ◆ hőkezeléssel kialakított réteg vastagságának mérése,
- ◆ nem fémes alapon lévő fémbefonatok vastagságának mérése,
- ◆ egyéb módszerekkel kimutatott repedések mélységének mérése,
- ◆ felületi és felület-közeli folytonossági hiányok kimutatása.

## 1.5.5 RADIOGRÁFIAI VIZSGÁLAT

A tárgyon lévő külső és belső szabálytalanságok által létrehozott árnyékkép fényérzékeny filmre rögzítése. Az árnyékkép létrehozásához három elem szükséges: sugárforrás, tárgy és film, amelyek elrendezése nem lehet véletlenszerű: a tárgynak a sugárforrás és a film között kell elhelyezkednie, amint azt az 1.4. ábra mutatja.

1.4. ábra. A radiográfiai eljárás működési elve



A radiográfiai eljárás (RT) bizonyos elektromágneses – ionizálóknak vagy áthatolóknak is nevezett – sugárzások alábbi tulajdonságain alapul:

- ◆ képesek áthatolni a látható fény számára átlátszatlan tárgyakon,
- ◆ képesek kémiai reakciókat kiváltani fényérzékeny anyagokban,
- ◆ egyenes vonalban terjednek,
- ◆ ionizálják a gázokat,
- ◆ károsítják az élő anyagot.

Az ipari röntgensugárzás forrásai a röntgen berendezések és a radioaktív izotópok (Ir192, Co60, stb.), amelyek 10 nm-nél kisebb hullámhosszúságú elektromágneses hullámokat bocsátanak ki.

A filmek átlátszó acetát fóliából és a rajta lévő fényérzékeny emulzióból állnak. Ezeken a sugárzás hatására látens (közvetlenül nem érzékelhető, rejtett) kép keletkezik, ami a kidolgozás (előhívás és rögzítés) eredményeként válik láthatóvá.



A filmet általában közvetlenül a vizsgálandó tárgyra helyezik. Az átsugározni kívánt anyag vastagsága és fajtája, valamint a feltárandó folytonossági hiány típusa és mérete határozza meg az alkalmazandó vizsgálati technikát.

A filmes technikán kívül az eljárásnak több változata létezik, amelyek közül a következőket érdemes kiemelni:

- ◆ *Fluoroszkópia:* A képalkotás egy sóréteggel bevont ernyőn történik, ami a kapott sugárzás függvényében fényt bocsát ki, és amely fény képerősítő segítségével valós időben egy TV képernyőn láthatóvá válik.
- ◆ *Digitális radiográfiai:* Ugyanazt az elvet követi, mint a hagyományos módszer, azzal a különbséggel, hogy ez esetben a képet elektronikus érzékelők – melyeket a sugárzás aktivál – pontonként (pixelenként) állítják össze. Ezek az érzékelők később törölhetők, lehetővé téve a többszörös felhasználást. A kép digitálisan tárolható és megfelelő szoftver segítségével kezelhető, akár elektronikus levél formájában is továbbítható, lehetővé téve a távoli kiértékelést.

A radiográfiai vizsgálat bármilyen típusú anyag (fémek, kerámiák, szövetek, műanyagok, kompozit anyagok, stb.) esetében alkalmazható. Felhasználható többek között folytonossági hiányok felderítésére, összeszerelések ellenőrzésére, a belső állapot vizsgálatára.

#### 1.5.6 ULTRAHANGOS VIZSGÁLAT

Az ultrahang ugyanolyan jellegű akusztikus hullám, mint a hallható hang, a frekvenciája azonban 20 kHz feletti, így az emberi fül számára nem érzékelhető.

Az ultrahangos vizsgálat (UT) során a vizsgálandó anyagba hanghullám impulzust juttatnak és várják annak visszaverődését a darab hátsó faláról vagy valamilyen belső folytonossági hiány felületéről. A visszaverődő hangjelek, az echók, elemzése szolgáltatja a folytonossági hiányok helyének és méretének megállapításához szükséges információkat. Ez is összehasonlító jellegű vizsgálat, ami beállító teszteket (ellenőrző testeket, referencia blokkokat) igényel. Az ezeken elvégzett előzetes vizsgálatsorozat teszi lehetővé, hogy később a kapott jelekből a megfelelő következtetéseket vonhassuk le.

Az ultrahang visszahangjelek tipikus megjelenési formája az 1.5. ábrán látható. A képernyő alapvonala – a képernyő alsó részén elhelyezkedő vízszintes vonal – a visszaverő felület (a reflektor) távolságát mutatja meg, míg a jel amplitúdója vagy magassága az adott reflektor okozta hangnyomásról ad információt.

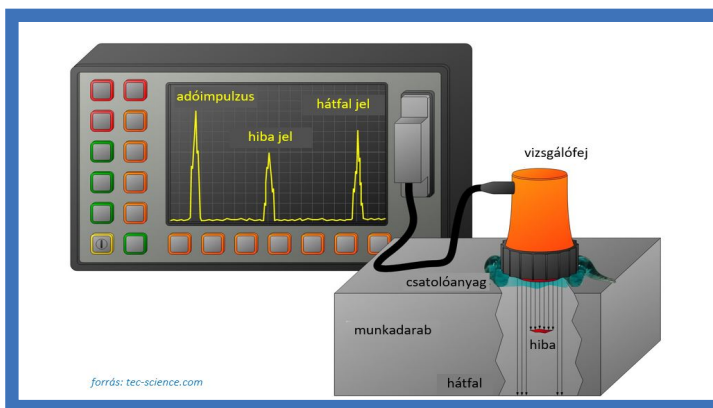
A hagyományos vizsgálókészülék képernyőn jeleníti meg az indikációt. Az ultrahang keltése és érzékelése a készülékhez csatlakoztatott vizsgálófej feladata. A készülék olyan elektromos impulzusokat bocsát ki, amelyek aktiválják a fejben található – általában piezoelektromos – elemeket. A fejek érintkeznek a vizsgálati tárggyal (a levegőt valamilyen csatolóközeg, például gél, olaj, paszta szorítja ki) és az elektromos energiát mechanikai energiává alakítva akusztikus hullámot bocsátanak ki. Amikor a visszaverődő hanghullám eléri az aktív elemet, a mechanikai energia villamos energiává alakul át és a keletkező feszültség, a berendezés erősítőjén áthaladva a képernyőn, mint fénypont-kitérés válik lát-





hatóvá. Jelenleg már léteznek olyan berendezések, amelyek másféle – a folytonossági hiány valós képéhez közelebb álló és darabbeli helyzetét érzéketesen bemutató – megjelenítést is lehetővé tesznek.

1.5. ábra. Az ultrahangos vizsgálat elvi alapja



Az ultrahangos vizsgálati technikák általában bármilyen anyag esetében (fém, műanyag, fa, üveg, kerámia, stb.) alkalmazhatók, azonban minden anyag más-más frekvenciát igényel, ami a vizsgálat elvárt érzékenységtől (a legkisebb kimutatandó folytonossági hiányok méreteitől) és az anyag tulajdonságaitól függ. A makrokristályos szerkezetű anyagok esetén kis frekvencia szükséges, míg a finomszemcsés anyagok nagyobb frekvenciával is vizsgálhatók.

Ultrahang segítségével az alábbi vizsgálatok végezhetők el:

- ◆ méretellenőrzés – például vastagság mérése nyomástartó berendezéseken, hajótesteken,
- ◆ anyagjellemzők meghatározása – kihasználva, hogy kapcsolat van az ultrahang terjedési sebessége és a rugalmassági modulusz között,
- ◆ folytonossági hiányok kimutatása – akár az anyag felszínén, akár a belsejében vannak a hiányok.

## 1.6 EGYÉB ELJÁRÁSOK

### 1.6.1 INFRAVÖRÖS TERMOGRÁFIA

Infravörös termografiával a vizsgált objektum felületén kialakult hőeloszlás képét hozzuk létre. Az eljárás lehetővé teszi valós idejű hőtérkép elkészítését, amely a vizsgált tárgy hőmérséklet-eloszlását színek segítségével ábrázolja.

A termográfia a hőátadás egyik válfajára, a hősugárzásra épül, ezért nincs szükség mechanikai kontaktusra a vizsgálandó objektum és a mérőeszköz között, és nem kell a hőmérséklet beállítására sem várni. Tehát elvégezhető a mérés olyan helyzetekben is, amikor az hagyományos hőmérőkkel lehetetlen lenne.

A termográfiai érzékelőket úgy tervezik, hogy azok a felületről kibocsátott, 3 és 13  $\mu\text{m}$  közötti hullámhosszúságú infravörös hullámokat nyeljük el. A vizsgálat azon a tényen alapul, hogy minden test bocsát ki úgynevezett hőmérsékleti sugárzást – ezen belül infravörös sugárzást is – amelynek intenzitása arányos a testfelszín abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával (Stefan–Boltzmann-törvény).

A mérést befolyásoló tényezők a következők:

- ◆ a felület sugárzó képessége (emisszivitás),
- ◆ az aktuális környezeti hőmérséklet, a levegő hőmérséklete,
- ◆ a felület és az érzékelő közti távolság,
- ◆ relatív páratartalom.

A termográfia alkalmas berendezések hőforrásainak a kimutatására, például szigetelések hőszivárgásainak és elektromos zárlatok megtalálására, fűtési körök és forró víz helyének meghatározására, a páratartalom érzékelésére, hőenergia-veszteségek mennyiségének meghatározására, hőcserélők működésének elemzésére, üledékszint mérésére, motorok működésének elemzésére és jégtelepítő rendszerek hatékonyságának ellenőrzésére.

Aktív és passzív technika is használható. Az előbbinél fel kell melegíteni a vizsgált testet és monitorozni a lehűlést, azaz a betáplált hő eltűnését a felületen, amit a felület-közeli tulajdonságok befolyásolnak. A passzív termográfia elnevezés azokra a vizsgálatokra utal, amelyekben nem alkalmaznak külső fűtést vagy hűtést ahhoz, hogy a vizsgált tárgyban hőáramlást idézzenek elő. Passzív termográfiát használnak például gyártási folyamatokban a termék ellenőrzésére, hegesztési eljárásokban, vagy az autók féktárcsáinak teljesítmény-ellenőrzése során. A megelőző karbantartásban szintén alkalmazható, például csapágys, turbinák, kompresszorok, elektromos berendezések, földalatti csővezetékek vagy gázszivárgások vizsgálatára.

### 1.6.2 AKUSZTIKUS EMISSZIÓS VIZSGÁLAT

A módszer alapelve az anyag által – helyi feszültség, alakváltozás, repedés keletkezése vagy terjedése következtében – kibocsátott akusztikus hullámok érzékelése. Tranziens hanghullámokról van szó, amelyek akkor keletkeznek, ha az anyag belsejében gyors energia-felszabadulás zajlik le. Ezek a hangok átlagos rugalmasságú közegekben terjednek, a hallható hangokénál nagyobb frekvencián, és nagy érzékenységgű, speciális piezoelektromos detektorokkal észlelhetők.

A jelenség alapja a vizsgálati darabon belüli feszültség eloszlásának megváltozása, ezért dinamikus vizsgálatról beszélhetünk, melynek során a szerkezeti elemeket az üzemelő rendszerben időszakosan fellépő terheléseknek vetik alá (például tartály próbanyomása).

Az energiaáramlást maga a vizsgálat alá helyezett anyag generálja, ezért ez az eljárás nagyon hasznos valós idejű jelenségek vizsgálatakor, mint például mikropredések keletkezése, repedések növekedése, stb. Több érzékelő együttes alkalmazásával, valamint háromszögelési algoritmussal és a kapott jelerősség elemzésével a hangforrások lokalizálhatók is.



### 1.6.3 TÖMÖRSÉGVIZSGÁLAT

Ha átmenő anyagfolytonossági hiány jön létre két különböző nyomású környezetet egymástól elválasztó tartály falán, akkor a nagyobb nyomású oldalról folyadék vagy gáz juthat át a kisebb nyomású környezetbe, a nyomáskülönbség négyzetgyökével arányos sebességgel.

A tömörségvizsgálat többféle technikával is elvégezhető, sok esetben a helyszínen, üzemi körülmények között hajtható végre, például nyomástartó berendezéseken és vákuumkamrákon. Az alkalmazott technikák a zárt vagy nyomás alatt tartott térrészből kiszivárgó gáz vagy folyadék észlelésén alapulnak. A vizsgálatához felhasznált gáz lehet a tartályban lévő töltet vagy a tartályba bevezetett jelzőgáz (ami rendszerint hélium). Az észlelő eszköz lehet megfelelő gáزدetektor, tömegspektrométer, valamint folyadékkal töltött edény, melyben buborékok jelenhetnek meg, vagy nyomásmérő, ami a tartály belső vagy külső felületére helyezett, szigetelt kamrában létrehozott vákuum esetleges romlását mutatja ki. Leürített tartály esetén jelzőfolyadék is használható. Ez a technika teljes egészében a folyadékbehatolásos eljárásra épül. Folyadékkal feltöltött tartály esetén viszont, bizonyos körülmények között, a kiszivárgó folyadék turbulenciája szélessávú zajt kelt, ami speciális frekvenciákra hangolt jelátalakítóval érzékelhető. A szivárgások helyei különböző módszerekkel határozhatók meg:

- ◆ víz alá merített darabból kilépő buborékok megfigyelésével,
- ◆ a felületre felvitt, a (jelző)gázra érzékeny, specifikus előhívószerral,
- ◆ a (jelző)gázra érzékeny, specifikus detektor elektromos jeleit a felszín végigpásztázása közben elemző készülékkel.

### 1.6.4 NYÚLÁSMÉRÉS

Az MSZ EN ISO 9712 szabványban is említett nyúlásmérést (ST) úgynevezett nyúlásmérő bélyegek által adott elektromos feszültség megváltozásának mérésével végzik. Ha a tárgyat mechanikai terhelésnek tesszük ki, az hatással van a tárgy felületére ragasztott nyúlásmérő bélyegre, megváltoztatja annak elektromos ellenállását, amelyet a hozzáillesztett mérőeszköz kimeneti feszültségváltozásként érzékel.

## 1.7 FEJLETT TECHNIKÁK

Számos tudományos munka születik új és hatékonyabb vizsgálati technikákkal kapcsolatban, nagy részük egyetemeken, kutatóközpontokban, vagy nemzetközi projektek keretein belül, különböző országok tudományos konzorciumaival együttműködésben. Sok olyan tanácsadó cég is működik, amely erre a területre specializálódott, és több fontos szervezet fejleszti a roncsolásmentes vizsgálati módszereket saját kutatásaival. Emellett a berendezések gyártói is folyamatosan fejlesztik technológiájukat és új alkalmazásokat vezetnek be a vizsgálatokba.



Egyes országok nemzeti RMV-szervezetei (pl. a magyar RMV-szervezet, a MAROVISZ), és azok nemzetközi testületei, mint az európai (EFNDT) és az egész világot átfogó nemzetközi szövetség (ICNDT) rendszeresen tartanak konferenciákat, ahol bemutatják az új fejlesztéseket. Hasonlóképpen, a nemzeti RMV-szervezetek is rendszeresen jelentetnek meg szakcikkeket tartalmazó folyóiratokat.

Több új, nagy kapacitású ultrahangos vizsgálati módszer vált elérhetővé az utóbbi évtizedekben bekövetkezett informatikai fejlesztések révén. Néhány technológia – mint például a komputertomográfia (CT) –, nagymértékben az egészségügyi szektorhoz kötődik, míg mások – például az akusztikus mikroszkópia –, az elektronikai iparban a szilárdtestek állapotvizsgálatánál terjedt el. Megfontolandó, hogy milyen ipari vizsgálati feladatoknál kell, illetve érdemes bevetni ezeket a technikákat, figyelembe véve, hogy könnyen használható, jó vizsgálati sebességet biztosító és elfogadható árú eszközökre van szükség.

Az alábbiakban néhány fejlett technika leírása következik, amelyek egyike-másika napjainkra már jelentős ipari alkalmazást nyert.

### 1.7.1 VALÓS IDEJŰ RADIOGRÁFIA

A valós idejű radiográfiai alapelve a sugárzás valós idejű átalakítása számítógép képernyőjén megjeleníthető képpé. A sugárzás által létrehozott kép megjelenítésének film előhívásán alapuló módszere mára kiegészült egy új technikával, amely szenzorok segítségével alakítja át a bejövő sugárzást képernyőn megjeleníthető és kezelhető elektromos jelekké.

#### 1.7.1.1 FLUOROSZKÓPIA

A fluoroszkópiát jellemző alapvető különbség az, hogy a filmet egy speciális sóval bevont ernyő helyettesíti, amely fényt bocsát ki a beérkező sugárzás intenzitásának függvényében, és amely fényt egy képerősítő cső felerősíti, így a kép valós időben láthatóvá válik egy TV képernyőn. A leggyakrabban használt só a cinkszulfid (ZnS). A hagyományos radiográfiával ellentétében a képernyőn pozitív kép jön létre. A sugárzás intenzitása és a fényerősség között széles tartományban egyenes arányosság áll fenn.

### 1.7.2 SZÁMÍTÓGÉPES-RADIOGRÁFIA (CR)

Az orvostudomány és a biológia területén már 20 éve alkalmazzák ezt a módszert, amelynél a filmet foszforlemezekkel helyettesítik. Az utóbbi időben a roncsolásmentes vizsgálatokban is használható rendszerek születtek. Jelenleg ez a technika már képes teljes mértékben helyettesíteni a hagyományos radiográfiát. A nagy érzékenységű foszforlemezekre készített radiográfiai felvételek feldolgozása közvetlenül digitális formában történik.

A foszforlemezek – melyek már csak nevükben emlékeztetnek az eredetileg használt fényérzékeny anyagra –, rugalmas polimer filmre felvitt, sugárzásra érzékeny bárium-fluorobromid (BaFBr) rétegből



állnak, amit egy, a mechanikai károsodásoktól védő réteggel borítanak be. A foszforlemezek expozíciója a radiográfiai filmekéhez hasonló. A felvételtől nyert információkat lézerkészülék olvassa ki, az eredmény pedig számítógép képernyőjén jelenik meg. Nincs szükség kémiai beavatkozásra, és az eredmények azonnal rendelkezésre állnak. Egy-egy lemez kb. 500–1000 alkalommal használható jelentősebb minőségromlás nélkül.

### 1.7.3 DIREKT RADIOGRÁFIA (DR)

A direkt radiográfia esetén olyan detektorokat alkalmaznak, amelyek képesek a röntgen- vagy gammasugárzást közvetlenül digitális elektromos jelekké alakítani. Nincs szükség filmek kidolgozására vagy foszforlemezek beolvasására. A detektorokban elektronikus elemek aktiválódnak a sugárzás hatására, melyek kiolvasás után újra használhatók. A képeket digitális adathordozó tárolja, amely informatikai rendszerrel kezelhető, így az adatok bármikor rendelkezésre állnak, e-levéiben továbbíthatók, ezáltal lehetőség nyílik a távoli kiértékelésre.

### 1.7.4 KORSZERŰ ULTRAHANGOS MÓDSZEREK

#### 1.7.4.1 FÁZISVEZÉRELT VIZSGÁLAT

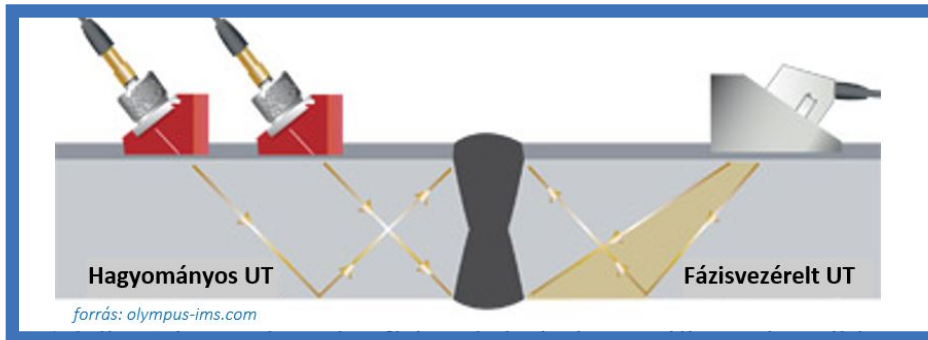
A hagyományos ultrahangos berendezés egyetlen (vagy kettő) piezoelektromos elemet tartalmaz, míg a fázisvezérelt technika több elemet használ. Mindegyik piezoelektromos elemet elektromos impulzusok vezérlik egymástól függetlenül, eltérő fázisban, ezáltal a keltett egyedi hullámok úgy vezérelhetők, hogy azok különböző irányú ultrahangnyalábot alkossanak. Az egyes elemek aktiválása közötti megfelelő késleltetés lehetővé teszi a besugárzási szög változtatását és/vagy fókuszált hullámfront létrehozását.

Az egyes elemek gerjesztése közötti késleltetési idő határozza meg a fókusz távolságot. Míg hagyományos készülék esetében a fókusz távolság adott fejtípusnál állandó, addig a fázisvezérelt technika módot ad a nyaláb alakjának és fókuszpontjának változtatására. Ezzel optimalizálható a vizsgálat, mert a mindenkor vizsgált zónába irányítható az akusztikus energia (1.6. ábra). A dinamikus fókuszálás segítségével az energia ugyanazon a vizsgálaton belül különböző mélységekre koncentrálható. Ugyancsak lehetővé válik a beesési szög változtatása és a különböző szögből történő letapogatás a fej helyzetének változtatása nélkül.

A fázisvezérelt technika segítségével csökkenthető a vizsgálati idő, mivel kiküszöböli a fej mozgásával végzett letapogatást, amelyet ebben az esetben a különböző elemek elektronikus vezérlése helyettesít. Ez a megoldás növeli a vizsgálat megbízhatóságát, mert megszünteti a fej mozgásával járó csatolási bizonytalanságokat.



1.6. ábra. A hagyományos és a fázisvezérelt ultrahangnyaláb összehasonlítása



#### 1.7.4.2 FUTÁSIDŐ SZÓRÓDÁSOS (TOFD) MÓDSZER

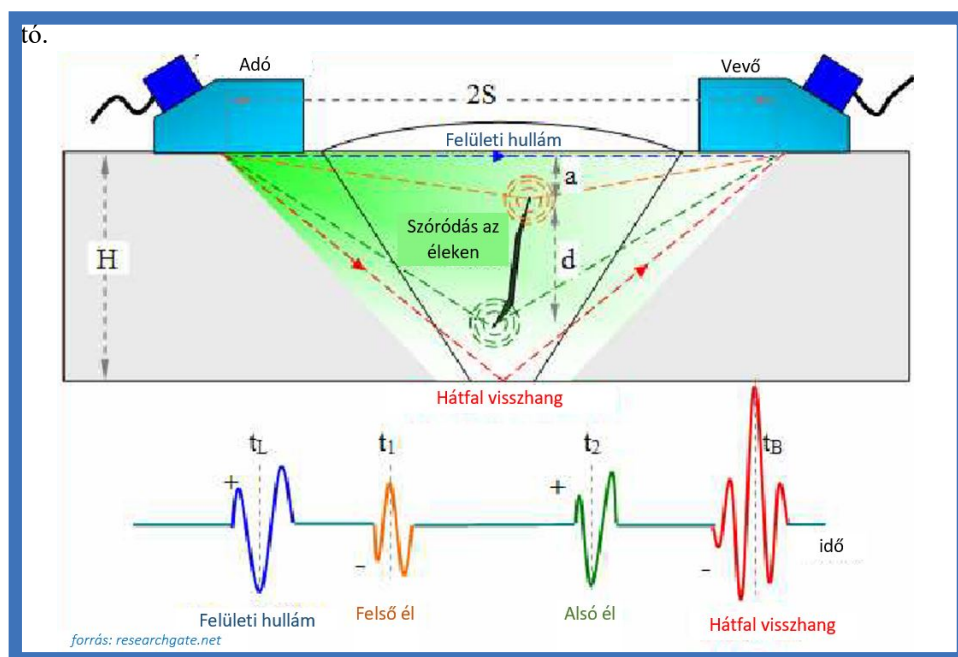
A hagyományos ultrahangos módszerek többé-kevésbé a folytonossági hiány sík felszínéről szabályosan visszaverődő hangot használják fel. A TOFD-technikával a síkszerű folytonossági hiányok csúcsairól érkező, kis intenzitású jeleket detektálják, ezért a módszer érzékenysége kevésbé függ a folytonossági hiány síkjának irányától, és lehetővé válik a méretének pontos meghatározása. (TOFD a módszer angol nevének – time of flight diffraction – rövidítése.)

A diffrakció jelenségét Grimaldi fedezte fel a 17. században a fény terjedését vizsgálva. Ezt követően 1818-ban Fresnel mutatta be a Huygens-elv alapján, hogy ez a jelenség a fény hullám-természetének a következménye. Ebből következően más hullámok, így ultrahang esetén is megfigyelhető. (Megjegyzés: A diffrakció elhajlást jelent. A TOFD-módszer magyar elnevezése azonban elfogadható, mert az elhajlás – több más jelenséggel együtt – a hullám adott közegben való szóródására, mint alapjelenségre vezethető vissza.)

A diffrakciót a klasszikus, kézi ultrahangos technikában már használták, főleg repedések mélységének meghatározására. Az ezen alapuló TOFD-technikát Dr. Maurice Silk fejlesztette ki az 1960-as – '70-es években nukleáris ipari használatra. Ezen a területen ugyanis – az alkatrészek biztonságának, a berendezések biztonságos üzemeltetésének érdekében – olyan vizsgálatokra van szükség, melyekkel az esetleges repedések megbízhatóan kimutathatók, és méretük kis bizonytalansággal megállapítható.

A TOFD-technika két, különálló, longitudinális hullámot kibocsátó szögfejet használ, egymással szembe állítva. Az egyik adóként, a másik vevőként működik, és így módon az anyag teljes vastagságára kiterjed a vizsgálati tartományuk. A vizsgálat elrendezése az 1.7. ábrán látható.

1.7. ábra. TOFD-vizsgálat folytonossági hiány jelenlétében



Az ultrahang impulzus kibocsátását követően a vevő által kapott első jel (a) az úgynevezett felületi (laterális) hullám, amely az anyag felületén halad. A (b) és (c) jel a folytonossági hiány élein szóródó (elhajló) hullámok jele, amelyek közül elsőként a felülethez közelebb eső éltől származó jel érkezik meg. A két jel közötti időkülönbségből nagyon pontosan meghatározható a folytonossági hiány mélység irányú kiterjedése.

Általában a TOFD-technikát tartják a legprecízebb ultrahangos módszernek felületre merőleges, síkszerű folytonossági hiányok mélység irányú kiterjedésének mérésére, valamint hegesztési varratok repedéseinek kimutatására és méretezésére. A módszert széles körben alkalmazzák a petrokémiai és a nukleáris iparban nyomástartó berendezések és csövek tompavarratainak vizsgálatára és gyakran használják szerkezetek integritásának vizsgálata során a kritikus hibaméret szerinti értékeléshez szükséges adatok megszerzésre.

#### 1.7.4.3 IRÁNYÍTOTT HULLÁMOK

Az irányított hullámokkal történő vizsgálat olyan új technika, amely kis frekvenciájú (20 és 30 kHz közötti tartomány), az anyagban Lamb-féle lemez hullámokként terjedő ultrahang-hullámokat használ. Ezek több száz méterre juthatnak el például egy csőfal mentén. A hagyományos ultrahanghoz képest alapvető különbséget jelent az, hogy míg annak nyalábja csak longitudinális vagy transzverzális hullámokból áll, addig az irányított hullámok terjedési módja sokféle lehet. Gerjesztésükhöz általában piezoelektromos fejet vagy EMAT-ot (elektromágneses akusztikus átalakítót) alkalmaznak. Ezeket a fejeket a vizsgálandó cső köré helyezik, így a cső nagyon hosszú szakasza megvizsgálható egyetlen pozícióból.



A cél olyan, gyors vizsgálat kifejlesztése volt, amellyel számszerűen meghatározható az anyag vastagságának eróziós vagy korróziós folyamatok következtében kialakult csökkenése. Az irányított hullámok alkalmazása lehetővé teszi a nem hozzáférhető részek vizsgálatát is gáz- és szénhidrogén vezetékekben, kábeleken, sínekben, pillérekben, stb. A módszert hosszú távú ultrahangos vizsgálatként (angol rövidítése LRUT) emlegetik.

## 1.8 ALKALMASSÁG ÉS KORLÁTOK

Általánosan elfogadott a különböző eljárások és módszerek összehasonlítása és egyesek kedvezőbb megítélése, illetve az előnyeik és hátrányaik számba vétele. A leghelyesebb, ha azt mondjuk, hogy minden eljárásnak, illetve módszernek megvan a maga specifikus alkalmazási területe, a hozzá tartozó előnyökkel és korlátokkal. Egyes módszerek kiegészítenek másokat. A roncsolásmentes anyagvizsgáló felelőssége eldönteni azt, hogy az adott esetben melyik módszert vagy különböző eljárások milyen kombinációját a legcélszerűbb alkalmazni.

Ha ugyanarra a problémára két vagy több módszer is alkalmazható, akkor azokat egyenrangúnak vagy redundánsnak nevezzük. Ha a módszerek önmagukban csak rész-információkat adnak, és a megoldás érdekében több módszert kell bevetni, akkor azokat kiegészítő módszereknek nevezzük. Az egyenrangú módszerek alkalmazása nyilvánvalóan növeli a vizsgálat biztonságát (igaz a költségét és idejét is), míg a kiegészítő módszerekkel kiterjeszthetjük a kimutatható folytonossági hiányok és eltérések körét.

Az ipari anyagvizsgálatok köre nem korlátozódik a roncsolásmentes eljárásokra. Jól ismertek a sok helyütt alkalmazott mechanikai és az ugyancsak fontos szerepet betöltő kémiai analitikai – elsősorban spektroszkópiai – vizsgálatok. Bár ezek mind roncsolásos jellegűek és emiatt, magától értetődően, csak bizonyos számú, kivett mintán – azaz szűrőpróbaként – végezhetők el, ugyanúgy nélkülözhetetlenek a gyártási folyamatok minőségbiztosításához és az üzemelő berendezések állapotának ellenőrzéséhez, mint a roncsolásmentes vizsgálatok.

A különböző eljárások előnyeit és korlátjait az 1.2. táblázat tartalmazza:





1.2. táblázat. A roncsolásmentes vizsgálati eljárások előnyei és korlátai

| VIZUÁLIS VIZSGÁLAT                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ELŐNYÖK                                                                                                                                                                                                                                                               | KORLÁTOK                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Könnyen hozzáférhető<br>Viszonylag egyszerű<br>Bármilyen anyag esetén alkalmazható<br>Lehetővé teszi a folytonossági hiányok pontos lokalizálását                                                                                                                     | Csak a felületi folytonossági hiányokat mutatja ki<br>Képzett operátorokat igényel<br>A folytonossági hiány mélységének megállapítását nem teszi lehetővé                                                                                                                                            |
| FOLYADÉKBEHATOLÁSOS VIZSGÁLAT                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| ELŐNYÖK                                                                                                                                                                                                                                                               | KORLÁTOK                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Gyors<br>Alkalmazása könnyű<br>Nagy érzékenységgű<br>Hordozható<br>Sokféle anyag esetén alkalmazható, a nagyon porózus anyagok kivételével                                                                                                                            | Csak a felületi folytonossági hiányokat mutatja ki<br>Fennáll a szennyeződés kockázata<br>A folytonossági hiány mélységének megállapítását nem teszi lehetővé                                                                                                                                        |
| MÁGNESEZHETŐ POROS VIZSGÁLAT                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| ELŐNYÖK                                                                                                                                                                                                                                                               | KORLÁTOK                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Gyors<br>Alkalmazása könnyű<br>Nagy érzékenységgű<br>Könnyedén mozgatható<br>Pontosan meghatározza a folytonossági hiány hosszúságát                                                                                                                                  | Csak ferromágneses anyagoknál alkalmazható<br>Csak felületi és felület közeli folytonossági hiányokat mutat ki<br>Fennáll a szennyeződés kockázata<br>Remanens mágnesezettség marad vissza<br>A folytonossági hiány mélységének megállapítását nem teszi lehetővé                                    |
| ÖRVÉNYÁRAMOS VIZSGÁLAT                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| ELŐNYÖK                                                                                                                                                                                                                                                               | KORLÁTOK                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Nagy érzékenységgű<br>Nagyon sokoldalú<br>Könnyedén mozgatható<br>Nem igényel csatolóközeget<br>Nagy vizsgálati sebesség érhető el                                                                                                                                    | Csak felületi és felület közeli folytonossági hiányokat mutat ki<br>Csak elektromosan vezető anyagok esetén alkalmazható<br>Sok paraméter változhat egyszerre<br>Ferromágneses anyagoknál nehéz alkalmazni<br>Referencia próbatesteket igényel                                                       |
| IPARI RADIOGRÁFIA                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| ELŐNYÖK                                                                                                                                                                                                                                                               | KORLÁTOK                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Dokumentált eredményt ad<br>Értelmezése viszonylag egyszerű<br>Az operátor alig befolyásolja<br>Bármilyen anyag esetében alkalmazható<br>Nagyon érzékeny a háromdimenziós folytonossági hiányokra<br>Többféle speciális technika létezik                              | Kétoldali hozzáférés szükséges<br>Sík folytonossági hiányok kimutatására nem alkalmas<br>Fennáll a sugárzás kockázata<br>Nagy vastagság esetén nehézségek<br>A berendezések és a biztonság nagymértékű befektetést igényel                                                                           |
| ULTRAHANGOS VIZSGÁLAT                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| ELŐNYÖK                                                                                                                                                                                                                                                               | KORLÁTOK                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Nagy áthatoló képességű<br>Nagy érzékenységgű<br>A reflektor helyzetének pontos meghatározása<br>Csak egy felületen szükséges hozzáférés<br>Azonnali eredmény<br>Automatizálható<br>A teljes térfogatot vizsgálja<br>Nincs sugárzási kockázat<br>Könnyedén mozgatható | Alkalmazása nagy gyakorlatot igényel<br>A vizsgálati technikák széleskörű ismerete szükséges hozzá<br>Durva, vékony vagy szabálytalan felületű darabokon nehezen használható<br>A felszínhez közeli folytonossági hiányokat nehezen érzékeli<br>Csatolóközeget igényel<br>Ellenőrző testeket igényel |





## 2. A radiográfiai vizsgálat fizikai alapjai

### 2.1 IPARI RADIOGRÁFIA: DEFINÍCIÓ

Az MSZ EN 1330-3 szabvány a röntgensugarak, gammasugarak, neutronok és egyéb áthatoló sugárzások tudományaként és alkalmazásaként definiálja az ipari radiográfiát (ebben a kézikönyvben és a továbbiakban: ipari radiográfia).

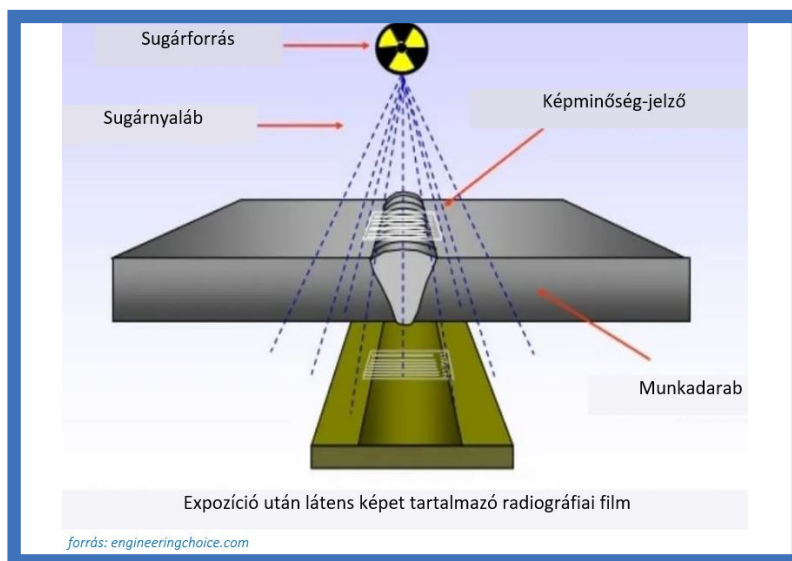
Az MSZ EN 1330-3 szabványban található másik definíció szerint a radiográfia képek előállítása tartós képhordozón. Továbbá, definíció szerint a radiográfiai felvétel az átsugárzó, ionizáló sugárnyaláb által egy filmen vagy radiográfiai papíron létrehozott, látens, megfelelő kidolgozás után látható kép.

Azt lehet mondani, hogy az ipari radiográfia, mint roncsolásmentes vizsgálati eljárás, a következőt jelenti: áthatoló sugárzás (röntgensugarak, gammasugarak, neutronok, elektronok, protonok, stb.) alkalmazása egy tárgyon annak érdekében, hogy a vizsgálandó teljes térfogatról 2- vagy 3-dimenziós képeket lehessen készíteni az adott tárgy folytonossági hiányainak detektálása céljából.

### 2.2 AZ IPARI RADIOGRÁFIA – MINT RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATI ELJÁRÁS – CÉLJA

Nagyvonalakban az ipari radiográfia a következőt jelenti: a vizsgálati tárgy behelyezése az áthatoló sugárzást (általában röntgen- vagy gammasugarakat) kibocsátó forrás és egy fólia közé, amely fóliára beesik az a sugárzás, amelynek sikerül keresztülhatolnia az adott tárgyon. Így módon egy kép rajzolódik ki a fólián (a radiográfiai filmen, a hagyományos radiográfia esetében). A képen a röntgensugárzásnak alávetett tárgy geometriájának és belső szerkezetének részletei láthatók.

2.1. ábra. Ipari radiográfiai felvétel készítése



Az ipari radiográfia egytérfigatosként definiált roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer, azaz, az adott tárgy teljes térfogatában feltárja a rendellenességeket vagy folytonossági hiányokat, a tárgy sérülése nélkül. Következésképpen, az ipari radiográfia célja az, hogy az adott tárgy geometriájáról és belső szerkezetéről egy reprezentatív képet lehessen kapni, melynek segítségével feltárhatók azok az esetleges belső rendellenességek vagy folytonossági hiányok, amelyek nem észlelhetők a tárgy közvetlen (vizuális) megfigyelése során.

A legjobb és legjellemzőbb képek létrehozása minden esetben a sugárzásnak a tárgyon való áthatolási képessége és a tárgy sugárzást gyengítő képessége közötti egyensúlytól függ.

Végül meg kell említeni azt, hogy minden ipari radiográfiai vizsgálat lényeges előfeltétele a vizsgálatban érintett személyzet ionizáló sugárzással szembeni védelme. A szóban forgó vizsgálatok során a biztonság és a felhasznált áthatoló és ionizáló sugárzásokkal szembeni védelem az úgynevezett sugárvédelemnek a része, amely különböző – nemzeti és nemzetközi – szervezetek által szabályozott tevékenységek körébe tartozik.

### 2.3 AZ IPARI RADIOGRÁFIÁBAN HASZNÁLT MÉRTÉKEGYSÉGEK

A radiológiai mértékegységek meghatározásáért és egységesítéséért felelős nemzetközi testületek az alábbiak:

- ◆ Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal (Bureau International de Poids et Mesures, BIPM), amely a nemzetközileg elfogadott mértékegységeket határozza meg és fogadja el
- ◆ Radiológiai Mértékegységek Nemzetközi Bizottsága (International Commission on Radiological Units, ICRU). Ennek feladata az, hogy ajánlásokat tegyen a következőkre:
  - ◇ sugárzásra és radioaktivitásra vonatkozó mennyiségek és mértékegységek,
  - ◇ sugárbiológiai és klinikai radiológiai mérési módszerek,
  - ◇ a fentiekben említett módszerekre történő alkalmazáshoz szükséges adatok és fizikai állandók.

Az ICRU – a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottsággal (International Commission on Radiological Protection, ICRP) együttműködve – felelősséggel tartozik a sugárvédelemre vonatkozó ajánlások kiadásáért is. 1953 és 1962 között az ICRU a következő radiológiai mennyiségeket definiálta: expozíció, elnyelt dózis és egyenérték dózis. Rögzítette ezek mértékegységeit is (röntgen, rad és rem).

Ezeket a mértékegységeket más, új mértékegységekkel helyettesítették, mivel a BIPM 1975-ben az SI (Mértékegységek Nemzetközi Rendszere, *Système International d'Unités*) szerinti néhány új mértékegységet fogadott el: az expozícióra a coulomb/kilogramm-ot, az elnyeltdózisra a gray-t és az egyenérték dózisra 1979-ben a Sievert-et. Az expozícióra, az elnyeltdózisra és az egyenérték dózisra bevezetett fogalmak ezen kézikönyv későbbi részében kerülnek tárgyalásra. Az ipari radiográfiában használt mindkét mértékegység típus – azaz a 'hagyományos' és az SI – fontosságát hangsúlyozni kell. A 'hagyományos' mértékegységek használata még mindig gyakori és kiterjedt mind a szakirodalomban, mind az ipari radiográfia gyakorlati alkalmazása során.



2.1 táblázat. Radiológiai/radiográfiai mértékegységek

| Mennyiség           | SI mértékegység               | 'hagyományos' mértékegység |
|---------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Besugárzás (X)      | coulomb/kg                    | röntgen (R)                |
| Elnyeltdózis (D)    | gray (Gy)<br>1 Gy = 1 J/kg    | rad                        |
| Egyenértékdózis (H) | Sievert (Sv)<br>1 Sv = 1 J/kg | rem                        |

## 2.4 Az IONIZÁLÓ ÉS ÁTHATOLÓ SUGÁRZÁSOK TERMÉSZETE

A sugárzás téren (anyagon vagy vákuumon) keresztüli energiaterjedést jelent. Ez az energiaterjedés elektromágneses hullámok vagy egymással kölcsönhatásban lévő, az energiát továbbító szubatomi részecskék révén valósul meg.

Az ionizáló sugárzások képesek áthatolni az útjukba kerülő anyagon és képesek közben ionizálni azt. Az ionizálási folyamat – amivel a későbbiekben részletesebben foglalkozunk – lényege az elektronoknak atomoktól való, illetve molekuláknak az anyagtól való elválasztása. Ez nagyon fontos, mivel ez az oka annak, hogy az ionizáló sugárzások károsítják az élő szervezeteket. A különböző sugárzástípusok ionizálási és behatolási mértéke egyrészt a sugárzás jellegétől függ, másrészt pedig annak az anyagnak a természetétől, amellyel az adott sugárzás kölcsönhatásba kerül.

Az áthatoló vagy ionizáló sugárzások a sugárzás–anyag-kölcsönhatás szerint osztályozhatók: elektromosan töltött részecskékből álló sugárzások (részecskenyalábok):

- ◆ nagyenergiájú elektronok,
- ◆ pozitronok (az elektronok antirészecskéi, pozitív töltésűek),
- ◆ protonok,
- ◆ alfa-részecskék (hélium atommagok),
- ◆ töltött mezonok,
- ◆ müonok,
- ◆ nehéz ionok (ionizált atomok) és elektromosan semleges részecskékből álló sugárzások,
- ◆ elektromágneses sugárzás (fotonok, pl. UV-, röntgen- és gammasugárzás),
- ◆ neutronok.

Az ionizáló sugárzások előbbi fajtái főleg a Coulomb-erő révén lépnek kölcsönhatásba az anyaggal. Ez az erő taszító vagy vonzó jellegű aszerint, hogy a kölcsönható részecskék töltése egyező vagy ellentétes előjelű.

A röntgensugárzás és a gammasugárzás is kölcsönhatásba lép az anyaggal és annak ionizációját okozza a fotoelektromos hatás, a Compton-effektus (Compton-szóródás) és a párképződés révén. Másrészt viszont, a neutronok és az anyag közötti legáltalánosabb kölcsönhatások a következők: ru-



galmatlan ütközések, neutronbefogás (vagy aktiválás) és maghasadás. Ezek a fogalmak is tárgyalásra kerülnek a későbbiekben ebben a fejezetben.

A hagyományos radiográfiában a leggyakrabban használt áthatoló sugárzás a röntgen- és a gammasugárzás.

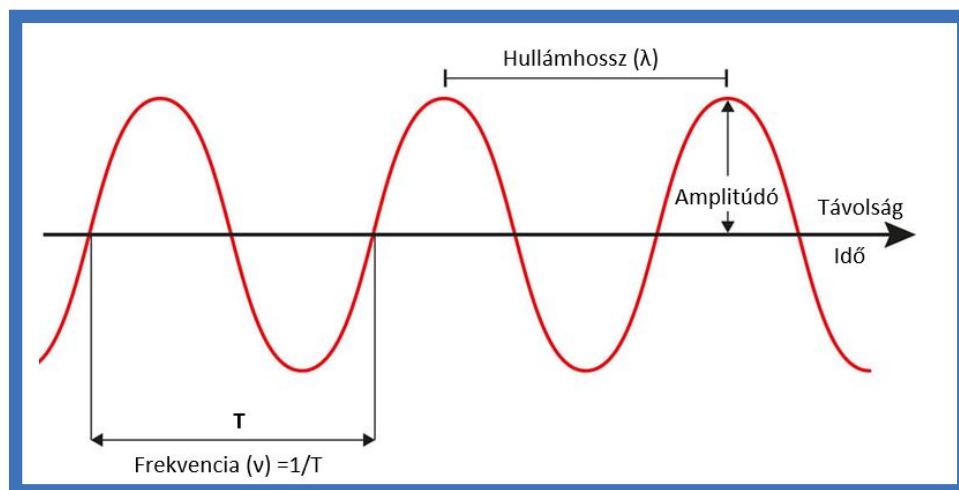
## 2.5 AZ ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁS

Az elektromágneses sugárzás elektromos és mágneses terek térbeli és időbeli periodikus változása, ami a térben hullámként terjed. Ez a hullám bizonyos energiát szállít magával.

Annak megértéséhez, hogy mi is az az elektromágneses hullám, képzeljünk el egy elektromos töltést a tér bármely pontjában (akár vákuumban is). Ha változás történik a töltés mozgásállapotában (azaz, ha megáll, ha mozogni kezd vagy mozgás közben a sebessége változik), akkor zavar lép fel az adott elektromos töltést körülvevő térben. Erre a zavarra jellemző a periodikusság (a hullámokhoz hasonlóan) és a térben állandó sebességgel való terjedés. (Ez a sebesség – a fénysebesség is – hozzávetőlegesen 300.000 km/s vákuumban.) Az ily módon képződött hullám ismert elektromágneses hullám néven.

A hullámot meghatározó és jellemző paraméterek a következők: frekvencia, hullámhossz, periódusidő, amplitúdó és terjedési sebesség.

2.2. ábra. Az elektromágneses hullám



Minden elektromágneses hullámhoz energia kapcsolódik, ami a hullámmal együtt terjed. Ez az energia nem folyamatosan, hanem bizonyos adagokban – úgynevezett kvantumokban – érzékelhető. Egy-egy energiakvantum részecskeként is felfogható, amit fotonnak nevezünk. Az elektromágneses hullámok ezen megközelítése – ami egyébként számos kísérleti tapasztalaton alapult – vezetett a hullám-részecske-kettősség elméletének és az egész kvantummechanika kialakulásához.

Az elektromágneses hullám által szállított vagy ahhoz kapcsolódó  $E$  energiakvantumot a Planck-egyenlet határozza meg. A Planck-egyenlet rögzíti, hogy az elektromágneses hullámhoz kapcsolódó energiaadag a hullám frekvenciájával arányos. Az arányossági tényezőt Planck-állandónak nevezzük.

$$E = h \cdot \nu$$

ahol:

- ◆  $E$  az elektromágneses hullám által szállított energiakvantum,
- ◆  $h$  a Planck állandó ( $6,626 \cdot 10^{-34}$  Js =  $4,136 \cdot 10^{-15}$  eVs),
- ◆  $\nu$  a hullámfrekvencia.

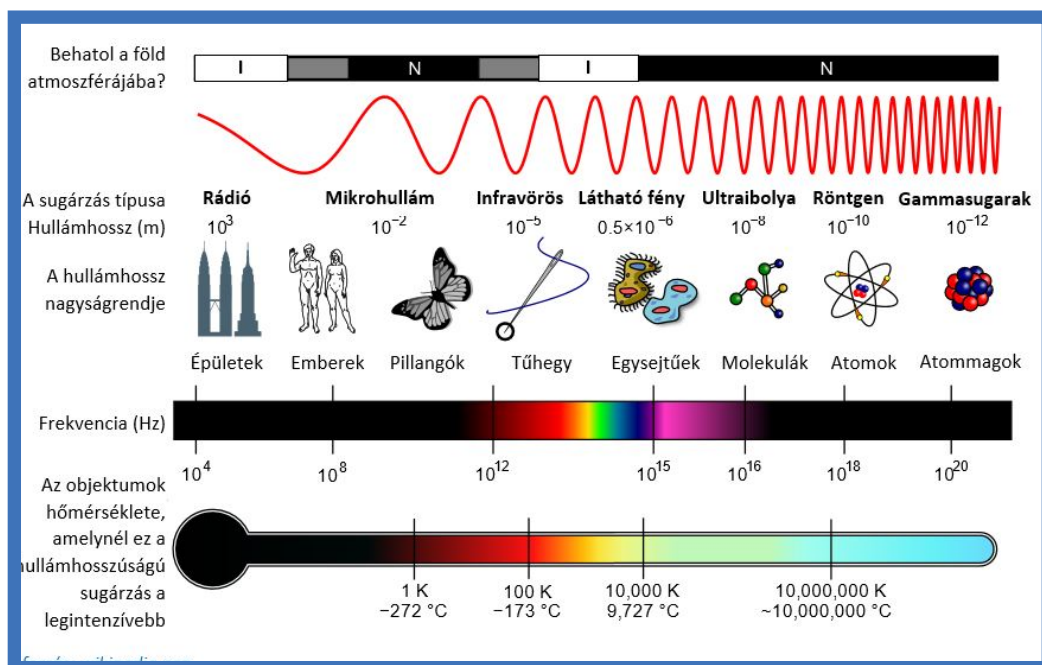
A frekvencia kifejezhető a hullám terjedési sebességével ( $c$ ) és a hullámhosszával ( $\lambda$ ):

$$\nu = c / \lambda$$

## 2.6 ELEKTROMÁGNESES SPEKTRUM

Egy elektromágneses sugárzás csak a hullámhosszában és frekvenciájában tér el a többitől, a sebességük (adott anyagban) azonos. Más szavakkal, az elektromágneses spektrum az összes elektromágneses sugárzási frekvencia együttese.

2.3. ábra. Az elektromágneses spektrum



Az ipari radiográfiai anyagvizsgálatban a röntgensugarak és a gammasugarak sávja az érdekes. Az alábbi táblázat a röntgen- és gammasugárzások hullámhosszait, frekvenciáit és energiáit tartalmazza.

◆ 2.2. táblázat. Röntgen- és gammasugarak hullámhosszai, frekvenciái és energiái

| Sáv            | Hullámhossz (m)     | Frekvencia (Hz)       | Energia (keV) |
|----------------|---------------------|-----------------------|---------------|
| Gammasugarak   | < 10 <sup>-11</sup> | > 30·10 <sup>18</sup> | > 100         |
| Röntgensugarak | < 10 <sup>-8</sup>  | > 30·10 <sup>15</sup> | > 0,1         |

## 2.7 A RÖNTGEN- ÉS GAMMASUGARAK TULAJDONSÁGAI

A többi elektromágneses sugárzáshoz hasonlóan, a röntgen- és gammasugárzásokra, mint hullámokra, ugyancsak a frekvenciájuk, a hullámhosszuk és a terjedési sebességük a jellemző. A röntgen- és a gammasugarak általános jellemzői az alábbiak:

- ◆ Emberi érzékszervekkel nem észlelhetők (nem láthatók, nem hallhatók, stb.).
- ◆ Egyenes vonalban, fénysebességgel terjednek.
- ◆ Elektromos- vagy mágneses terek nem befolyásolják őket.
- ◆ Két különböző anyag közötti határfelületeken kis mértékben megtörhetnek.
- ◆ Addig haladnak egyenes vonalban az anyagon keresztül, amíg nem lépnek kölcsönhatásba egy atomi részecskével.
- ◆ A sugárzás áthatoló képessége egyrészt az energiától függ, másrészt pedig attól az anyagtól, amiben a sugár halad.
- ◆ Elegendő energiával rendelkeznek az anyag ionizálásához és az élő sejtek károsításához vagy elpusztításához.

Természetesen ezek a sugarak is mutatnak részecskeszerű viselkedést, az energiát kis „csomagokban” szállítják. Ezeket az energiacsomagokat fotonoknak nevezzük. A fotonok olyan tömeg nélküli részecskék, amelyek fénysebességgel mozognak, és energiájukat a Planck-egyenlet határozza meg.

Minél nagyobb energiájú egy sugárzás (minél nagyobb a frekvenciája, illetve rövidebb a hullámhossza), annál nagyobb lesz adott anyagban az áthatoló képessége. Fontos szem előtt tartani azt, hogy ennek az összehasonlításnak csak egy adott, a sugárzással kölcsönhatásba lépő anyag esetében van értelme, mert az áthatoló képesség függ az anyagtól is.

### 2.7.1 Áthatoló képesség – a sugárzás minősége

Ahogy azt már korábban láthattuk, a röntgen- és gammasugarak nagyenergiájú elektromágneses sugárzások, amelyek – adott határokon belül – bármely anyagon képesek keresztülhatolni. Ez a tulajdonságuk az ipari radiográfiai vizsgálat alapja és – ezen sugárzások élettani hatása miatt – a sugárzással szembeni védelmi intézkedéseknek az oka. Miután a röntgen- és gammasugarakat elnyelte az emberi test, bizonyos biológiai reakciókra kerülhet sor.

A sugárzás minősége (vagy a sugárzás keménysége) a sugárzás áthatoló képességére utal, adott anyag esetén. Ugyanakkor a röntgen- és gammasugarak minősége vagy áthatoló képessége egyene-





sen arányos az energiájukkal. Minél nagyobb energiájú egy sugárzás (minél rövidebb a hullámhossza), annál nagyobb áthatoló képességgel fog rendelkezni.

A röntgenberendezések sugárzását illetően, a sugárzás energiája és ebből következően az áthatoló képessége – ahogy ez majd a későbbiekben bemutatásra kerül – módosítható azáltal, hogy növelhető vagy csökkenthető a röntgenső anódja és katódja közti feszültség. Ugyanakkor, a gammasugárzás energiája az alkalmazott radioizotópra jellemző paraméter.

A „lágy” sugárzás és „kemény” sugárzás kifejezések tehát a sugárzás minőségének (azaz energiájának) jellemzésére használatosak.

2.4. ábra. A sugárzások minősége

| Energia |                |
|---------|----------------|
| 10 keV  | Nagyon lágy    |
|         | Lágy           |
| 100 keV | Közepesen lágy |
|         | Kemény         |
| 1 MeV   | Nagyon kemény  |
| 10 MeV  | Ultra kemény   |
| 100 MeV |                |

A sugárzás energiáját általában elektronvoltban (eV) mérik. Bár az energia SI szerinti mértékegysége a joule (J), az elektronvolt is elfogadott alternatív mértékegységeként. Definíció szerint egy elektronvolt azzal a többletmozgási energiával egyenlő, amit egy elektron 1 V potenciálkülönbséggel történő gyorsításakor felvesz.

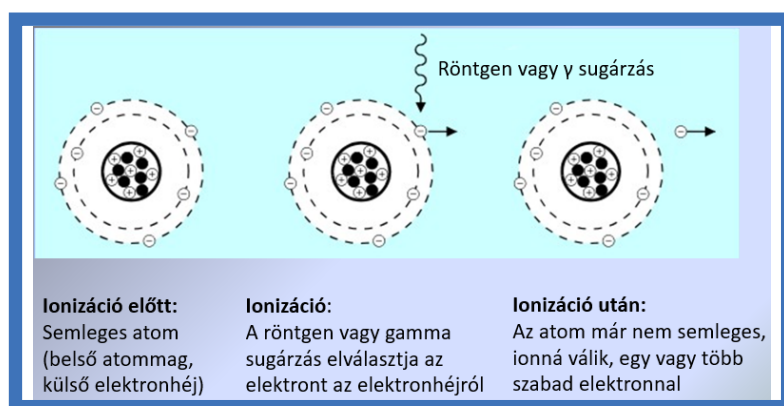
$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

### 2.7.2 Az ionizáció

Amikor röntgen- vagy gammasugarak behatolnak egy adott anyagba, akkor – köszönhetően nagy energiájuknak – képesek lesznek elektronokat leválasztani az atomokról.



2.5. ábra. Az ionizáció



Egy vagy több elektron eltávozása nyomán pozitív elektromos töltésű ion lesz az eredetileg semleges atomból. Ez a folyamat az ionizáció. Ahogy arról később lesz szó, az anyag–sugárzás–kölcshatásra különféle mechanizmusok léteznek. Az ionizációs folyamaton túl, olyan jelenségek figyelhetők meg, mint például az ionizált atomra jellemző röntgensugár kibocsátása, szórt sugárzás kialakulása és elektron–pozitron párok keletkezése.

### 2.7.3 Biológiai hatás

A sugárzással szembeni védelem tekintetében speciális jelentőséggel bír az ionizáció folyamata. Az élő szervezeteken belüli biológiai folyamatok kémiai reakciókon alapulnak. Az ionok érintettek a kémiai reakciókban, míg a semleges atomok kémiailag inaktívak a legtöbb esetben.

Más szóval, ha egy szervezetben az ionizáló sugárzás miatt keletkeznek ionok, akkor kiszámíthatatlan kémiai és úgynevezett sugárbiológiai folyamatok láncolata zajlik le az adott testben, szinte minden esetben negatív hatásokkal. A szabaddá váló elektronok által a szervezetnek átadott energia lényeges szerepet játszik ezekben a folyamatokban, mivel a negatív biológiai hatások arányban vannak az adott szervezetben lévő szabad elektronok koncentrációjával. Ebből adódóan a sugárvédelem célja annak megakadályozása, hogy a nagyenergiájú sugárzások ionizációt okozzanak az emberi szervezetben. Ez kizárólag úgy oldható meg, hogy az emberi test ionizáló sugárzásnak való kitettségét minimalizáljuk.

### 2.7.4 Besugárzás

Az ionizáció mértékét a besugárzás (expozíció) nevű fogalom határozza meg. Definíció szerint, a besugárzás a (röntgen- vagy gamma- vagy másféle) fotonok által az egységnyi tömegű levegőben létrehozott ionok össztöltését jelenti.

A besugárzás mérésére használt mértékegységek az alábbiak:

- ◆ SI mértékegység: coulomb/kg (C/kg),
- ◆ hagyományos mértékegység: röntgen (R).



1 röntgen az elektrosztatikus töltésegység által létrehozott sugárásmennyiség 1 cm<sup>3</sup> levegőben, normál nyomás és hőmérséklet mellett.

$$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$$

$$1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$$

#### 2.7.5 Sugárzás-intenzitás. Sugárterhelés vagy besugárzási dózis

A sugárzás-intenzitás az időegység alatti besugárzás egy adott pontban.

A sugárterhelést R/s-ban vagy C/kg-s-ban fejezik ki. (A nemzetközi rendszerben egyéb időegységek is használhatók, úgymint nap, óra és perc.)

#### 2.7.6 Sugárásmennyiség

A sugárásmennyiség vagy intenzitás adott időpontban, a tér egy adott pontjában, három tényezőtől függ:

- ◆ Az időtartamtól, ameddig a sugárforrás kibocsátja a sugárzást (besugárzási idő),
- ◆ A távolságtól, amely a sugárzás fókuszpontja vagy forrása és a tér azon helye között van, ahol a sugárásmennyiséget mérjük,
- ◆ A röntgensövön átfolyó áram erősségétől vagy a radioaktív forrás aktivitásától.

A sugárterhelés és a röntgensövön átfolyó áram erőssége, illetve a radioaktív forrás aktivitása közötti kapcsolatot két egyenlet mutatja be. (Az említett áramerősséget és aktivitást e fejezet későbbi szakaszai teszik világossá – részletesebb magyarázva azokat.).

A sugárforrástól mért  $d$  távolságban, a sugárásmennyiség – vagy sugárzásintenzitás vagy sugárterhelés ( $X'$ ) vagy besugárzási dózis – a következő képletekkel számítható ki:

gammásugárzás esetén:

$$X' = K \cdot \frac{A}{d^2}$$

ahol:

- ◆  $A$  = a forrás aktivitása
- ◆  $K$  = a radioizotóp dózisállandója, és

röntgensugárzás esetén:

$$X' = K' \cdot \frac{i}{d^2}$$

ahol:

- ◆  $i$  = a cső áramerőssége
- ◆  $K'$  = a cső dózisállandója.

(Megjegyzés:  $K$  és  $K'$  más irodalmi forrásokban  $\Gamma$ -ként és  $\Gamma'$ -ként fordulnak elő.)



### 2.7.7 A sugárzásintenzitás és a besugárzási idő közötti kapcsolat

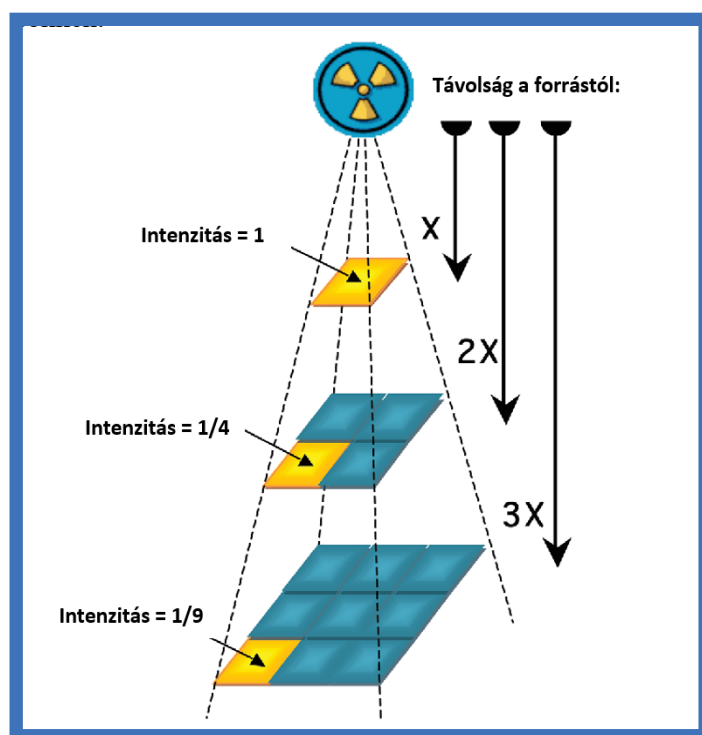
A röntgensövön keresztülhaladó áram erőssége vagy a radioaktív forrásaktivitás, ami a tér egy adott pontján mérhető adott sugárdózis előállításához szükséges, fordítottan arányos a sugárzás kibocsátásának (emittálásának) időtartamával. Azaz:

$$X'_1 \cdot T_1 = X'_2 \cdot T_2$$

### 2.7.8 A sugárintenzitás és az emittáló forrás távolsága közötti kapcsolat

Az egységnyi felületre jutó sugárzásintenzitás a sugárforrástól mért távolság négyzetével egyenes arányban csökken.

2.6. ábra. Az intenzitás-gyengülés távolság-törvénye



### 2.7.9 Elektromos hatás

Az ionizációnak köszönhetően az elektromosan nem-vezető anyag vezetővé válik. A megfelelő vezetőképesség az ionizációs események időegységankénti számával nő. Mivel ezt megszabja a beeső sugárzás dózisteljesítménye, a jelenség felhasználható a sugárzás detektálására és mennyiségi kifejezésére (azaz mérésére).



### 2.7.10 Fotokémiai hatás

A fotoemulziók – mint például a röntgenfilmek – elsötétednek az előzőekben említett ionizáció hatására. Ez képezi a fényképezés alapjait, továbbá a személyi sugárdózis film-doziméterekkel történő ellenőrzését. (Ugyanakkor más módszerek is használatosak a személyi dózisterhelés mérésére.)

### 2.7.11 Fluoreszcens hatás

Bizonyos anyagok az ionizálás következtében látható fényt képesek kibocsátani (fluoreszkálás). Ez a hatás felhasználható a radioszkópiában (fluoreszcens ernyő) és az ionizáló sugárzás detektálásához sugárvédelmi ellenőrzés során.

### 2.7.12 Elnyelt dózisteljesítmény

Egy adott pontban egységnyi idő alatt elnyelt dózis.

### 2.7.13 (Sugárzási) elnyelt dózis vagy dózis

A besugárzott anyagban az ionizáló sugárzás által átadott, egységnyi tömegre jutó energia. Más-ként: egységnyi tömegre jutó, elnyelt átlagos energia egy adott pontban.

Az elnyelt dózis mérésére használt mértékegységek:

- ◆ SI egység: gray (Gy);  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$
- ◆ hagyományos egység: rad, és az átszámítás képlete:  $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$

A vizsgálat és a sugárvédelem szempontjából fontos ismerni az anyag, illetve az anyagvizsgáló által elnyelt sugárzás mennyiségét.

### 2.7.14 Sugárzásgyengülés

Az MSZ EN 1330-3 a következőképpen definiálja a gyengülést: „Egy röntgen- vagy gammasugár erősségének valamely anyagon való áthaladása során, elnyelődés és szóródás okozta csökkenése”. A röntgen- és gammasugárzáshoz hasonlóan, az összes sugárzástípus gyengül egy anyagon való áthaladás közben.

Az MSZ EN 1330-3 az elnyelődést is definiálja a következőképpen: „Az a folyamat, amelynek során a beeső fotonok száma csökken az anyagon való áthaladásakor”; vagy „Egy sugárnyaláb intenzitásának csökkenése az anyagon való áthaladás során”.



Más szavakkal: a sugárzást gyengíti az elnyelődés (a besugárzott anyag által elnyelt energiahányad) és a szóródás (a sugárzás eltérése eredeti terjedési iránytól).

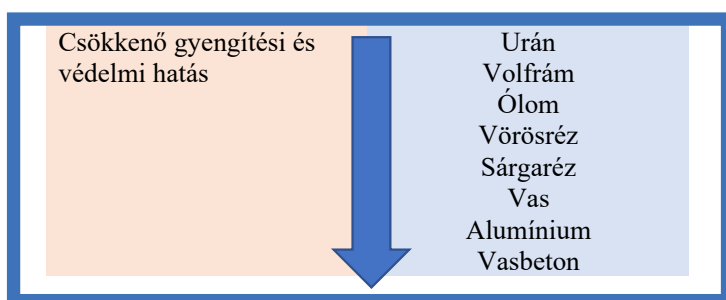
A szóban forgó gyengülés nyomán marad meg a beeső sugárzás azon része, a kilépő sugárzás, amely besugározza a röntgenfilmet. A gyengülés mértéke az alábbiaktól függ:

- ◆ A sugárzás energiája. (Ahogy az majd a későbbiekben ismertetésre kerül, ez az energia a gammaforrások által kibocsátott energiától, vagy a röntgensőben lévő feszültségtől függ.)
- ◆ A munkadarab vastagsága.
- ◆ A vizsgálandó anyag sűrűsége és összetétele (főleg az alkotóelemek rendszáma)

A gyengülés minden esetben az elnyelt dózisteljesítménnyel függ össze.

A gyengülés eltérő lágy sugárzásnál (azaz kisenergiájú, kis behatolási képességű sugárzásnál), valamint könnyen áthatolható, kis atomtömegű anyagnál (például szerves anyagok, könnyűfémek, stb.), illetve kemény sugárzásnál (azaz nagyenergiájú sugárzásnál), valamint nehezen áthatolható, nagy rendszámú és nagy sűrűségű anyagnál (például volfrám és egyéb nehézfémek). Más szavakkal: a sugárzategyengülés nagyobb a kisebb energiák és/vagy a nagy sűrűségű (nagy átlagos atomtömegű) tárgyak esetében. Teljesen áthatolhatatlan anyag nem létezik.

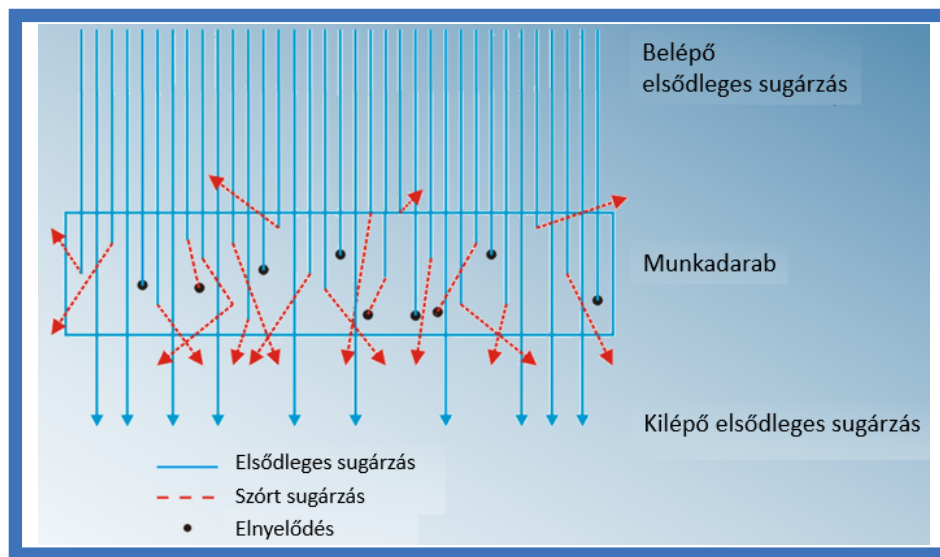
Az alábbi táblázatban az anyagok csökkenő gyengítési képességük vagy sugárzással szembeni hatékonyságuk szerint vannak sorba rendezve.



Az elnyelt dózisteljesítmény gyengülése a sugárzás elnyelődésnek és a sugárzás anyaggal való kölcsönhatásának tudható be. Az anyaggal való kölcsönhatás során, a kölcsönhatás mechanizmusától függően (amellyel a későbbiekben még foglalkozunk), a foton pályájának iránya változhat, ami akár energiavesztést is okozhat. Primer sugárzásnak nevezzük azon fotonok csoportját, amelyek az anyagban (a vizsgált tárgyban) haladva nem változtatják meg mozgásuk irányát. A többi foton által alkotott sugárzást nevezzük szórt sugárzásnak.

A vizsgált tárgyból kilépő szórt sugárzás szétszóródik, azaz sok irányba oszlik szét. Ez különösen igaz a kisenergiájú szórt sugárzásra. Mivel a szórt sugárzás nemkívánatos módon hat a fotoérzékeny elemekre (film, lemez vagy fólia), így ronthatja a vizsgálati tárgyról készített felvételek minőségét, értékelhetőségét.

2.7. ábra. Sugárzás kölcsönhatása az anyaggal



## 2.7.15 Gyengülési mechanizmusok

Fizikai jellemzőiknek köszönhetően, a fotonok kölcsönhatásba lépnek az anyaggal. Amikor a fotonok keresztülhaladnak az anyagon, akkor alapvetően négy mechanizmus gyengíti a sugárzást:

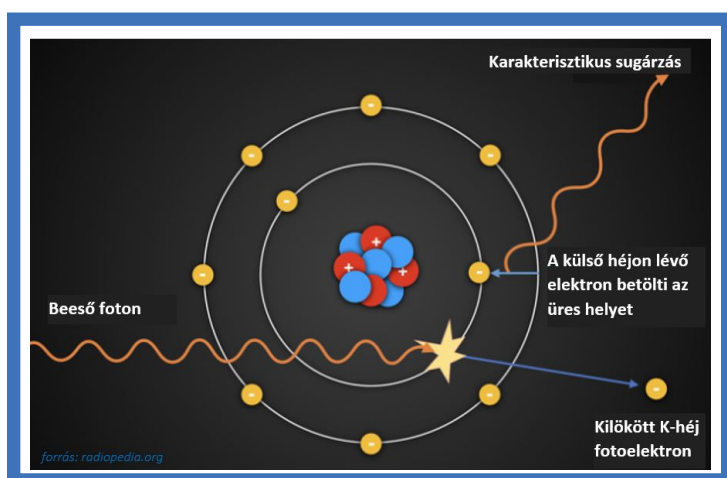
- ◆ fotoelektromos abszorpció (fotoelektromos hatás),  $\tau$
- ◆ klasszikus szóródás (Rayleigh-szóródás),  $\sigma_{kl}$
- ◆ Compton-szóródás,  $\sigma_c$
- ◆ párkeltés.

## 2.7.16 Fotoelektromos abszorpció (fotoelektromos hatás)

A sugárzás és az anyag között ez a fajta kölcsönhatás akkor lép fel, amikor egy viszonylag kisenergiájú elektromágneses sugárzás (röntgen-, gammasugárzás) halad keresztül az adott anyagon, és egy beeső foton összeütközik az anyag egy atomjával. Az összeütközés során a foton teljesen elveszíti az energiáját, amit elnyel az elektron.

Ha a fotonenergia meghaladja egy belső pályán levő elektron kötési energiáját, akkor ez az elektron leválik az atomról (fotoelektromos hatás), karakterisztikus röntgensugarakat kibocsátva. (A karakterisztikus röntgensugár fogalma később részletesen ismertetésre kerül.)

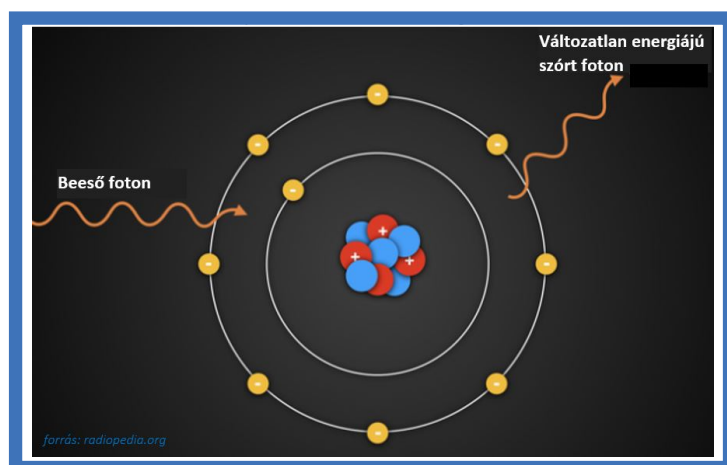
A fotoelektromos hatás nagyobb mértékű, ha a foton pontosan annyi energiával rendelkezik, mint amekkora egy elektron leválasztásához szükséges. Ha nagyobb az energia, akkor csökken a hatás bekövetkezésének valószínűsége. Minél nagyobb az eltérés, annál nagyobb a csökkenés.

2.8. ábra. Fotoelektromos abszorpció (fotoelektromos hatás),  $\tau$ 

## 2.7.17 Klasszikus szóródás (Rayleigh-szóródás)

A belső pályákon levő elektronok hatására a foton – energiavesztés nélkül – eltér az eredeti iránytól. Más szavakkal csak az irány változik, az energia nem.

2.9. ábra. Klasszikus szóródás (Rayleigh-szóródás)



## 2.7.18 Compton-szóródás

Ez a kölcsönhatási mechanizmus az elektromágneses sugárzás és az anyag között akkor lép fel, amikor viszonylag nagy energiájú sugárzás éri az adott anyagot. A sugárzásnak kitett anyagtól függően, a Compton-hatás a 100 keV – 10 MeV közötti energia-intervallumban lesz uralkodó jellegű.

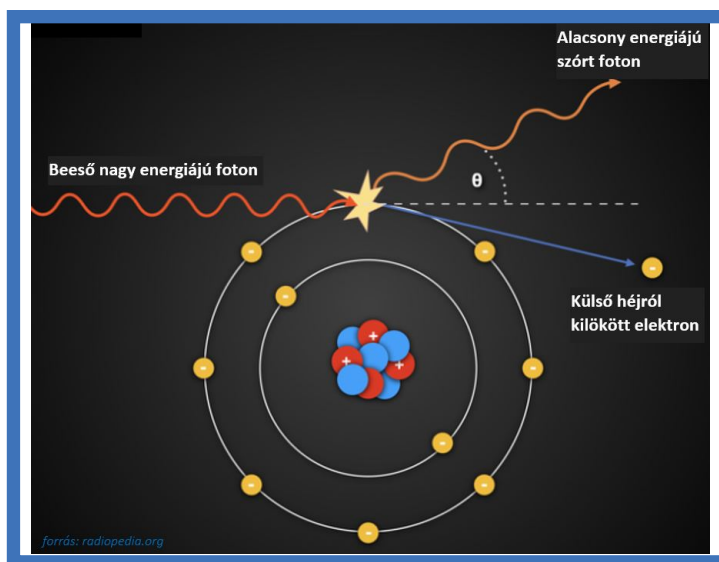




A röntgen- vagy gammasugárzás energiájának egy része átadódik az atomban a legkülső pályákon levő elektronoknak, amelyek ennek hatására leválnak. Azaz a röntgen- vagy gamma-foton rugalmasan ütközik egy elektronnal, leválasztja azt az atomról és energiájának egy részét átadja az elektronnak. A foton iránya is megváltozik, következésképpen energiavesztés lép fel. Az, hogy a beeső fotonok energiavesztése nagyobb vagy kisebb, az adott foton beesési szögétől függ. Az energiavesztés akkor a maximális, ha a foton 180 fokban szóródik az eredeti irányához viszonyítva (visszaszóródás). Fordítva, minimális lesz az energiavesztés, ha a foton a beesési irányban marad az ütközés után. Az elektron által a pályája elhagyásakor kibocsátott sugárzás a karakterisztikus (vagy másodlagos) röntgensugárzás.

Összefoglalásul, a Compton-szóródás során a szabaddá váló elektronok a fotonenergia-átvitel által produkált különböző, a beeső fotonoktól nyert mozgási energiákkal rendelkeznek, amelyek különböző irányokban szóródnak szét.

2.10. ábra. Compton-szóródás

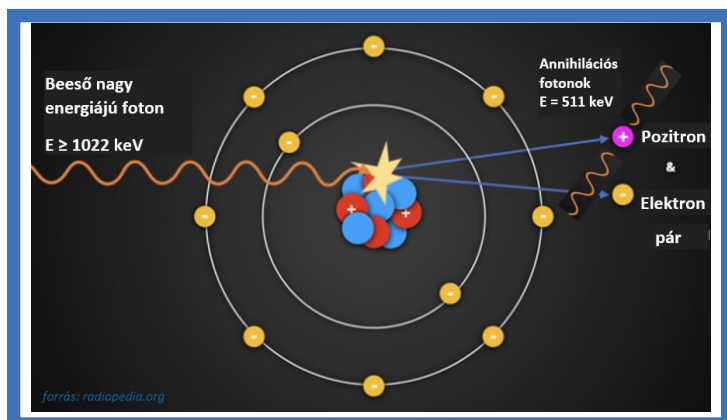


### 2.7.19 Párkeltés

Ha a beeső foton energiája meghaladja az 1022 keV értéket, akkor az atommag elektromos tere elnyelheti a szóban forgó fotont és az átalakulhat egy elektronná és egy pozitronná. (A pozitron az elektron antirészecskéje, melynek tömege azonos, töltése viszont éppen ellentétes az elektronéval.)

A fotonenergia 1022 keV-ot meghaladó része kinetikus energiaként adódik a képződött elektron-pozitron-pár energiájához, lehetővé téve, hogy azok kiszabaduljanak az atomból. Ezek után a pozitron egy elektronnal való ütközés során, az elektronnal együtt rövidesen megsemmisül: két fotonná alakulnak át. Mindkét foton egy-egy elektron tömegének megfelelő energiát (511 keV-ot) fog hordozni.

2.11. ábra. Párkeltés

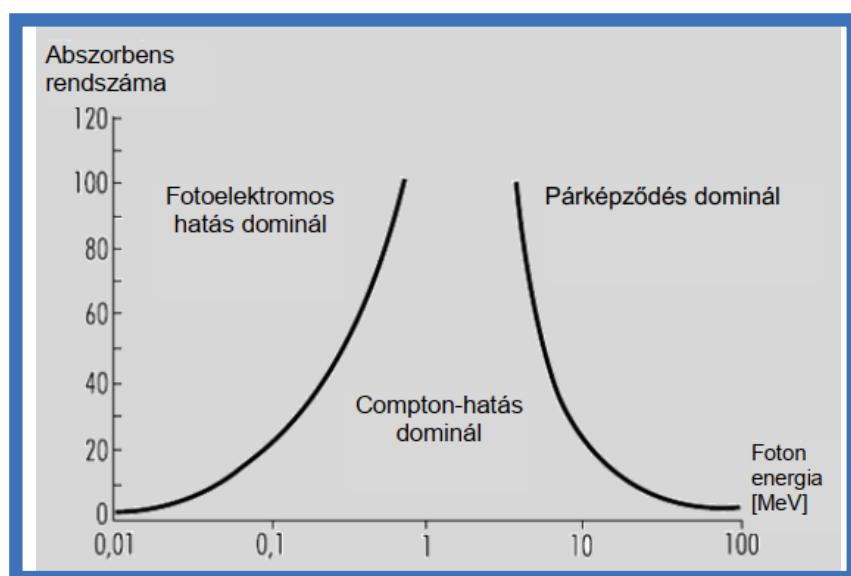


## 2.7.20 A fotonok és az anyag közötti három fő kölcsönhatás relatív jelentősége

Egy adott foton esetén a fentiekben ismertetett esetek bármelyike előfordulhat, kivéve a párképződést, amely csak 1022 keV-nál nagyobb energiájú fotonokkal lehetséges. A fotonenergia és az anyag, amellyel a foton kölcsönhatásba lép, határozza meg azt, hogy melyik kölcsönhatás a legvalószínűbb.

Az alábbi ábrán azok a régiók láthatók, ahol az egyes kölcsönhatás-típusok dominálnak, a foton energiájától és az abszorbens rendszámától függően.

2.12. ábra. A fotonok és az anyag közötti három fő kölcsönhatás relatív jelentősége



A teljes gyengülési folyamat az alábbiak szerint összegezhető (csökkenő energia szerinti sorrendben):

- ◆  $E > 1022 \text{ MeV}$ : párképződés megsemmisüléssel, 511 keV-os fotonok kibocsátásával.
- ◆  $E < 1022 \text{ MeV}$ : Compton-szóródás és rugalmas szóródás.
- ◆ Kis energiáknál: fotoelektromos abszorpció és rugalmas szóródás.

A fotoelektromos abszorpció és a Compton-szóródás során szabad elektronok keletkeznek. Az anyagon keresztülhaladva ezek az elektronok lelassulnak, és közben mozgási energiájuk hővé és röntgensugárzássá alakul át. Ez az úgynevezett fékezési sugárzás, ami a későbbiekben kerül részletesebb ismertetésre. A létrejött fékezési sugárzásnak egy bizonyos iránya lesz, ami abból adódik, hogy alapvetően a többi szórt fotonhoz hasonló jellemzőkkel rendelkeznek.

Amikor egy atom elektronokat veszít, akkor ionná válik. Az ily módon létrejött ionokban az elektronok üres helyeket hagynak maguk után, amikor kimozdulnak a pályáikról. Ezeket az üres helyeket (pályákat) utóbb más elektronok töltik be, amelyek a külső pályáikról az üres belső pályákra ugranak be. A pályát váltó elektronok helyzeti energiája csökken, és az energiakülönbségnek megfelelő frekvenciájú sugárzást bocsátanak ki. Ez spektrálisan elosztott, úgynevezett karakterisztikus röntgensugárzásként jelenik meg az anyagon kívül. A karakterisztikus röntgensugárzásnak, ami hozzáadódik a többi szórt sugárzáshoz, nincs határozott iránya, minden irányban észlelhető az anyag körül.

A szórt sugárzás képződésének sokféle módja miatt nem meglepő, hogy a felsorolt kölcsönhatási folyamatokban keletkező dózisteljesítmény gyakran nagyobb a primer sugárzást létrehozó dózisteljesítménynél. Minél vastagabb az abszorbens réteg, annál nagyobb a szórt sugárzás miatti dózisteljesítmény. A dózisteljesítmény szórt sugárzás miatti növekedését nevezik *szerkezeti tényezőnek*.

A foton energiájának jelentős szerepe van. Minél kisebb a beeső foton energiája, annál nagyobb a szórt sugárzásból származó dózisteljesítmény. Nagyobb fotonenergiák esetén viszont a szórt sugárzás kisebb lesz.

### 2.7.21 Gyengülési törvény

Az anyagon keresztülhaladó sugárzás gyengül, azaz a sugárnyaláb intenzitása csökken (és a sugárzási dózisteljesítmény is csökken). A csökkenés mértékét –  $w$  vastagságú anyagrétegen való áthaladás során – az alábbi képlet határozza meg:

$$H' = H'_0 \cdot e^{(-\mu w)}$$

ahol:

$H'$  =  $w$  vastagságú anyagrétegen való áthaladás utáni dózisteljesítmény.

$H'_0$  = az áthaladás előtti dózisteljesítmény.

$\mu$  = az anyagra jellemző lineáris gyengülési (csillapítási) együttható.

A lineáris gyengülési együttható magába foglalja az abszorpció ( $\tau$ ), a szóródás ( $\sigma$ ) és a párképződés ( $\pi$ ) hatását:  $\mu = \tau + \sigma + \pi$ . A lineáris gyengülési együttható a legfontosabb paraméter, ami a sugárzás anyagba való behatolását jellemzi. Mértékegysége 1/cm (vagy 1/mm, esetleg 1/m).



Az adott anyagban a sugárzás-gyengülés a következő paraméterektől függ:

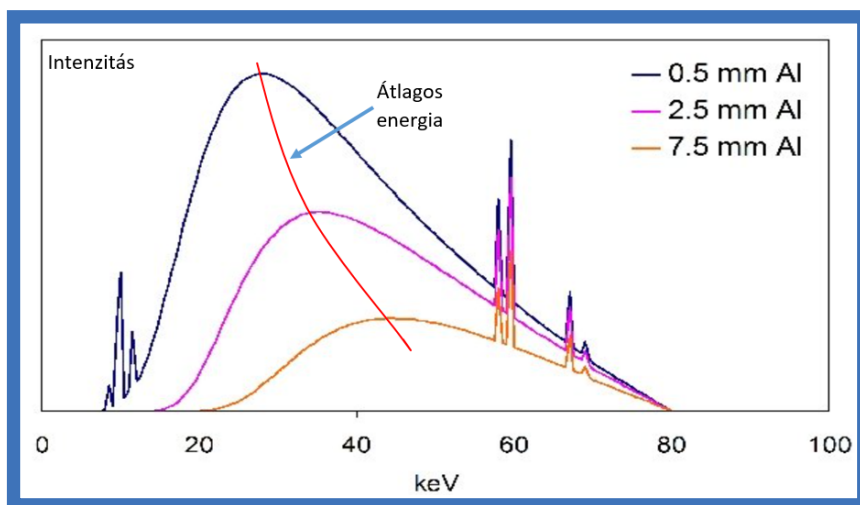
- ◆ az anyag sűrűsége (a gyengülés mértéke egyenesen arányos ezzel), és az anyag atomjainak rendszáma,
- ◆ a sugárzási energia.

Kisebb energiák esetén, amelyeknél a fotoelektromos hatás dominál, a nagy rendszámú anyagok csillapító hatása jelentős. A fotonelektron-kölcsönhatás valószínűsége  $Z_n$ -nel ( $n>3$ ) és  $1/E^3$ -nal nő, vagyis kisebb energiák és nagyobb rendszámok esetén egyre valószínűbb.

Közbenső energiák esetén, amelyeknél a Compton-szórás dominál, és nagy energiák esetén, melyeknél a párképződés az uralkodó hatás, a rendszám kevésbé befolyásolja a kölcsönhatásokat, és a sugárzás-gyengülés hozzávetőlegesen az anyagsűrűséggel arányos és  $1/E$  szerint változik az energiával.

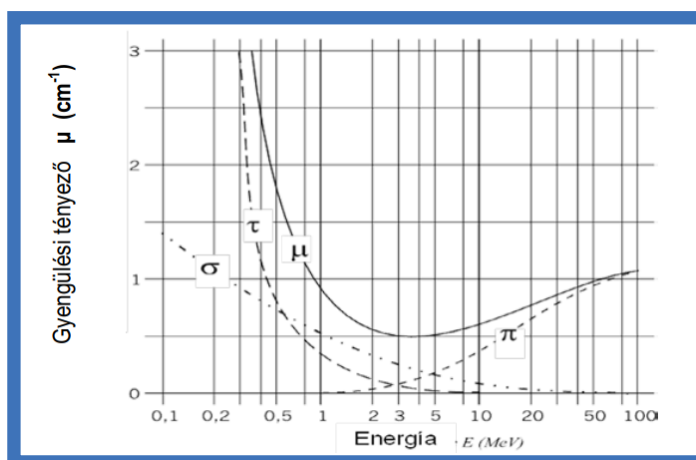
A gamma- vagy röntgensugárzás ólom segítségével történő gyengítése (árnyékolása) használható fel példaként arra, hogy miként gyengíti a háromféle kölcsönhatási mechanizmus a sugárzást. A 2.13. ábrán jól látható, hogy az anyagon való áthaladás során a folytonos spektrum kisebb energiájú része jobban gyengül (jobban csillapodik), mint a nagyobb energiájú része.

2.13. ábra. A folytonos spektrum változása a kisebb energiájú fotonok kiszűrése révén

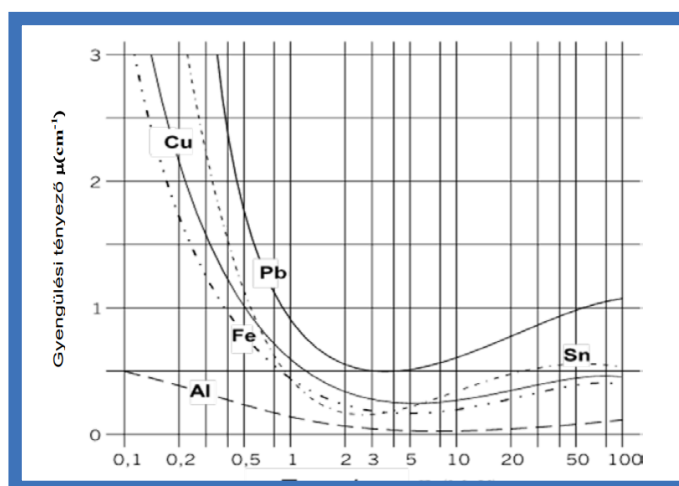


A 2.14. ábra az ólom, a 2.15. ábra pedig többféle anyag lineáris gyengítési tényezőjének változását mutatja be a sugárzási energia függvényében.

2.14. ábra. Lineáris gyengülési tényező az energia függvényében, ólom esetén



2.15. ábra. Különböző anyagok lineáris gyengülési tényezője az energia függvényében

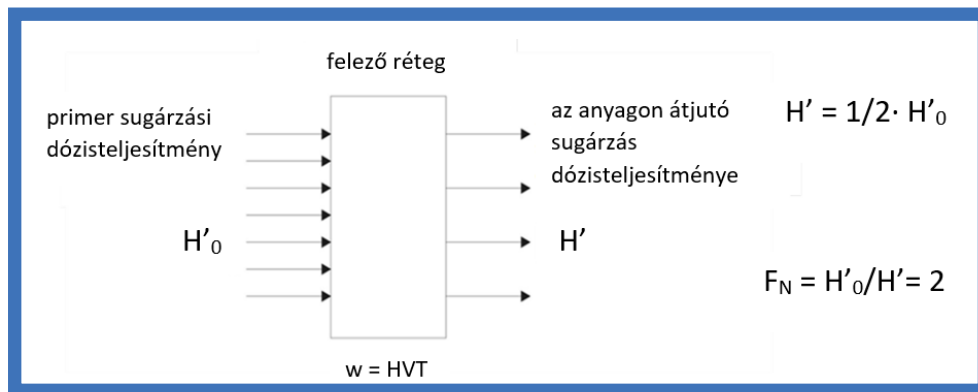


## 2.7.22 Felezőréteg-vastagság

Az MSZ EN 1330-3 a következőképpen definiálja a felezőréteg-vastagságot (HVT): „adott anyag azon vastagsága, amelyet röntgen- vagy gamma-sugárnyalábba helyezve, a sugárzás intenzitását a felére csökkenti”.

A felezőréteg-vastagság a sugárzásgyengülés mérésére szolgál, adott anyagban és adott sugárzástípusra vonatkozóan. Ahogy azt az előzőekben már láttuk, a gyengülés a sugárzási energiától, valamint a besugárzott anyag sűrűségétől függ.

2.15. ábra. A felezőréteg-vastagság értelmezése



Egy anyag gyengítési hatékonyságának meghatározására használt kifejezés a **gyengítési szint (FN)**. Ez a gyengítés előtti és utáni dózisteljesítmények aránya:

$$F_N = \frac{H'_0}{H'}$$

A saját felezőréteg-vastagságával megegyező vastagságú anyag gyengítési szintje tehát kettő.

A gyakorlatban adott anyag adott sugárzásra vonatkozó felezőréteg-vastagságát kísérletek alapján számítják ki.

Végül, érdemes megismerni azt a kifejezést is, amely megadja egy röntgen- vagy gamma-sugárnyaláb intenzitását n darab felezőréteg-vastagságú rétegen való keresztülhaladás után:

$$H' = \frac{H'_0}{2^{\frac{\text{kereszttezett vastagság}}{HVT}}} = \frac{H'_0}{2^n}$$

ahol:

- ◆ HVT = felezőréteg-vastagság
- ◆ kereszttezett vastagság = n · HVT

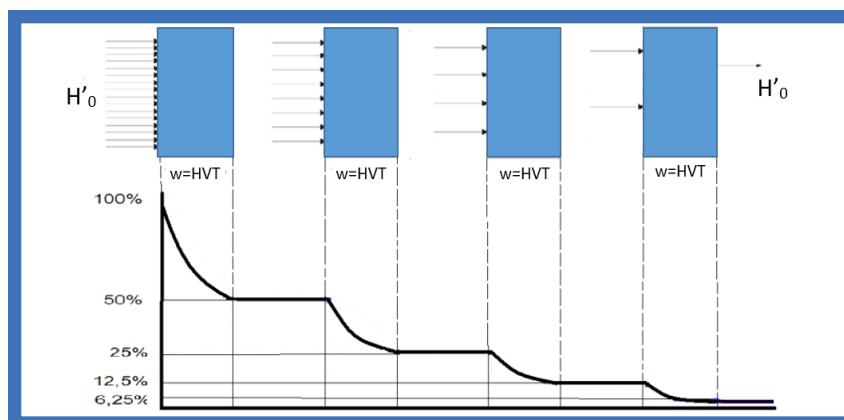
Ez a következőkben leírt kísérletekkel igazolható. Szekvenciálisan egymásra helyezett alrétegekből álló anyagot besugározva, melyben az alrétegek mindegyike felére gyengíti a rá beeső dózisteljesítményt, a kilépő oldalon

- ◆ egy réteg után 50%-a (FN = 2),
- ◆ kettő réteg után 25%-a (FN = 4),
- ◆ három réteg után 12,5%-a (FN = 8).

(és így tovább) mérhető a primer dózisteljesítménynek.



2.17. ábra. A dózisteljesítmény csökkenése felezőréteg-vastagságoként



## 2.8 A RÖNTGENSUGÁRZÁS ELŐÁLLÍTÁSA

Az ipari radiográfiai vizsgálat során használt röntgensugárzás az előző alfejezetben említett fékezési sugárzás, ami akkor keletkezik, amikor egy nagy sebességgel mozgó, töltött részecske (például ebben az esetben egy elektron) valamilyen anyagban lelassul, illetve lefékeződik. Eközben mozgási energiája nagyobb részt hővé, kisebb részben pedig megfelelő energiájú elektromágneses sugárzássá – röntgensugárzássá – alakul át. A röntgensugarat a fékező test bocsátja ki. A röntgensugár ilyen módon való előállítása viszonylag kis hatékonyságú, mert a részecske kezdeti energiájának mindössze 1–3%-a alakul át röntgensugárzássá.

A gyakorlatban három lépés szükséges a röntgensugarak előállításához:

- ◆ elektronnyaláb előállítása,
- ◆ elektrongyorsítás,
- ◆ elektronfékezés vagy –lassítás.

Ezen cél elérése érdekében, az ipari radiográfiai berendezések legalább az alábbi elemekből állnak:

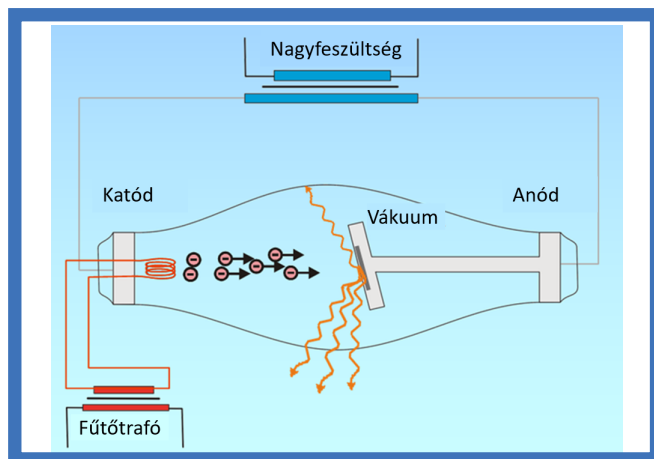
- ◆ katód: az az elem, amelyből – fűtés hatására – az elektronok kilépnek,
- ◆ anód (antikatód): az a hely, amely felé a gyorsuló elektronok mozognak,
- ◆ nagyfeszültségű transzformátor: ez szolgáltatja az elektronok gyorsításához szükséges feszültséget,
- ◆ kisfeszültségű transzformátor: a katód közvetlen fűtéséhez biztosítja az áramot.

Más szavakkal: a röntgensugárzás előállításához használt berendezések működése egy elektronnyaláb (elektronáram) létrehozásán alapul, ami a katódtól az anód irányába mozog, miközben felgyorsítják, majd az anódban lefékeződik, és ennek következtében kinetikai energiája részben sugárzó energiává (röntgensugarakká), részben hővé alakul át.

A kisfeszültségű transzformátor által előállított elektromos áram közvetlenül fűti a katódfémet, amelyből ennek hatására elektronok lépnek ki (ezt nevezik termikus emisszióknak). A katóddal szemben

egy másik elektróda helyezkedik el, ez az anód, amit antikatódnak is neveznek. Az elektronokat a katód és az anód közé adott nagy (néhány száz kilovolttal) feszültséggel gyorsítják fel úgy, hogy a katód negatív, az anód pozitív potenciál van. Ekkor a negatív töltésű elektronokat a katód taszítja, az anód pedig vonzza. Az anódba becsapódó elektronok ott lelassulnak, és kinetikai energiájuk nagy része (általában 99%-a) hővé alakul át, a maradék pedig röntgensugárzássá.

2.18. ábra. Fékezési sugárzás keltése – a röntgensugár-generátor működési elve



Az anódban annak az anyagnak, amelybe az elektron becsapódik (azaz a céltárgynak) nagy rendszámú fémnek kell lennie (mivel így a fékezési teljesítmény, és ebből adódóan a röntgensugár intenzitása is nagyobb lesz), továbbá hőállóknak kell lennie. Megfelelő fékező anyag például a volfrám. Ahogy azt a röntgenberendezések tárgyalásakor látni fogjuk, a nagy hőfejlődés miatt az anódnak hatékony hűtéssel kell rendelkeznie. Ezen túlmenően, az anód sík felületének az elektronsugár tengelyéhez képest olyan szögben kell állnia, ami jelentős röntgensugár-képződést tesz lehetővé. (Ezzel a későbbiekben is foglalkozunk még).

A röntgensőben (ld. 2.18. ábra) vákuumot hoznak létre annak elkerülése érdekében, hogy a levegő elektronokat nyeljen el, mielőtt azok az anódba becsapódnának, és ez által gyengítse a csőből kilépő sugárzást.

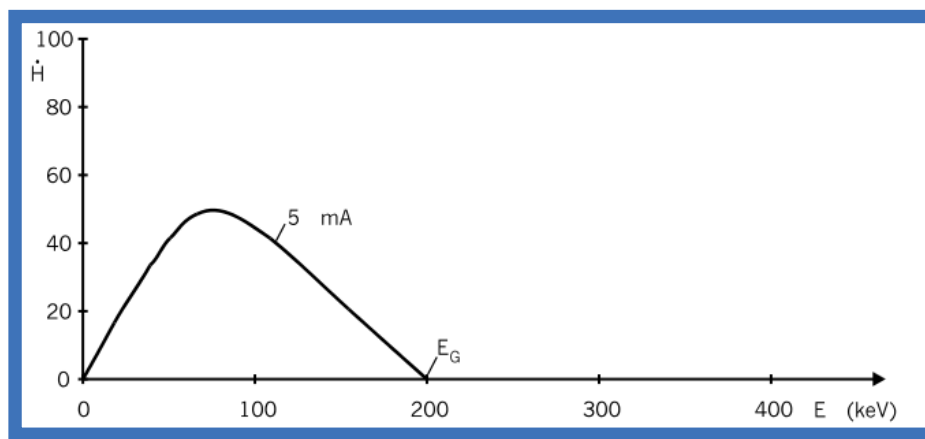
Az elektródok között lévő potenciálkülönbség (feszültség) az a paraméter, ami meghatározza egyrészt a felgyorsított elektronok (vég)sebességét, másrészt az azok által keltett röntgensugár energiáját. Az elektronokra ható gyorsítóerő arányos az elektromos térerősséggel, az pedig a két elektróda közti feszültséggel. Tehát, minél nagyobb az üzemi feszültség (a katód és az anód közötti feszültség), annál nagyobb lesz a becsapódó elektron mozgási energiája. Például  $U = 100 \text{ kV}$  ráadott potenciálkülönbség esetén a mozgási energia  $E = 100 \text{ keV}$  lesz. (SI egységben:  $1 \text{ eV} \cong 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .)



### 2.8.1 Folytonos spektrum

Fékezési sugárzás keletkezésekor az elektronok mozgási energiájának kis hányada röntgensugárzási energiává alakul át. Adott kinetikai energia esetén valamilyen folytonos frekvencia-, azaz energia-eloszlású röntgensugárzás jelenik meg, a megfelelő dózistartománnyal (folytonos spektrum). Ha tehát a dózisteljesítményt a sugárzási energia függvényeként ábrázoljuk, akkor egy folytonos görbét, folytonos spektrumot kapunk.

2.19. ábra. Folytonos röntgenspektrum 200 kV-os gyorsító feszültség esetén



A felgyorsított elektronok, amelyek az anódra ütköznek és abban lelassulnak, sokféle módon léphetnek kölcsönhatásba a céltárgyban levő atomokkal. Feltételezve, hogy az elektron lefékeződésére egyetlen kölcsönhatás nyomán kerül sor, az alábbi összefüggések írhatók fel:

$$E = hc / \lambda$$

$$E = U \cdot q_e$$

ahol:

- ◆ E a röntgenfoton, illetve a felgyorsult elektron energiája [eV]
- ◆ h a Planck-állandó [eVs]
- ◆ c a fénysebesség [m/s]
- ◆  $\lambda$  a röntgensugár hullámhossza [m]
- ◆ U a röntgencső gyorsítófeszültsége [V]
- ◆  $q_e$  az elektron töltése (itt egységnyiinek és dimenzió nélkülinek vesszük).

A fenti két egyenletből kifejezhető a keletkező röntgensugárzás hullámhossza, mint az elektron mozgási energiájának függvénye. Behelyettesítve a két állandó értékét, azt kapjuk, hogy:

$$\lambda [10^{-10} \text{m}] = 12,44 / E [\text{keV}]$$



Ez a minimális hullámhossz, amit adott U-gyorsítófeszültséggel el lehet érni, összhangban a sugárzás maximális energiájával. A fékezési sugárzás maximális energiája nem függ attól a céltárgytól, aminek az elektron nekiütözik, csak az ütközés pillanatában meglévő mozgási energiától.

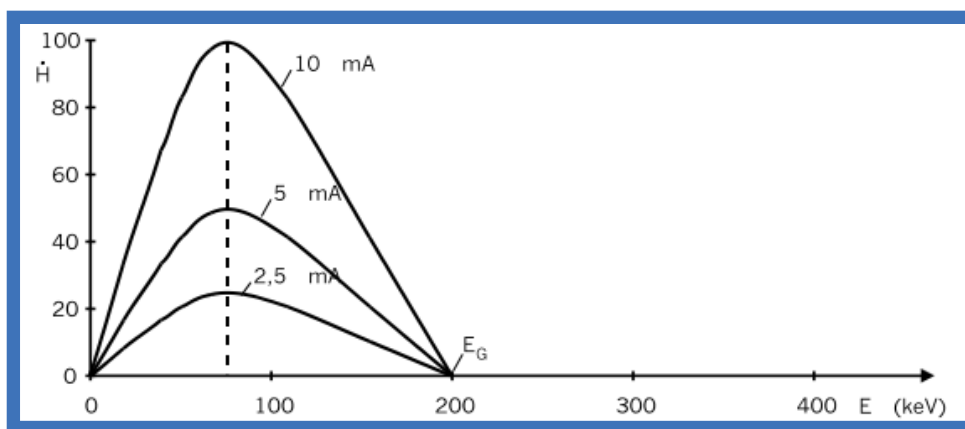
A maximális fékezési energiát tekintjük a határenergianak. Ez az energia csak rendkívül ritka esetekben jelentkezik, mivel nagyobb arányban a kisebb energiák a jellemzők. Ugyanakkor, az anódban és a röntgencső kimeneti ablakában egyaránt meglévő sajátszűrésnek köszönhetően, a nagyon kis energiák elnyelődnek, így ezek súlya is kicsi a spektrumban. A dózisteljesítmény a csőáramtól és csőfeszültségtől függ, ami az üzemi elektronárammal és a cső üzemi feszültségével arányos.

### 2.8.2 A folytonos spektrum változása az üzemi paraméterek függvényében

A csőfeszültség és/vagy a csőáram változásakor ez az előzőekben említett frekvencia-, illetve energia-eloszlás módosul.

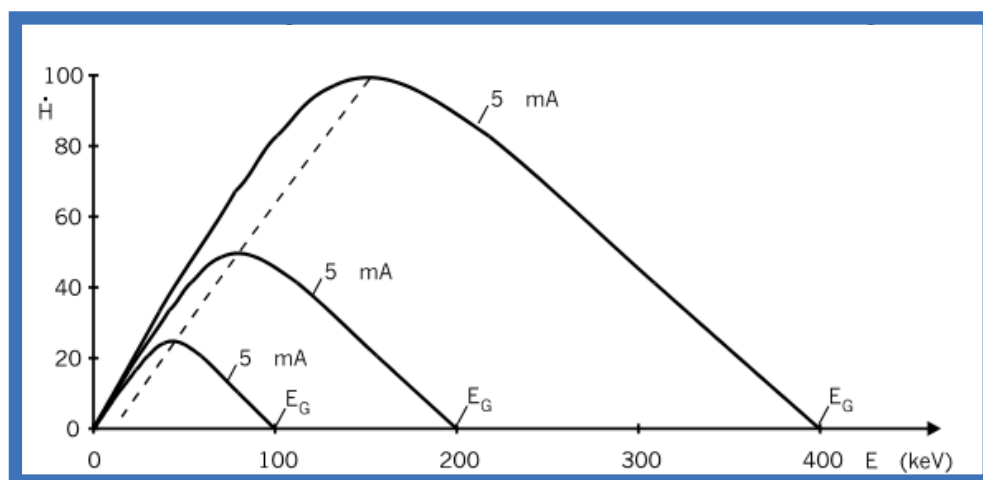
Ha a cső árama változik (pl. 5-ről 10 mA-re, ld. 2.20. ábra), akkor a dózisteljesítmény is követi a változást, de a dózistartomány (a határenergia) állandó marad. Ebben az esetben a sugárzás áthatoló képessége sem fog változni.

2.20. ábra. A folytonos spektrum különböző csőáramok esetén



Azonban, ha a csőfeszültség változik meg, akkor a dózistartomány is változni fog, tehát az áthatólképesség is. ld. 2.21. ábra.

2.21. ábra. A folytonos spektrum különböző csőfeszültségek esetén, azonos csőáram mellett

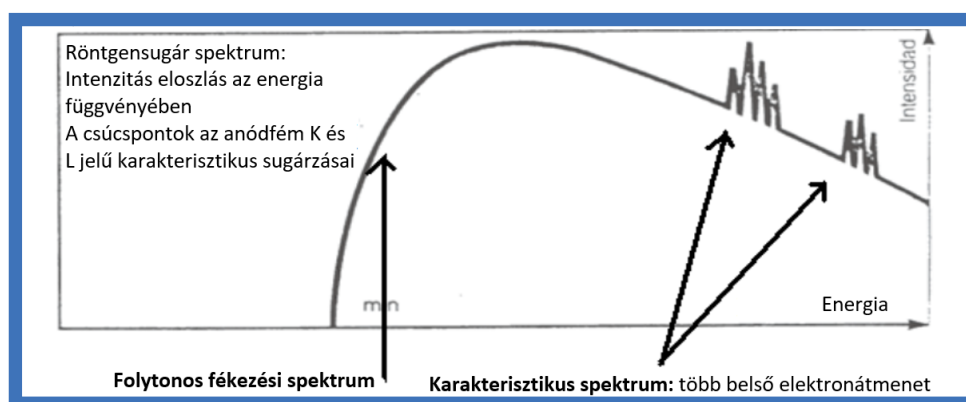


## 2.8.3 Karakterisztikus röntgenspektrum

Amikor egy adott energiájú foton nekiütközik egy atomnak, akkor valamelyik, az atommaghoz közeli pályán lévő elektront „kilöki” a helyéről. Az elektron távozása üres helyet hoz létre, amit egy magasabb – nagyobb energiájú – pályáról beugró elektron tölt be.

Ez az elektronugrás sugárzás – mégpedig röntgensugárzás – formájában megvalósuló energiakibocsátással jár. A kibocsátott energia az elektronugrásban érintett pályák közötti energiakülönbséggel egyenlő és az atomra jellemző. A szóban forgó röntgensugárzás, annak energiája (így frekvenciája és hullámhossza is) tehát arra az atomra jellemző, amelyben keletkezett. Ez az úgynevezett karakterisztikus röntgensugárzás, ami nem hasznos az ipari radiográfia szemszögéből; ugyanakkor sikeresen alkalmazzák anyagok jellemzésére (összetétel).

2.22. ábra. A fékezési sugárzás és a karakterisztikus röntgensugárzás spektruma



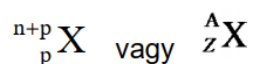
## 2.9 A GAMMASUGÁRZÁS ELŐÁLLÍTÁSA

### 2.9.1 Atomállapotok

A neutronok és a protonok számától, vagy az atom egyes pillanatokban jellemző energia-állapotától függően, az atomok különböző állapotokban találhatók, melyek elnevezései a következők:

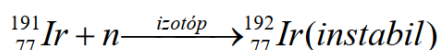
- ◆ izotóp,
- ◆ izobár,
- ◆ izomer,
- ◆ izotón.

Az atomokat elsősorban a tömegszámuk és a rendszámuk jellemzi. A tömegszám az atommagban lévő proton és neutronok (a nukleonok) számának összege. Ezt az **A** betűvel szokták jelölni. A rendszám a – pozitív töltéssel rendelkező – protonok száma. Ennek szokásos jele a **Z** betű. Az egyes atomok szimbolizálására a megfelelő elem kémiai jelét használják, a rendszám (**Z**) és a tömegszám (**A**) megfelelő értékeivel együtt:



#### 2.9.1.1 Izotópok

Az izotópok azonos rendszámú, de eltérő tömegszámú atomok. Egy elem izotópjai tehát a neutronok számában térnek el egymástól. Az eltérő neutronszámból lényeges fizikai különbség fakad: nem mindegyik izotóp stabil. Például az irídium esetében a 191-es tömegszámú izotóp stabil, az eggyel nagyobb tömegszámú nem:



Az azonos rendszámból viszont az következik, hogy az izotópok kémiai viselkedése hasonló. Ezért a periódusos rendszerben azonos a helyük. Innen származik az elnevezésük: „izosz toposz” görögül azonos helyet jelent.

A továbbiakban az izotópokat röviden, csak a tömegszámukkal jelöljük, például:

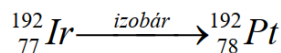


Az instabil izotópok radioaktív sugárzás kibocsátása közben előbb-utóbb stabil állapotba kerülnek. A radioaktív sugárzás mindig tartalmaz gammasugárzást is, amit mind az ipari radiográfiában, mind az orvosi diagnosztikában és gyógyításban felhasználnak. A radiográfiai vizsgálatoknál és a sugárvédelemben az alkalmazott izotópokat gammasugár-forrásoknak, illetve radioaktív anyagnak vagy radionuklidoknak is nevezik. (A radionuklid tulajdonképpen sugárzó atommagot jelent.)



### 2.9.1.2 Izobárok

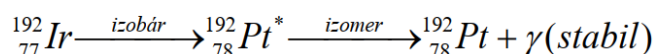
Az izobárok olyan atomok, amelyeknek azonos a tömegszámuk, de a rendszámuk – és így a neutronszámuk is – eltérő. Például:



vagyis, az instabil Ir192 a bomlás során Pt192-vé válik, ami stabil, izobár állapot.

### 2.9.1.3 Izomerek

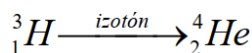
Az izomerek olyan atomok, amelyek magja gerjesztett (nagyobb energiájú) állapotban van, de a tömegszámuk és a rendszámuk is megegyezik a gerjesztetlen (alapállapotban lévő) maggal rendelkező atoméval. A gerjesztett magok gammasugárzás kibocsátása mellett stabil állapotba mennek át. Például:



(A \* az izomer állapotot jelöli és energiátöbbletre utal.)

### 2.9.1.4 Izotópok

Az izotópok azonos neutronszámú, de eltérő rendszámú és tömegszámú atomok. Például:



### 2.9.1 Radioaktivitás

A radioaktivitás, definíció szerint, instabil atommagok spontán átmenete stabilabb állapotba, sugárzás kibocsátása révén. A lehetséges stabil proton-neutron kombinációk meglehetősen ritkák. Az instabil atommagok (melyeket radioaktív magnak vagy radionuklidnak neveznek) spontán módon átalakulnak, melynek során (elemi) részecskéket és elektromágneses sugárzás formájában energiát bocsátanak ki. Az átalakulást radioaktív bomlásnak, az atommag stabilizálódása során kibocsátott részecskenyalábokat alfa- és béta-sugárzásnak, a – viszonylag nagy energiájú – elektromágneses sugárzást pedig gammasugárzásnak nevezik.

Bár a természetben találhatók különféle radioaktív anyagok (például rádium, tórium), az ipari radiográfia területén (és gyógyászatban) ma már kizárólag mesterségesen létrehozott radionuklidokat használnak. Ennek egyfelől nyilvánvaló gazdasági okai vannak, másfelől így bizonyos határok között megválasztható a gammasugárzás energiája és a sugárforrás élettartama (ld. később felezési idő). Instabil atommagot úgy állítanak elő, hogy egy adott anyagot neutronsugárzásnak tesznek ki, rendszerint nukleáris reaktorban. A besugárzott anyag atommagjai – bizonyos valószínűséggel – befogják a kedvező energiájú (az úgynevezett termikus) neutronokat, ily módon megnő a tömegszámuk és energiájuk, és

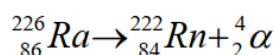


instabil izotóppá válnak. A mesterséges radionuklidok ugyanúgy stabilizálódnak, mint a természetesek, persze mindegyik az atom fajtájára (rendszámára) jellemző sugárzások kibocsátása kíséretében.

Érdemes megjegyezni, hogy a részecskekibocsátás – alfa- vagy béta-sugárzás – önmagában nem stabilizálja az atommagot, úgy egy gerjesztett – izomer – állapot jön csak létre, ami az után válik stabilá, hogy a fölös energiát gammasugárzásként leadta. Ezért minden radioaktív bomlásnak kísérője a gammasugárzás.

### 2.9.3 Alfásugárzás, alfarészecskék

Az alfasugárzás alfarészecskék kibocsátása. Az alfarészecskék pedig nem mások, mint két protonból és két neutronból álló héliummagok (elektronok nélkül). Az alfasugárzó radionuklidok legtöbbje nehézmag,  $A > 140$  tömegszámmal, mint például a rádium, amely radonná alakul:



Az  $\alpha$ -részecskék nagy tömegüknek köszönhetően könnyen kölcsönhatásba lépnek azzal az anyaggal, amelyben haladnak, így gyorsan elveszítik mozgási energiájukat, behatoló képességük csekély. Útjuk során elektronokat fognak be és héliumatomokká alakulnak át. Az  $\alpha$ -részecskék képesek szcintillációt (fénykibocsátást) előidézni.

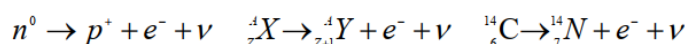
### 2.9.4 Béta-sugárzás, bétarészecskék

A béta-sugárzás elektronokból vagy pozitronokból és antineutrínókból vagy neutrínókból áll. Mindig kétféle részecske van jelen, de bétarészecske alatt csak az elektront vagy az antirészecskéjét, a pozitront értik. (A neutrínó és antirészecskéje nulla nyugalmi tömegű, töltéssel nem rendelkező elemi részecske, aminek legfőbb jellegzetessége az, hogy igen-igen kis valószínűséggel lép kölcsönhatásba bármilyen más részecskével, illetve bármilyen anyaggal, ezért roppant nehéz kimutatni.)

Mivel a  $\beta$ -részecskék kis tömegűek, a behatoló képességük nagyságrendekkel nagyobb, mint az  $\alpha$ -részecskéké, de messze elmarad a gamma- és a röntgensugarakétól.

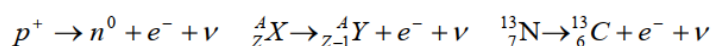
A bétabomlás három típusa ismert:

A negatív bétabomlás, melynek során egy, a magban lévő többletneutron protonná alakul, miközben egy elektron és egy antineutrínó is keletkezik. Ilyen például a  $\text{C}_{14}$  bomlása is:



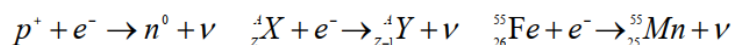
Negatív bétabomlás során eggyel nagyobb rendszámú atom jön létre.

A pozitív bétabomlás, melynek során az instabil atommag egy fölös protonjából neutron lesz, egy pozitron és egy neutrínó kibocsátása közben, ld. például az  $\text{N}_{13}$  átalakulását:



(A  $C_{13}$  a szén stabil, természetes izotópja, ami csak kb. 1%-ban van jelen a természetben.) A pozitív bétabomlás során tehát eggyel kisebb rendszámú atom keletkezik.

Elektron-befogás (úgynevezett. K-befogás, ami a legbelső elektronhéjra utal), melynek eredménye hasonló a pozitív bétabomláséhoz, azaz eggyel csökken a rendszám. A két folyamat egymással verseng. Ha az atommag befogja a hozzá legközelebb mozgó, legbelső elektront, akkor ez az elektron egyesül az atommag egyik protonjával, létrehozva egy neutront és egy neutrínót:



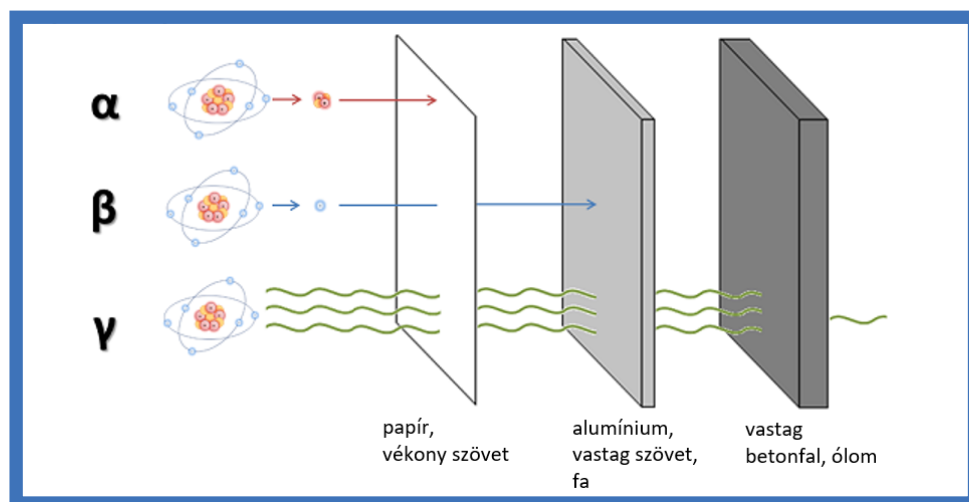
Az elektron-befogás nyomán az atom elektronhéja átalakul: a legkisebb energiájú pályán hiányhely keletkezik, amit egy külső elektron tölt majd be, karakterisztikus röntgensugárzás kibocsátása mellett.

### 2.9.5 Az alfa-, béta- és gammasugárzás áthatoló és ionizáló képessége

A három radioaktív sugárzástípus az áthatoló és az ionizáló képesség tekintetében eltér egymástól. Az alfasugárzások nagyon rövid távolságot tesznek meg, egy papírlap vagy az emberi bőr megállítja őket. A bétasugárzások hozzávetőlegesen egy méternyi távolságot tesznek meg a levegőben, néhány centimétert fában és néhány millimétert fémekben. Ugyanakkor a gammasugárzások akár száz métereket is megtesznek levegőben, és csak vastag ólom- vagy betonfal állítja meg őket. Következésképpen, a be- vagy áthatólképesség tekintetében a három közül a leghatékonyabb a gammasugárzás, azt követi a bétasugárzás és végül a leggyengébb az alfasugárzás (ld. 2.23. ábra).

Ha az ionizáló képességet vizsgáljuk, akkor a sorrend fordított: a leginkább ionizáló sugárzás az alfasugárzás, kevésbé hatásos a bétasugárzás, és végül a három közül a legkevésbé ionizáló hatású a gammasugárzás.

2.23. ábra. Alfa-, béta- és gammarészecskék behatoló képessége



## 2.9.6 Aktivitás

Az MSZ EN 1330-3 a következőképpen definiálja az aktivitást: „a sugárforrásban időegység alatt végbemenő nukleáris bomlások száma”.

Egyetlen atommag bomlási ideje – az instabil állapot élettartama – nem határozható meg vagy nem jelezhető előre. Statisztikailag a bomlás bármely pillanatban bekövetkezhet. A radioaktív bomlási folyamat nem befolyásolható. Miután egy atommag bomlása megtörtént és kibocsátotta a rá jellemző sugárzást, az az atom stabil izotóppá válik, és annál a folyamat nem ismétlődik meg. Az összes azonos fajtájú radionuklidnál statisztikailag ugyanolyan módon történik a bomlás.

Az aktivitás meghatározza a sugárzás intenzitását; de a sugárzási energiát nem, mivel az csak az instabil nukleon fizikai tulajdonságaitól függ. A sugárzó anyagok aktivitásának kifejezésére szolgáló SI mértékegység a becquerel (Bq), ami a tradicionális curie-t váltotta fel. 1 becquerel, definíció szerint, az 1 atom/s ütemben lebomló anyag által produkált aktivitás, azaz

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$

Az aktivitás tradicionális mértékegységét 1 gramm rádium ( $\text{Ra}_{226}$ ) bomlási sebességével definiálták, ami  $3,7 \cdot 10^{10}$  bomlás/s. Ebből következik a két mértékegység közti átváltás:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$$

## 2.9.7 Fajlagos aktivitás

Az egységnyi tömegű izotópok aktivitását nevezzük fajlagos aktivitásnak, melynek mértékegysége Bq/g vagy GBq/kg, vagy hasonló.

Mivel adott izotóp maximális fajlagos aktivitása korlátozott (adott), nagyobb értékű kezdeti aktivitás csak nagyobb izotóptömeggel, illetve nagyobb méretű sugárforrással érhető el (lásd a 2.3. táblázatot).

## 2.9.8 Felezési idő

Ahogy egy-egy atommag elbomlik, a bomlásra képes magok száma folyamatosan csökken – míg a stabil atomok száma növekszik. Más szavakkal: adott mennyiségű izotóp aktivitása az idő múlásával együtt csökken.

Mivel egy-egy bomlás véletlenszerű és a többi bomlástól független, az aktivitás pontos időbeli változását nem lehet tudni, de a tapasztalatok és bizonyos elméleti megfontolások alapján az átlagos változást statisztikai módszerrel meg lehet jósolni. Az erre vonatkozó formula egy exponenciális összefüggés:

$$A(T) = A_0 \cdot e^{-\lambda T}$$





ahol:

- ◆  $A(T)$  a  $T$  időpontbeli, aktuális aktivitás,
- ◆  $A_0$  a kezdeti aktivitás,
- ◆  $T$  az eltelt idő,
- ◆  $\lambda$  az izotóp fajtájára jellemző állandó.

A fenti egyenlőség természetesen egy adott mennyiségű izotópra érvényes. A kezdeti aktivitás az izotópok előállításának (keletkezésének) pillanatában mérhető, és ettől a pillanattól ( $T=0$ ) kezdve számítjuk az eltelt időt. (Már ez az időpont is bizonytalan, mert nem egyszerre fogja be egy adott mennyiségű anyag összes atommagja a neutronokat.)

Az (átlagos) aktivitáscsökkenés gyakorlatban jól használható mértéke a felezési idő. A felezési idő, ami a különféle radionuklidok esetében különböző, azt az időtartamot jelenti, amely alatt egy sugárforrás – egy adott tömegű radioaktív izotóp – aktivitása a kezdeti érték felére csökken. Matematikailag:

$$A(T_{1/2}) = A_0/2$$

ahol

- ◆  $T_{1/2}$  a felezési idő,
- ◆  $A_0$  a kezdeti aktivitás,
- ◆  $A(T_{1/2})$  a felezési idő elteltével mérhető, aktuális aktivitás.

Kétszeres, háromszoros, stb. felezési idő alatt hatványozottan, negyedére, nyolcadára és így tovább, csökken az aktivitás:

$$A = \frac{A_0}{2^{\frac{T}{T_{1/2}}}} = \frac{A_0}{2^n}$$

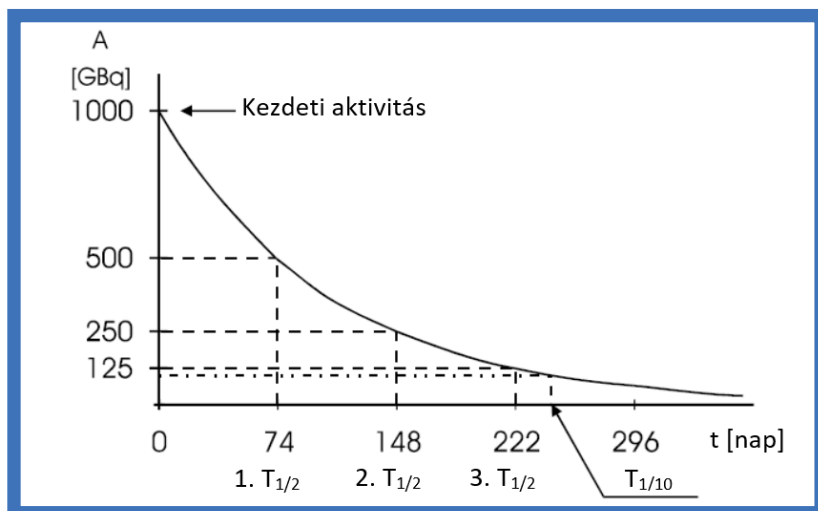
ahol

- ◆  $T$  az összes eltelt idő,
- ◆  $n$  az eltelt felezési idők száma.

(Megjegyzés: A kezdeti aktivitást, és meghatározásának időpontját az izotóp gyártójának meg kell adnia.)

Ebből következően az aktivitás nem az idővel arányosan csökken, azaz a radioaktív bomlási görbe nem lineáris, ahogy az az alábbi példában látható:



2.24. ábra. Az  $\text{Ir}_{192}$  bomlási görbéje (aktivitásának időbeli változása)

Néhány, az ipari radiográfiában leggyakrabban használt radioizotóp felezési időtartamai az alábbiak:

$\text{Cs}_{137}$  esetében 30 év,

$\text{Co}_{60}$  esetében 5,3 év,

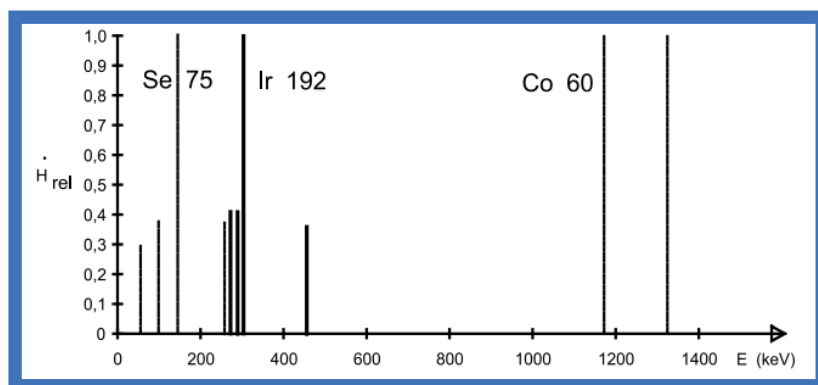
$\text{Ir}_{192}$  esetében 74 nap,

$\text{Se}_{75}$  esetében 120 nap.

### 2.9.9 Diszkrét vagy vonalas spektrum

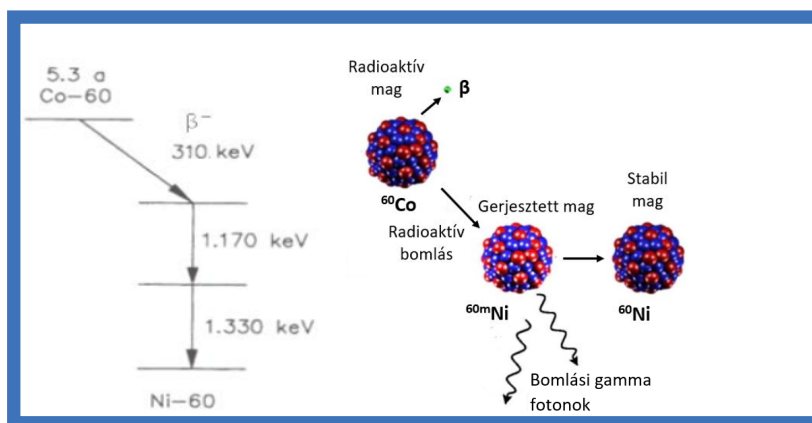
Minden gammaforrásnak megvan a rá jellemző vonalas spektruma, azaz mindegyik radionuklid egy vagy több, rá jellemző energiájú sugárzást bocsát ki.

2.25. ábra. Gammasugarak diszkrét vagy vonalas spektruma



A gammasugárzás spektrális eloszlása nem befolyásolható vagy módosítható, eltérően a röntgensugárzástól, melynek energiaeloszlása azoktól az üzemi paraméterektől függ, amelyek mellett a röntgencső működik. Ez a spektrum az egyes izotópok bomlásaitól függ, figyelembe véve a különböző előfordulási valószínűségeket. Például a  $\text{Co}_{60}$  a következő bomlási sémával rendelkezik:

2.26. ábra. A  $\text{Co}_{60}$  bomlási sémája (legfőleg felezési idő olvasható)



A vázlaton látható, hogy mindig egy  $\beta$ -bomlás történik, majd azt követően – a még gerjesztett állapotú nikkelt atommag két gammafotont bocsát ki, kb. 1,1 és 1,3 MeV-os energiával, melyeket a 2.25. ábra spektrumán látható két vonal jelöl.

#### 2.9.10 Roncsolásmentes anyagvizsgálathoz alkalmazható radionuklidok

Nem minden radionuklid alkalmazható roncsolásmentes anyagvizsgálathoz, mert bizonyos követelményeknek eleget kell tenni, nevezetesen:

- ◆ kellően hosszú legyen a felezési ideje,
- ◆ nagy legyen a fajlagos aktivitása, hogy kisméretű (kis fókuszu) lehessen a sugárforrás,
- ◆ nagy legyen a dózisállandója,
- ◆ megfelelő legyen a kibocsátott sugárzás energiája.

Ezeket a követelményeket az üzemeltetési és a gazdasági szempontok határozzák meg.

Az alábbi táblázat a legszélesebb körben használt gammasugár-forrásokat és azok speciális jellemzőit foglalja össze.

2.3. táblázat. Gammasugár-források és jellemzőik

| Forrás                         | Spektrum-vonal-energia (keV) | Felezőréteg vastagság (HVT) ólomra | Max. áthatoló képesség acélra, kb. (mm) | Felezési idő (nap/év) | Dózisállandó $\frac{\text{mSv}\cdot\text{m}^2}{\text{h}\cdot\text{GBq}}$ |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| túlium<br>Tm <sub>170</sub>    | 52–84                        | 0,4                                | < 5                                     | 128 nap               | 0,0045                                                                   |
| itterbium<br>Yb <sub>169</sub> | 60–130                       | 0,88                               | 12                                      | 31 nap                | 0,049                                                                    |
| szelén<br>Se <sub>75</sub>     | 9–401                        | 1                                  | 40                                      | 120 nap               | 0,055                                                                    |
| irídium<br>Ir <sub>192</sub>   | 206–612                      | 5,5                                | 70                                      | 74 nap                | 0,13                                                                     |
| cézium<br>Cs <sub>137</sub>    | 660                          | 8,4                                | 100                                     | 30 év                 | 0,1                                                                      |
| kobalt<br>Co <sub>60</sub>     | 1170–1330                    | 13                                 | 180                                     | 5,3 év                | 0,35                                                                     |

## 2.9.11 A sugárforrás mérete

Egy gammasugár-forrás (kezdeti) maximális aktivitása úgy és csak úgy növelhető, hogy megnöveljük a sugárforrás méretét, ami lényegében a radionuklidok számának, össz tömegének a megnövelését jelenti. Ugyanis, mint arról már volt szó, a radionuklidok bomlási sebessége, aktivitása csak az izotóp fajtájától függ. (Ezzel a későbbiekben is foglalkozunk még.) A sugárforrás nagyobbítása azonban csökkenti a kapott radiográfiai kép élességét, aminek geometriai oka van.

Következésképpen, előre meg kell határozni az elvárt aktivitást és képminőséget. Az alábbi táblázat adott méretű forrásokkal elérhető maximális aktivitásokat mutatja:

2.4. táblázat. Maximális aktivitás a sugárforrás méreteinek függvényében néhány radioizotóp esetében

| Izotóp           | Maximális aktivitás [GBq] / [Ci] | Forrásméret [mm] (átmérő x hosszúság) |
|------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Se <sub>75</sub> | 90/2,5                           | 1 x 1                                 |
|                  | 370/10                           | 1,5 x 1,5                             |
|                  | 810/22                           | 2,0 x 2,0                             |
|                  | 2200/60                          | 2,5 x 2,5                             |
|                  | 3000/81                          | 3,0 x 3,0                             |



# RADIOGRÁFIAI ANYAGVIZSGÁLAT

| Izotóp            | Maximális aktivitás<br>[GBq] / [Ci] | Forrásméretetek [mm]<br>(átmérő x hosszúság) |
|-------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|
| $\text{Ir}_{192}$ | 300 / 8                             | 1 x 1                                        |
|                   | 600 / 16                            | 1,3 x 1,3                                    |
|                   | 1300 / 22                           | 2 x 1                                        |
|                   | 2100 / 57                           | 2 x 2                                        |
|                   | 4250 / 115                          | 3 x 2                                        |
| $\text{Co}_{60}$  | 55 / 1,5                            | 1 x 1                                        |
|                   | 300 / 8                             | 2 x 1                                        |
|                   | 550 / 15                            | 2 x 2                                        |
|                   | 1670 / 45                           | 3 x 3                                        |
|                   | 4000 / 108                          | 4 x 4                                        |





### 3. Vizsgálati módszerek és eszközök

Általában minden egyes roncsolásmentes anyagvizsgálat esetében – speciális alkalmazási formaként – meghatározásra kerül egy roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer. Mivel ez a kézikönyv a radiográfiai vizsgálattal foglalkozik, így a vizsgálati módszer, mint a radiográfiai vizsgálat egy speciális alkalmazási formája kerül meghatározásra.

A radiográfiai vizsgálati módszerek hagyományos és nem hagyományos kategóriába sorolhatók. Hagományos radiográfiai módszereknek nevezzük azokat, amelyek összetevői: a sugárforrás, az át-sugárzandó tárgy és a – a sugárzásokra érzékeny – röntgenfilm. A többi radiográfiai módszert, azaz, amelyekre nem érvényes az előző definíció, speciális módszernek nevezik. A kézikönyv ezen szakasza a hagyományos radiográfiai módszerekkel foglalkozik; ill. egy egész fejezet tárgyalja a speciális módszereket.

Következésképpen – és az ezen kézikönyvben már ismertetett információk összegzéseként – meg kell említeni, hogy a hagyományos radiográfia azon az elven alapul, hogy ha egy besugárzandó tárgyat a röntgen- vagy gamma-sugárforrás és a röntgenfilm közé helyezünk, akkor a tárgy körvonala és geometriai profiljának külső vagy belső alkotói egy kúpos perspektíva szerint kerülnek kivetítésre a filmre.

Az átsugárzott tárgy különböző részeiben különböző mértékben bekövetkező sugárzás-abszorpció eredménye az, hogy a sugárzás nagyobb vagy kisebb mennyisége éri el a röntgenfilmet. A kép „rávetül” a filmre és létrejön az adott háromdimenziós tárgy kétdimenziós, potenciális képe, az ún. látens kép. A látens kép (amely az emberi szem számára láthatatlan) alkalmas arra, hogy megfelelő kémiai eljárás (ki-dolgozás) hatására valós képpé váljon. A valós képen, a radiográfiai felvételen, a sötétebb részek azok-nak a területeknek felelnek meg, amelyekben a tárgyon áthaladó sugár-fluxus intenzívebb volt. A képen világosabb területek azoknak a részeknek felelnek meg, amelyekben jobban elnyelődött a sugárzás.

Azok a paraméterek vagy jellemzők, amelyek megkülönböztetik az egyes radiográfiai módszereket egymástól, az alábbiak:

- ◆ Sugárforrás
- ◆ ◇ Forrástípus
  - ◆ ◆ Röntgensugarak
  - ◆ ◆ Gammasugarak
- ◆ ◇ Forrásméret
- ◆ ◇ Sugárzás energiája, felezőrétegvastagsága
- ◆ Átsugárzandó tárgy
- ◆ ◇ Anyagtípus
- ◆ ◇ Gyártási eljárás
  - ◆ ◆ Hegesztés
    - ◆ ◇ varrat alakja
      - ◆ ◆ X-varrat
      - ◆ ◆ V-varrat



- ◆ ◆ stb.
- ◆ ◇ Varrattípus
  - ◆ ◆ tompavarrat
  - ◆ ◆ Átlapolt varrat
  - ◆ ◆ Szöget bezáró varratok
  - ◆ ◆ stb.
- ◆ ◆ Öntés
- ◆ ◆ Kovácsdarab
- ◆ ◆ stb.
- ◆ Az alkalmazott röntgenfilm és szűrő/erősítő fólia
- ◆ ◇ Minőség
- ◆ ◇ Méret
- ◆ ◇ Elhelyezés a vizsgálat során
- ◆ A film és a képminőségjelző (IQI) relatív elhelyezése a sugárforráshoz és az átsugárzott tárgyhoz és egymáshoz képest.
- ◆ Geometriai élettenség
- ◆ ◇ Sugárforrásméret
- ◆ ◇ Sugárforrás–filmtávolság (SFD)
- ◆ ◇ Film–tárgy/átsugárzott távolság
- ◆ Megcélzott feketedés
- ◆ Kontraszt
- ◆ A film fele és a film széle közötti torzulási szög ( $\beta$ )
- ◆ Egy adott munkadarab radiográfiai vizsgálatához szükséges besugárzások száma
- ◆ Filmkidolgozás

A fentiekben ismertetett paraméterek mindegyikét úgy kell figyelembe venni és kiválasztani, hogy megfelelő minőségű – és az előírt minimális paramétereken belül levő – radiográfiai felvételeket kapjunk.

Következésképpen, a radiográfiai módszer egy adott radiográfiai vizsgálat végrehajtásához meghatározott feltételek halmazát jelenti.

Így, a meglévő hagyományos radiográfiai módszerek különböző módon csoportosíthatók. Ez a kézikönyv a különböző radiográfiai módszereket csoportosítja, amelyek két fő csoportban kerülnek tárgyalásra:

- ◆ Hagományos radiográfiai módszerek, varratok vizsgálatához.
- ◆ Hagományos radiográfiai módszerek, öntvények vizsgálatához.

Végül, a vékony szelvényű anyagból készült tárgyak átsugárzásakor figyelembe veendő néhány jellemző tulajdonság is tárgyalásra kerül.





### 3.1 VARRATVIZSGÁLATRA SZOLGÁLÓ RADIOGRÁFIAI MÓDSZEREK (MSZ EN ISO 17636-1:2013)

#### 3.1.1 Általános tudnivalók

Ez a szakasz a különböző geometriájú és elhelyezésű hegesztett kötések radiográfiai vizsgálatát lehetővé tevő különböző radiográfiai módszereket ismerteti. Ebből adódóan, az MSZ EN ISO 17636-1 szabványban található különböző radiográfiai módszerek tárgyalására kerül sor. Az MSZ EN ISO 17636-1:2013 „Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Radiográfiai vizsgálat. 1. rész: Filmre alapozott röntgen- és gammasugaras módszerek” az alapvető radiográfiai módszereket ismerteti és részletezi azzal a céllal, hogy kielégítő és reprodukálható eredmények legyenek elérhetők a fémes anyagok ömlesztőhegesztéssel készített varratainak radiográfiai vizsgálata során.

Az MSZ EN ISO 17636-1 szabványban található egyes módszerek és koncepciók vizsgálata, elemzése és megértése lényeges ezen szakasz szempontjából.

Attól függően, hogy a sugárzás a vizsgálandó munkadarab egy vagy két falát (egy vagy két vastagság) keresztezi-e, illetve, hogy egy vagy két átsugárzott vastagság képét kell-e utólagosan kiértékelni, az alábbi kategóriák érvényesek:

- ◆ Egyfalas radiográfiai módszer vagy átsugárzás. A sugárzás a vizsgálandó munkadarabnak csak egy falát vagy vastagságát keresztezi (lásd a 3.1 ábrát).
- ◆ Kétfalass radiográfiai módszer vagy átsugárzás. A sugárzás a vizsgálandó munkadarabnak két falát vagy vastagságát keresztezi. Ez a módszer egy kép vagy két kép kiértékelésével járhat. Egyképes kétfalass radiográfiai módszer vagy átsugárzás. A sugárzás a vizsgálandó munkadarabnak két falát vagy vastagságát keresztezi, de csak az egyik vastagság (a sugárforrástól legtávolabbi) képe kerül kiértékelésre.
- ◆ Kétképes kétfalass radiográfiai módszer vagy átsugárzás. A sugárzás a vizsgálandó munkadarabnak két falát vagy vastagságát keresztezi, és mindkét vastagság képe kiértékelésre kerül.

A hegesztett szerelvény geometriája szempontjából az alábbi elrendezések lehetségesek:

- ◆ vizsgálati elrendezés sík lemezek radiográfiai vizsgálatához,
- ◆ vizsgálati elrendezés görbült tárgyak radiográfiai vizsgálatához,
- ◆ vizsgálati elrendezés görbült tárgyak radiográfiai vizsgálatához (behegesztés),
- ◆ vizsgálati elrendezés görbült tárgyak radiográfiai vizsgálatához (ráhegesztés),
- ◆ vizsgálati elrendezés sarokvarratok radiográfiai vizsgálatához,
- ◆ Különbözö falvastagságok radiográfiai vizsgálata.

Az MSZ EN ISO 17636-1 szabvány a 7. „A radiográfiai felvétel készítésének ajánlott technikái” című fejezetében tárgyalja a különböző radiográfiai módszereket, melyek ebben a dokumentumban a 3.1.3. – 3.1.4. szakaszokban kerülnek ismertetésre.



### 3.1.2 Alkalmazott definíciók és szimbólumok

Az alábbi definíciók az MSZ EN ISO 17636-1-re és erre a dokumentumra egyaránt érvényesek:

- ◆ névleges vastagság,  $t$ : Csak az alapanyag névleges falvastagsága. A gyártási tűréshatárokat nem kell figyelembe venni.
- ◆ átsugárzott vastagság,  $w$ : A sugárnyaláb irányában lévő anyagvastagság, a névleges vastagság alapján kiszámítva. A több falat átsugárzó módszerek esetében az átsugárzott vastagságot a névleges vastagságból kell kiszámítani.
- ◆ tárgy–film-távolság,  $b$ : A sugárnyaláb központi tengelye mentén, a vizsgálati tárgy sugárforrás felé eső felülete és a film felülete között mért távolság.
- ◆ sugárforrás–film-távolság (SFD): A sugárnyaláb irányában a sugárforrás és a film között mért távolság.
- ◆ sugárforrás–tárgy-távolság,  $f$ : A sugárnyaláb központi tengelye mentén, a sugárforrás és a vizsgálati tárgy sugárforrás felé eső oldala között mért távolság.

### 3.1.3 Nem-íves hegesztett szerelvények radiográfiai vizsgálata

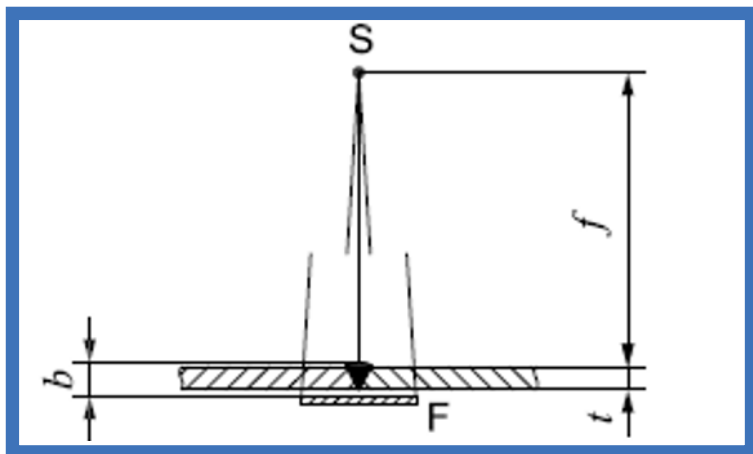
#### 3.1.3.1 Sík lemezek radiográfiai vizsgálata

A vizsgálati elemeket a 3.1 ábrán látható módon kell elhelyezni, azaz, a sugárforrás a tárgy előtt van, a film pedig az ellenkező oldalon. Ez a módszer az egyszeres falon át történő felvételek készítéséhez használatos.

Ha a kötés „V” vagy „J”-alakú, akkor a filmet a varratgyök legközelebbi részénél kell elhelyezni annak érdekében, hogy ezáltal optimalizálni lehessen az élettenségi feltételeket.

Amikor csak lehetséges, a képminőségjelzőt (IQI) és az azonosító jeleket a forrás-oldalon kell elhelyezni. A kép kiértékelhető határait jelző „szektor” jeleket is a forrásoldalon kell elhelyezni.

3.1. ábra. Vizsgálati elrendezés síklemezek egyszeres falon való átvilágítására  
(1. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ben)



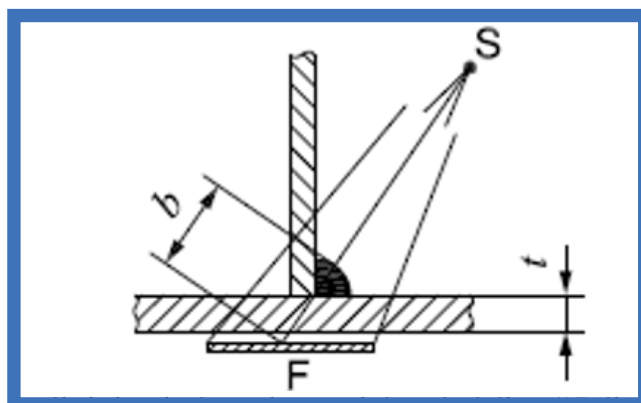
Amikor ezzel a módszerrel készítünk egy radiográfiai felvételt, akkor a speciális paraméterek (geometriai életlenség, átsugárzott vastagság, feketedés, kontraszt és torzulási szög) az alábbiak szerint változnak a kép középpontjától a kép szélei felé haladva:

- ◆ Geometriai életlenség: állandó marad (metszéspont tétel).
- ◆ Átsugárzott vastagság: növekszik.
- ◆ Feketedés: csökken, mivel a falvastagság és a fókusztávolság növekszik.
- ◆ Kontraszt: csökken, mivel a falvastagság nő és a feketedés csökken.
- ◆ Torzulási szög  $\beta$ : növekszik.

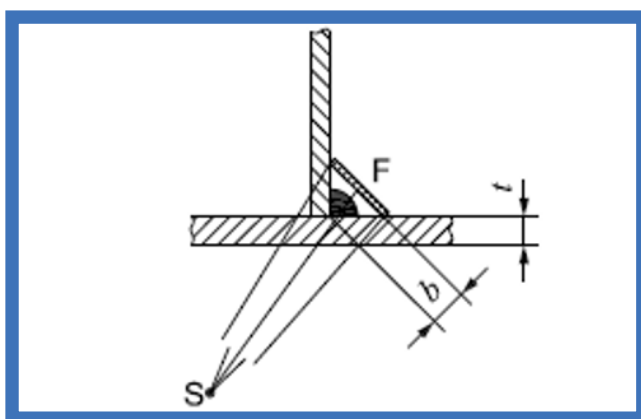
### 3.1.3.2 Sarokvarratok átsugárzása

Az alábbi ábrák (3.2 és 3.3 ábra) az MSZ EN ISO 17636-1-ben található szabályokat, előírásokat szemléltetik, egy sarokvarrat átsugárzására vonatkozóan.

3.2. ábra. Vizsgálati elrendezés sarokvarratok átsugárzásához (17. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ben)



3.3. ábra. Vizsgálati elrendezés sarokvarratok átsugárzásához (18. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ben)



A minőségi paraméterek az alábbiak szerint változnak a kép középpontjától a kép szélei felé haladva:

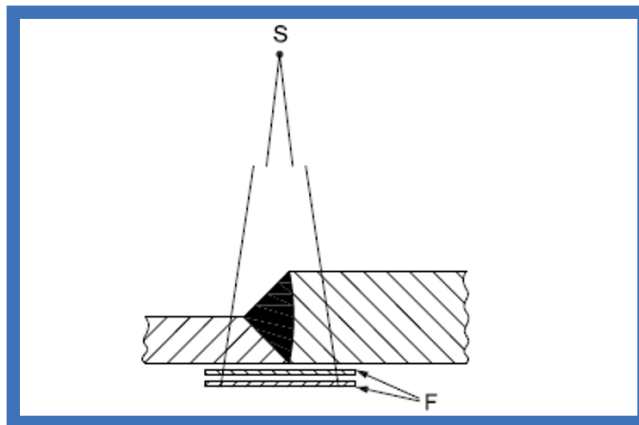
- ◆ *Geometriai élettenség*: csökken, mivel a falvastagság és a fókuszfilm távolság-növekszik.
- ◆ *Átsugárzott vastagság*: jelentősen növekszik.
- ◆ *Feketedés*: jelentősen csökken, mivel a falvastagság és a fókuszfilm-távolság növekszik.
- ◆ *Kontraszt*: csökken, mivel az átvilágított anyagvastagság nő és a feketedés csökken.
- ◆ *Torzulási szög  $\beta$* : jelentősen növekszik.

### 3.1.3.3 Többfilmes módszer

A 3.4 ábra az MSZ EN ISO 17636-1 szabványban található elrendezést mutatja a többfilmes módszer alkalmazásával történő átsugárzás esetére vonatkozóan.

A két vagy több filmet használó filmes technikák ugyanabban a filmtartóban két vagy több különböző sebességű filmet használnak. A megtekintés történhet külön-külön, vagy akár egyszerre is, feltéve, hogy az adott területre vonatkozó radiográfiai minőségi szint és feketedés követelményei teljesülnek. A többfilmes technikák előnye, hogy a tárgyról legalább két kép áll rendelkezésre, ami megkönnyíti a hibák helyzetének megállapítását. Ez nagyobb lefedettséget is biztosít, különösen akkor, ha a vizsgált darab változó vastagsággal rendelkezik. Ezek az átsugárzások sík és nem-sík geometriákra alkalmazhatók.

3.4. ábra. Többfilmes módszer (19. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ben)



### 3.1.4 Íves hegesztett szerelvények radiográfiai vizsgálata

Az alábbi röntgenfelvétel módok alkalmazhatók:

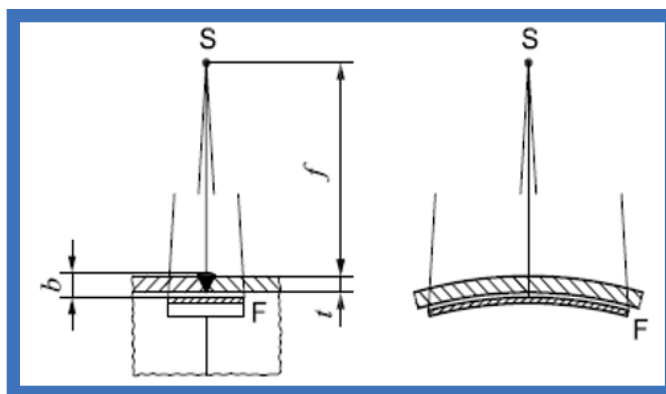
- ◆ Íves geometria-besugárzás, egy fal esetén, külső forrással.
- ◆ Íves geometria-besugárzás, egy centrikus- vagy panorámafal esetén.
- ◆ Íves geometria-besugárzás, egy excentrikus fal esetén.
- ◆ Elliptikus besugárzás. Íves geometria-besugárzás, dupla fal és dupla kép esetén.
- ◆ Íves geometria-besugárzás, dupla fal és egy kép esetén.



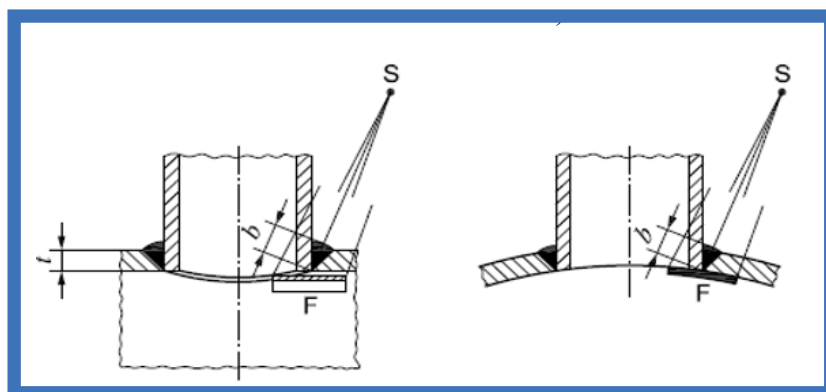
### 3.1.4.1 Íves geometria átsugárzása, egy fal esetén, külső forrással

A sugárforrás a tárgyon kívül, a film belül helyezkedik el.

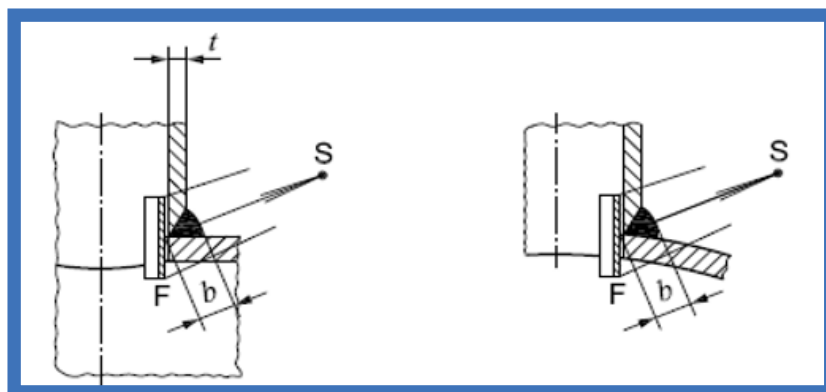
3.5. ábra. Vizsgálati elrendezés görbült tárgyak egyszeres falon való átvilágítására  
(2. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ből)



3.6. ábra. Vizsgálati elrendezés görbült tárgyak egyszeres falon való átvilágítására (behegesztés);  
(3. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ből)



3.7. ábra. Vizsgálati elrendezés görbült tárgyak egyszeres falon való átvilágítására (ráhegesztés);  
(4. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ből)



Amikor ezzel a módszerrel készítünk egy röntgenfelvételt, akkor az egyes képek speciális paramétere (geometriai élettenség, átsugárzott vastagság, feketedés, kontraszt és torzulási szög) az alábbiak szerint változnak a kép középpontjától a kép szélei felé haladva:

- ◆ *Geometriai élettenség:* növekedhet vagy állandó marad a cső geometriától függően, mivel a falvastagság és az SFD növekszik.
- ◆ *Átsugárzott vastagság:* jelentősen – bármely más pozícióhoz képest jobban – növekszik.
- ◆ *Feketedés:* jelentősen csökken, mivel a falvastagság és a fókusztávolság növekszik.
- ◆ *Kontraszt:* csökken, mivel az átvilágított anyagvastagság nő és a feketedés csökken.
- ◆ *Torzulási szög  $\beta$ :* jelentősen – bármely más pozícióhoz képest jobban – növekszik.

#### 3.1.4.2 Íves geometria-besugárzás, centrikus- vagy panorámafal esetén

A sugárforrás a tárgy belsejében, központosan, a film a külső oldalon van elhelyezve.

Csővizsgálat esetén, a cső átmérőjének kellően nagyra kell lennie ahhoz, hogy a sugárforrás elhelyezhető legyen benne. Ezen módszernek az az előnye, hogy egy felvétellel elkészíthető a vizsgálandó varrat teljes radiográfiája. Ugyanakkor, a fő hátránya az, hogy a sugárforrást nehéz elhelyezni a megfelelő – azaz, a vizsgálandó hegesztett szerelvényhez viszonyítva központosított – helyre.

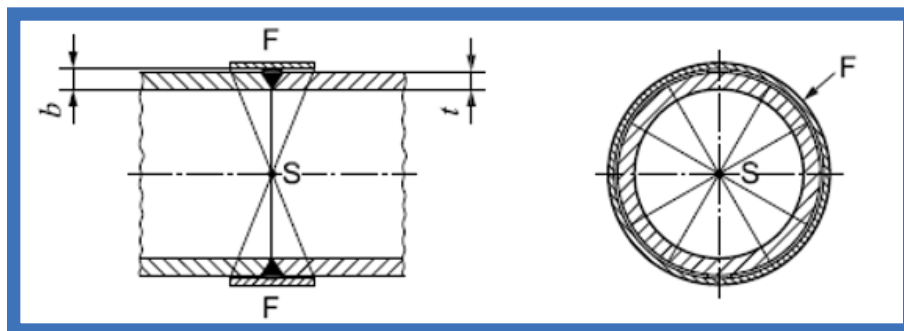
Általában – kivéve, ha a forrásoldalhoz való hozzáférés biztosított – mindkét jel, azaz, minőségjelző és az azonosító jelzések, a filmoldalon kerülnek elhelyezésre.

A folytonossági hiányok későbbi helymeghatározására nagyon alkalmas és általánosan használt megoldás a centiméter-osztású szalag, ólomszámokkal. Ez a hegesztési varrat oldala mellett kerül elhelyezésre. A hegesztési varrat radiográfiai felvételének elkészítéséhez szükséges elemek rögzítése ragasztószalaggal, elasztikus szalagokkal, mágnesekkel, stb. történik.

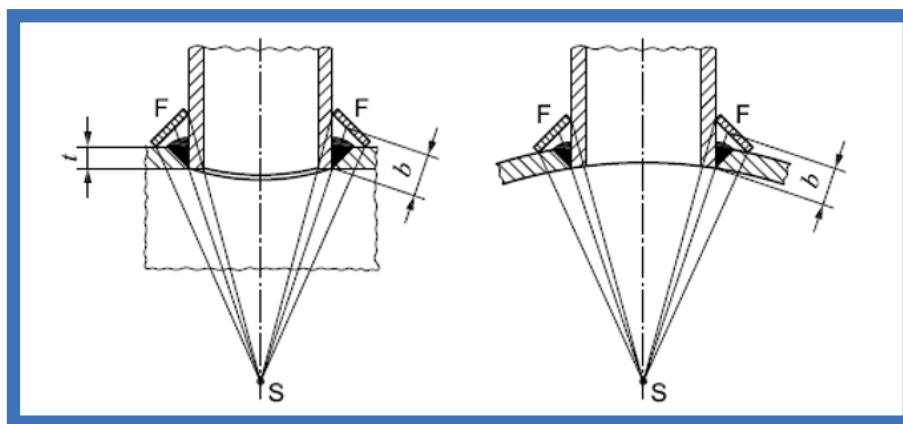
Az alábbi ábrák (3.8, 3.9 és 3.10) egy panoráma-átsugárzás készítéséhez használatos - az MSZ EN ISO 17636-1-ben található – elrendezéseket mutatják.

Mivel az értékes vizsgálati terület kicsi, így nagyszámú felvételre van szükség a teljes terület lefedéséhez.

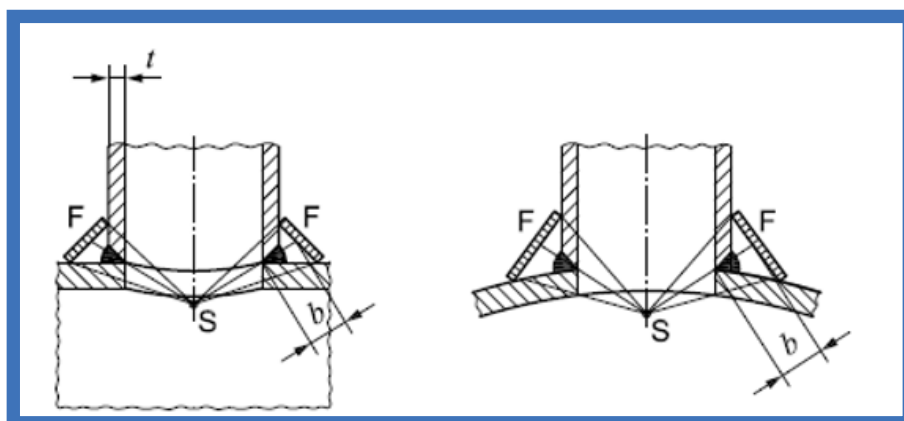
3.8. ábra. Vizsgálati elrendezés a görbült tárgyak egyszeres falon való átvilágítására  
(5. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ben)



3.9. ábra. Vizsgálati elrendezés a görbült tárgyak egyszeres falon való átvilágítására (behegesztés);  
(6. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ben)



3.10. ábra. Vizsgálati elrendezés a görbült tárgyak egyszeres falon való átvilágítására (ráhegesztés);  
(7. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ben)



Ezen vizsgálati módszer esetében az összes radiográfiai paraméter — úgymint, geometriai élettenség, átsugározott vastagság, feketedés, kontraszt és torzulási szög — állandó marad, főként a besugárzási formátum. Következésképpen, a sugárzási geometriát illetően és a pénzügyi szempontokat figyelembe véve, a központi besugárzás a legkedvezőbb elrendezés, mivel csak egy besugárzás szükséges, ez az oka annak, hogy ez a preferált megoldás az összes többi besugárzás-elrendezéssel szemben.

#### 3.1.4.3 Íves geometria besugárzása, egyfalas és excentrikus forrás esetén

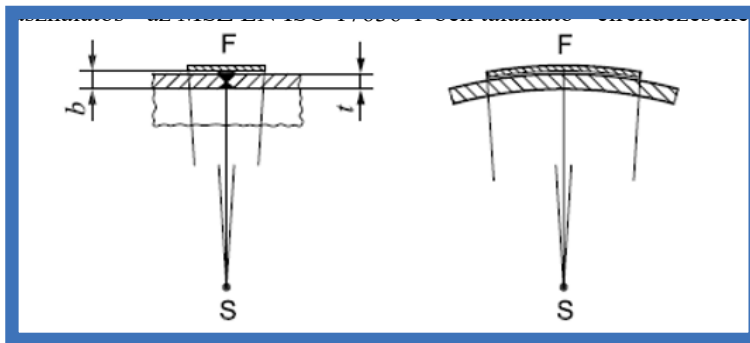
A sugárforrás excentrikusan helyezkedik el a tárgy belsejében, a film pedig kívül van elhelyezve. A forrás nem a cső középpontjában van, hanem közelebb a film középpontjához és így nincs lehetőség arra, hogy a teljes hegesztési varrat képét egyszerre elkészítsük.

Ez azzal jár, hogy a teljes varrat röntgenképének elkészítéséhez legalább három besugárzást kell végrehajtani. Ez a módszer akkor használatos, amikor az alábbi okok egyike miatt nem lehetséges a panoráma besugárzás alkalmazása:

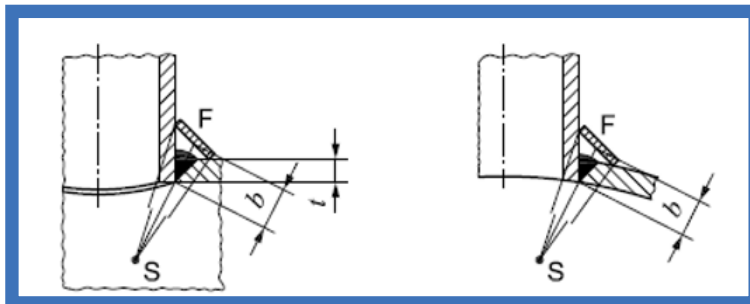
- ◆ A forrást nem lehet a cső közepén elhelyezni.
- ◆ Túl hosszú besugárzási idő egy panoráma besugárzás esetén (ld. 3.11. és 3.12. ábra példája).

Az alábbi ábrák (3.11, 3.12 és 3.13) egy excentrikus forrással történő egyfalas besugárzás készítéséhez használatos – az MSZ EN ISO 17636-1-ben található – elrendezéseket mutatják.

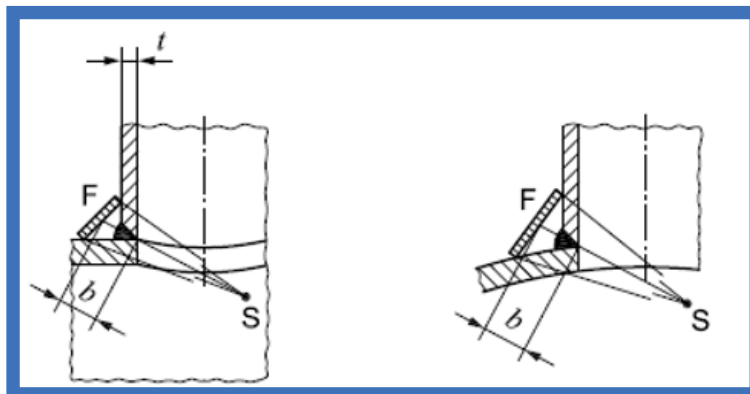
3.11. ábra. Vizsgálati elrendezés a görbült tárgyak egyszeres falon való átvilágítására  
(8. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ben)



3.12. ábra. Vizsgálati elrendezés a görbült tárgyak egyszeres falon való átvilágítására (behegesztés);  
(9. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ben)



3.13. ábra. Vizsgálati elrendezés a görbült tárgyak egyszeres falon való átvilágítására (ráhegesztés);  
(10. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ben)





Amikor ezzel a módszerrel készítünk egy röntgenfelvételt, akkor az egyes képek speciális paramétere (geometriai életlenség, átsugárzott vastagság, feketedés, kontraszt és torzulási szög) az alábbiak szerint változnak a kép középpontjától a kép szélei felé haladva:

- ◆ *Geometriai életlenség:* növekszik, mivel a falvastagság és az SFD növekszik.
- ◆ *Átsugárzott vastagság:* növekszik.
- ◆ *Feketedés:* csökken, mivel a falvastagság növekszik és a fókuszfilm is növekszik.
- ◆ *Kontraszt:* csökken, mivel az átvilágított falvastagság nő.
- ◆ *Torzulási szög  $\beta$ :* növekszik.

Amikor centrikus- vagy panorámabesugárzást nem lehet készíteni, akkor az egyfalas vastagság belülről kifelé történő excentrikus átsugárzása a legjobb megoldás.

#### 3.1.4.4 Ellipszis módszer. Íves geometria besugárzása, kétfalás és kétképes

Az ellipszis besugárzási módszer a kis külső átmérőjű ( $D_e$ ) csöveknél használatos. Ezen módszer alkalmazásánál a maximális külső átmérő a figyelembe vett szabványtól függ. Az MSZ EN ISO 17636-1 az alábbi korlátokat határozza meg ezen módszer alkalmazását illetően:

Az ellipszis módszer (3.14 ábra) nem alkalmazható abban az esetben, ha:

- ◆  $D_e > 100$  mm.
- ◆ A varrat szélesség  $> D_e/4$ .
- ◆ A fal névleges vastagsága  $t > 8$  mm.

A 100%-os vizsgálatához legalább két darab – egymástól  $90^\circ$ -kal eltérő – felvételre van szükség. Ha a falvastagság és a külső átmérő közötti arány ( $t/D_e$ ) nagyobb 0,12-nél, akkor legalább három darab – egymástól  $60^\circ$ -kal eltérő – felvételre van szükség.

Ezen módszer alapja az, hogy a varratot egy hengeres tárgyként veszi figyelembe. Ennek megvalósítása érdekében, a film laposan – a cső görbületéhez való illesztés nélkül – a varrat alatt kerül elhelyezésre. A forrás eltérítést oly módon kell megvalósítani, hogy az eleget tegyen a geometriai életlenségre vonatkozó követelménynek a varrat azon pontjában, amely pontosan szemben van a filmmel való érintkezési ponttal.

A forrás eltérítésnek kellő mértékűnek kell lennie a hegesztési síkban ahhoz, hogy az ellipszis kisebb és nagyobb féltengelye közötti arány  $1/4$  és  $1/3$  között legyen.

A varrat középponthoz viszonyított forráseltérítés közelítő kiszámítására létezik egy egyenlet. Ez az egyenlet nem szerepel az MSZ EN ISO 17636-1-ben, azonban irányadóként felhasználható ezen távolság kiszámításához.

Az egyenlet az alábbi:

$$D_f = \frac{SFD - 2R}{K}$$



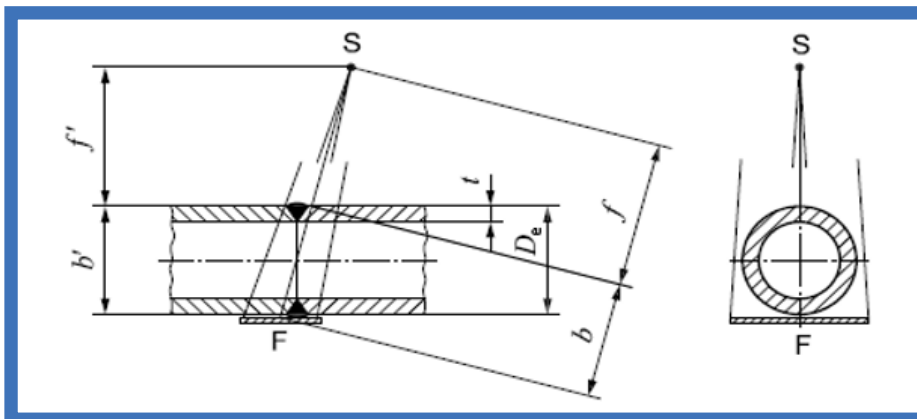
Ahol:

- ◆  $D_f$  = Forráseltérítési távolság.
- ◆ SFD = Forrás–film-távolság.
- ◆  $2R$  = Komponen sátmérő.
- ◆  $K$  az ellipszis kisebb és nagyobb féltengelye közötti arány (1/4 és 1/3 között).

A fenti egyenlet alkalmazásához a csőátmérő legalább 10-szeresének megfelelő forrás–filmtávolságot kell garantálni.

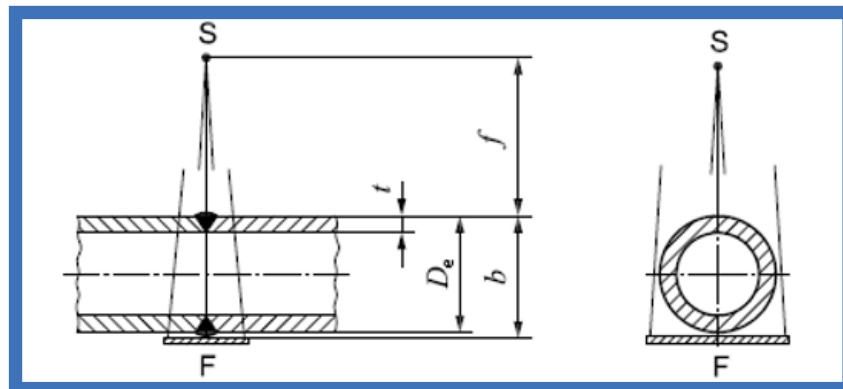
A képminőségjelzőt (IQI) a csőre kell helyezni vagy a filmoldalra. Az utóbbi esetben egy ólom F betűt kell elhelyezni az IQI mellé. A vastagságot a keresztezett fal mindkét keresztszelvényének kiegészítéseként kell kiszámítani, a számítás alapjául a „t” névleges vastagságot kell figyelembe venni. A jeleket olyan helyre kell tenni a filmen, ahol azok nem zavarják az értékelhető területet.

3.14. ábra. Ellipszis-módszer. Vizsgálati elrendezés kettős falon való átvilágításra, a görbült tárgyak mindkét faláról kapott ellipsziskép értékeléséhez (a sugárforrás és a film a vizsgálati tárgy külső oldalán), (11. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ből)



Ha a  $D_e < 100$  mm átmérőjű ellipszis-besugárzás nem megfelelő, akkor a merőleges módszer (8.15 ábra) kerül alkalmazásra. A 100%-os vizsgálathoz három darab –  $120^\circ$ -kal vagy  $60^\circ$ -kal eltolt – besugárzásra van szükség.

3.15. ábra. Merőleges módszer. Vizsgálati elrendezés kettős falon való átvilágításra, a görbült tárgyak mindkét faláról kapott kettős kép értékeléséhez (a sugárforrás és a film a vizsgálati tárgy külső oldalán), (12. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ből)



Végül, speciális jellemzőket kell figyelembe venni.

A minimálístávolság-meghatározást a cső külső átmérőjén ( $D_e$ ) keresztül kell végrehajtani, a többi besugárzás elrendezésben pedig az egyfalas érték a releváns. Az „f” távolság a forrás és a csőfelület közötti merőleges távolság marad. Ahogy azt már láttuk, az IQI-huzal nem a hegesztés síkjára merőlegesen kerül elhelyezésre. Ez azért van, mert ha a huzal merőleges a varratra (axiálisan szimmetrikus a csőtengelyre), akkor a képminőség-meghatározás nem megfelelő, mivel az IQI minden egyes huzalja egy másik falvastagság fölé van helyezve.

#### 3.1.4.5 Kettős falon történő átvilágítás és egyszeres kép készítése

Ebben az esetben a sugárforrás a tárgyon kívül van elhelyezve úgy, hogy a film a másik oldalon van. Egy duplafalas, egyképes, egyszerűen kiértékelhető képet kapunk.

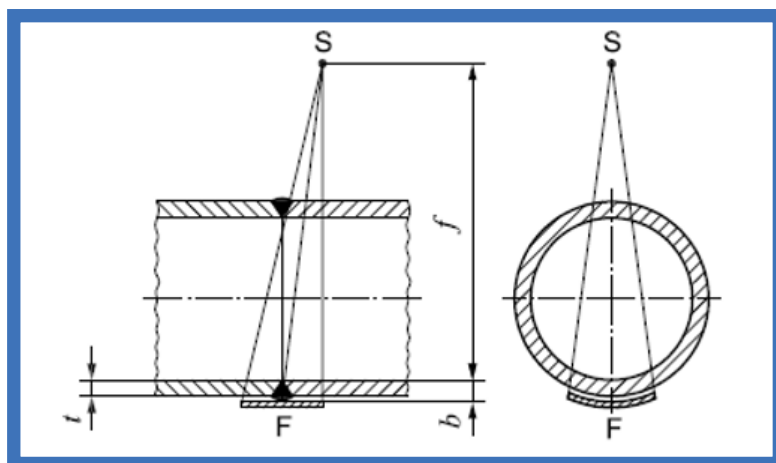
Amikor nem lehetséges panorámabesugárzást végrehajtani, akkor leginkább ez a vizsgálati módszer használatos, bár ennek az a hátránya, hogy duplikálja az átsugárzott anyagvastagságot és ez elkerülhetetlenül képminőség romlást eredményez.

A jelöléseket és a képminőségjelzőket (IQI) általában a filmoldalon kell elhelyezni, a forrásnak pedig – amikor csak lehetséges – közvetlenül érintkeznie kell a csővel az átsugárzott varratszelvényvel szemközi varratszelvény mellett.

Az alábbi ábrák (3.16, 3.17, 3.18 és 3.19) egy kívül levő forrással történő egyfalas besugárzás készítéséhez használatos – az MSZ EN ISO 17636-1-ben található – elrendezéseket mutatják.

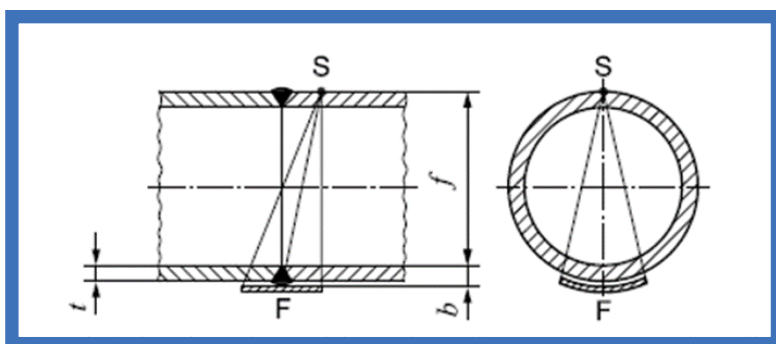
3.16. ábra. Vizsgálati elrendezés kettős falon való átvilágításra, a görbült tárgy film melletti falának egyszeres képének az értékeléséhez, a filmhez közel elhelyezett képminőségjelző esetén

(13. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ből)

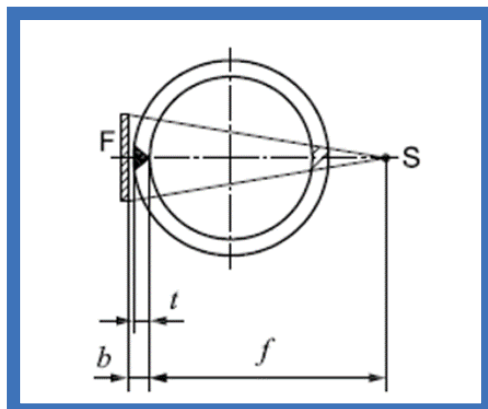


3.17. ábra. Vizsgálati elrendezés kettős falon való átvilágításra egyszeres kép elkészítéséhez

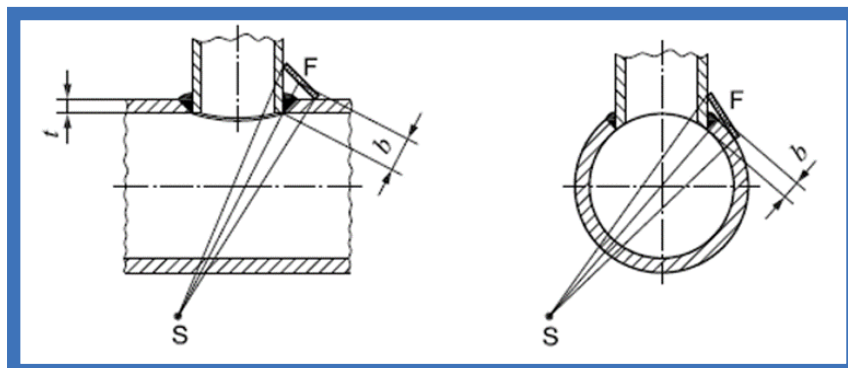
(14. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ből)



3.18. ábra. Vizsgálati elrendezés kettős falon való átvilágításra hosszirányú varratok egyszeres képének az elkészítéséhez (15. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ből)

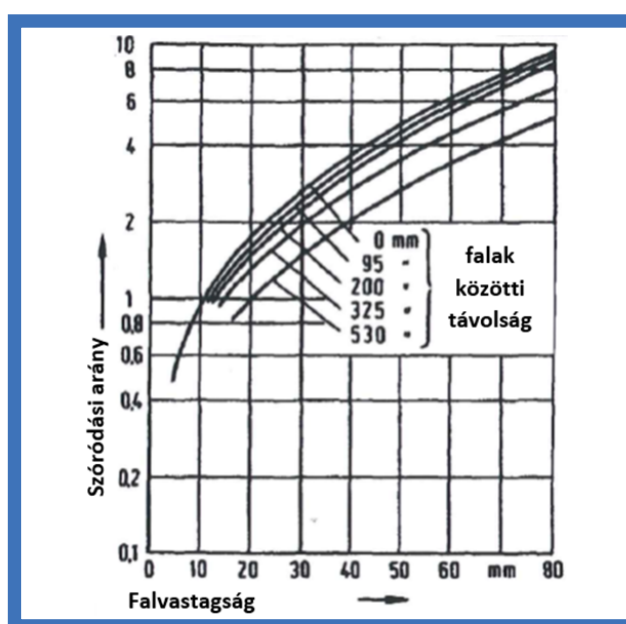


3.19. ábra. Vizsgálati elrendezés kettős falon való átvilágításra a görbült tárgyak egyszeres képének az elkészítéséhez, a film melletti fal értékeléséhez (16. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ből)



A film középpontjától annak széle felé haladva, a falvastagságot, a geometriai életlenséget, a feketedést, a kontrasztot, a torzulási szöget illetően megfigyelhető változások hasonlóak azokhoz, amelyek belülről kifelé történő egyfalas excentrikus átsugárzás során előfordulnak. Ezek a változások egyre relevánsabbak, ahogy az SFD növekszik. A duplafalas vastagságú átsugárzásnak alapvetően kisebb képkontrasztja van, mivel – a dupla vastagsággal járó több szóródási esemény miatt – a szóródási arány növekszik (lásd 3.20 ábra). Állandó vastagságú falak duplafalas átsugárzása során a szóródási arány (és a kontraszt) a két fal közötti távolságtól vagy a cső belső átmérőjétől függ. A szóródási arány a duplafalas átsugárzásnak felel meg abban az esetben, ha a két fal egymás fölé van helyezve anélkül, hogy bármilyen hézag lenne közöttük. A szóródási arány csökken abban az esetben, ha a falak közötti hézag nő, de egyetlen esetben sem éri el az egyfalas értéket.

3.20. ábra. Szóródási arány eltérő belső átmérők esetén



Egy kettős falon történő átsugárzáskor a kontraszt a következő értékek közé esik: azok az értékek, amelyeket akkor kapnánk, ha csak egy falvastagságon sugároznánk keresztül, illetve, azok az értékek, amiket egy duplafalvas vastagságon történő átsugárzáskor kapnánk.

### 3.1.5 MSZ EN ISO 17636-1 Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Hegesztett varratok radiográfiai vizsgálata

Az MSZ EN ISO 17636-1 az alábbi fejezetekből áll:

- ◆ Alkalmazási terület.
- ◆ Rendelkező hivatkozások.
- ◆ Fogalommeghatározások.
- ◆ Radiográfiai módszerek osztályozása.
- ◆ Általános előírások.
- ◆ A radiográfiai felvételek készítéséhez ajánlott módszerek.
- ◆ Vizsgálati jegyzőkönyv.

Ezek mindegyike alfejezetekre van felosztva oly módon, hogy az összes olyan információ rendelkezésre álljon, ami a reprodukálhatóság és kielégítő vizsgálati eredmények előállításához szükséges alapvető radiográfiai módszerek meghatározásához kell.

A kézikönyv ezen szakaszában az MSZ EN ISO 17636-1-re vonatkozó magyarázatok és általános értelmezések kerülnek ismertetésre, így ez a szakasz a szabvány használata nélkül is tanulmányozható. Ugyanakkor – az MSZ EN ISO 17636-1 jobb megértése érdekében – célszerű, ha a szabvánnyal együtt olvassuk ezt a szakaszt.

#### 3.1.5.1 Alkalmazási terület

Az MSZ EN ISO 17636-1 célja azon alapvető radiográfiai módszerek meghatározása, melyek segítségével megismételhető és kielégítő vizsgálati eredmények érhetők el.

A szóban forgó szabvány fémek anyagok ömlesztőhegesztéssel készített kötéseinek radiográfiai vizsgálatára vonatkozik.

Konkrétan, az MSZ EN ISO 17636-1 fémek anyagok – réz (Cu), acél (vas, Fe), titán (Ti), alumínium (Al) és azok ötvözetek – hegesztett kötéseinek radiográfiai vizsgálatára vonatkozik.

A szabvány alkalmazható lemezek, csövek, illetve egyéb hengeres testek (például csővezetékek, nyomástartó berendezések köpenye, stb.) hegesztési varratainak vizsgálatára.

Figyelembe kell venni azt, hogy ez a szabvány nem határozza meg lehetséges hibák elfogadási szintjeit. Az elfogadási és elutasítási kritériumokat az MSZ EN ISO 10675-1 és MSZ EN ISO 10675-2 szabványok tartalmazzák. Az említett szabványok jelen kézikönyv későbbi szakaszában kerülnek tárgyalásra.



Külön jogszabályban meghatározott esetekben (pl. nyomástartó edények és csővezetékek vizsgálata) a szabvány alkalmazása kötelező, függetlenül attól, hogy közvetlenül kerül meghivatkozásra vagy egy vizsgálati utasításon belül kerül említésre.

### 3.1.5.2 Radiográfiai módszerek osztályozása

Az MSZ EN ISO 17636-1 a radiográfiai módszereket két osztályba sorolja:

- ◆ A-osztály: alapvető technikák.
- ◆ B-osztály: továbbfejlesztett technikák.

A B-osztály nagyobb érzékenységű minőségi osztályt képvisel. A radiográfiai módszerválasztást a megfelelő specifikációkban kell meghatározni. A B-osztály jobb minőséggel és érzékenységgel rendelkezik, mint az A-osztály. A módszer (osztály) meghatározása, a vizsgálandó mintadarab tulajdonságai alapján, és/vagy a hegesztés minőségi szintje (B, C vagy D) alapján történik. Más szavakkal, a minőségbeli és érzékenységbeli különbség oka a radiográfiai minőséget befolyásoló különböző paraméterek választása. Ebben az esetben az MSZ EN ISO 17636-1-ben szereplő paraméterek a következők:

- ◆ Az átsugárzott falvastagság-tartomány (2. táblázat az MSZ EN ISO 17636-1-ben és 3.1 táblázat ebben a fejezetben);
- ◆ Alkalmazott filmminőségosztályok és erősítőfóliák (3. táblázat az MSZ EN ISO 17636-1-ben és 3.2 táblázat ebben a fejezetben);
- ◆ Sugárforrás-tárgy távolság;
- ◆ A kapott radiográfiai felvételek feketedése.
- ◆ A maximálisan kiértékelhető terjedelem egy felvételen és – ebből adódóan – egy adott felület teljes körű vizsgálatához szükséges radiográfiai felvételek minimális száma.

A kép minőségét a képminőségjelzők (IQI) legkisebb átmérőjű huzala vagy legvékonyabb lépcsője határozza meg, melyeknek tisztán kell látszani a radiográfiai felvételen ahhoz, hogy értékelésre alkalmasnak lehessen tekinteni őket. Egy huzal képe akkor elfogadható, ha egy legalább 10 mm-es folyamatos hosszúság tisztán látható egy egységes feketedésű területen. **Ha lépcsős-furatos képminőségjelző használatos, akkor két azonos átmérőjű furat esetén mindkettőt meg kell különböztetni a láthatónak tekintendő lépcsőre vonatkozóan.**

A minimális képminőség index – aminek egyértelműen láthatónak kell lennie – változik attól függően, hogy az alkalmazott módszer A-osztályú vagy B-osztályú, és az MSZ EN ISO 17636-1 B.1 - B.12 táblázataiban van meghatározva. Példa: ha az átsugárzendó falvastagság 20 mm, akkor az A-osztályú képminőség esetén a W11 (0,32 mm-es) huzalnak kell láthatónak lennie, a B-osztályú képminőség esetén pedig a W13 (0,20 mm-es) huzalnak.

### Általános előírások

Ebben a szakaszban az MSZ EN ISO 17636-1 a következő kérdésköröket tárgyalja: ionizáló sugárzás elleni védelem, felület előkészítése és a gyártási állapot, a varrat helyzete a radiográfiai felvételen,



a radiográfiai felvételek azonosítása és jelölése, a filmek átfedése, képminőségjelzők (IQI) típusai és elhelyezkedésük, képminőség értékelése, a legkisebb képminőségérték, a vizsgálatot végző személyzet minősítése és néhány egyéb – a kívánt vizsgálati eredmény eléréséhez figyelembe veendő – megelőző intézkedés.

#### 3.1.5.4 A radiográfiai felvételek elkészítéséhez ajánlott módszerek

Miután az anyagra, a vizsgálandó mintadarab méreteire és az alkalmazandó minőségi osztályra vonatkozó információk ismertek, az adott radiográfiai felvétel elkészítéséhez az alábbi paramétereket kell meghatározni:

- ◆ Radiográfiai elrendezés kiválasztása.
- ◆ A csőfeszültség és a sugárforrás megválasztása.
- ◆ Filmek és erősítőfóliák.
- ◆ Szűrők és kollimátorok kiválasztása a szórt sugárzás csökkentése érdekében.
- ◆ Sugárforrás–tárgytávolság.
- ◆ A radiográfiai felvétel feketedése.

##### 3.1.5.4.1. Radiográfiai elrendezés kiválasztása

Egy radiográfiai felvétel elkészítéséhez felhasznált különböző elemek relatív elrendezésére vonatkozó általános szabályként elmondható, hogy az ezen fejezet 3.1.3 és 3.1.4 bekezdéseiben leírt elrendezések használatosak.

A radiográfiai elrendezés kiválasztása a vizsgálati tárgy méretétől és alakjától függ, valamint a feltételezett folytonossági hiány hozzáférhetőségétől és helyétől. Pl. sík lemez varrata esetén a hegesztést a film közepe fölött, arra merőlegesen kell átsugározni. Ha azonban bármilyen ok miatt egy vagy több összeolvadási hibát (4011) kell feltételezni az oldalél felületen, akkor csak az összeolvadási hibával párhuzamos besugárzási geometriát lehet használni, a hegesztésre merőleges geometriát nem. Ennek szerepelnie kell a vizsgálati jelentésben.

*Megjegyzés:* Az oldalfalak számára való tekintettel ez a felvételek és költségek megduplázódását, csövek esetén többszöröződését jelentheti.

##### 3.1.5.4.2. A csőfeszültség és a sugárforrás megválasztása

A kiválasztást az alábbi tényezők figyelembevételével kell végrehajtani:

- ◆ A vizsgálat tárgyát képező anyag.
- ◆ Átsugárzott falvastagság („w”) a központi sugárnyaláb irányában.
- ◆ Vizsgálat típusa.





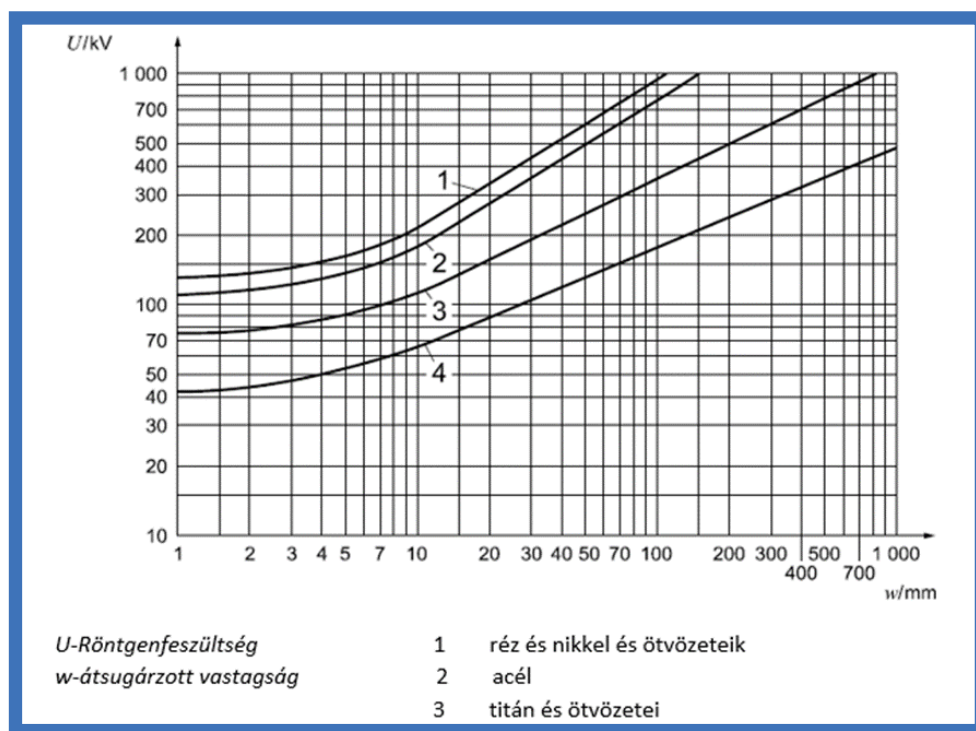
Az MSZ EN ISO 17636-1 az alábbi lehetőségeket veszi figyelembe a sugárzási energia kiválasztását illetően:

- ◆ Röntgensugár energiák 1000 kV-ig;
- ◆  $Tm_{170}$ ;
- ◆  $Yb_{169}$ ;
- ◆  $Se_{75}$ ;
- ◆  $Ir_{192}$ ;
- ◆  $Co_{60}$ ;
- ◆ Röntgensugár-energiák 1 MeV és 4 MeV között;
- ◆ Röntgensugár-energiák 4 MeV és 12 MeV között;
- ◆ Röntgensugár-energiák 12 MeV felett.

Maximum 1000 keV röntgensugár-energiák használata esetére az MSZ EN ISO 17636-1 tartalmaz egy diagramot az alkalmazandó maximális feszültségekre az átsugárzandó falvastagságtól függően, mindezt különböző anyagokra vonatkozóan. Ez a diagram az MSZ EN ISO 17636-1 szabványban a 20. ábrán, illetve ezen fejezet 3.21 ábráján látható.

A 3.21 ábrán látható energiakorlátokat csak a szabványban megadott vizsgálati módszerek esetén szabad túllépni.

3.21. ábra. A röntgenkészülékek legnagyobb csőfeszültsége 1000 kV-ig az átsugárzott vastagság és az anyagfajta függvényében



Bizonyos esetekben az előzőleg említett maximális határenergiából kapott minimális feketedés igen nagy különbségeket eredményez az adott kép feketedéseit illetően (például a túlzott mértékű besugárzás miatt és/vagy a falvastagságok közötti nagy eltérések következtében). Ezért – az alapanyag területen jelentkező igen nagy feketedés következtében – előfordulhat, hogy az értékelést nem lehet elvégezni. Ilyen esetekben a feszültség növelésével elérhető a kontraszt csökkenése. A feszültségnövekedés ne legyen több, mint:

- ◆ 50 kV acél és réz esetén
- ◆ 40 kV titán esetén
- ◆ 30 kV alumínium esetén

### Átsugárzások 1 MeV-nél nagyobb energiájú gamma- és röntgensugárforrásokkal

A 3.1 táblázatban (amely az MSZ EN ISO 17636-1-ben található 2. táblázatnak felel meg) az Yb169-cel, Se75-tel, Ir192-vel és Co60-nal vagy 1 MeV-nél nagyobb röntgensugárforrással átsugárzott vizsgálati tárgy megengedett vastagságtartományai láthatók. A táblázatban szereplő anyagok a következők: acél- és réz-, nikkel-, alumínium- és titánötvözetek. A táblázatban található vastagságtartomány-értékek a vizsgálati osztálytól függenek.

3.1. táblázat. Gamma-sugárforrások és 1 MeV-nél nagyobb energiájú röntgenkészülékek esetén az acél, a réz- és nikkelalapú ötvözetek átsugárzott falvastagság-tartománya

| Sugárforrás                                                                                                                                                                    | Átsugárzott falvastagság, w<br>mm |                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
|                                                                                                                                                                                | A-osztályú vizsgálat              | B-osztályú vizsgálat |
| Tm 170                                                                                                                                                                         | $w \leq 5$                        | $w \leq 5$           |
| Yb 169 <sup>1)</sup>                                                                                                                                                           | $1 \leq w \leq 15$                | $2 \leq w \leq 12$   |
| Se 75 <sup>2)</sup>                                                                                                                                                            | $10 \leq w \leq 40$               | $14 \leq w \leq 40$  |
| Ir 192                                                                                                                                                                         | $20 \leq w \leq 100$              | $20 \leq w \leq 90$  |
| Co 60                                                                                                                                                                          | $40 \leq w \leq 200$              | $60 \leq w \leq 150$ |
| 1 MeV – 4 MeV energiájú röntgenkészülékek                                                                                                                                      | $30 \leq w \leq 200$              | $50 \leq w \leq 180$ |
| 4 MeV – 12 MeV energiájú röntgenkészülékek                                                                                                                                     | $w \geq 50$                       | $w \geq 80$          |
| 12 MeV-nél nagyobb energiájú röntgenkészülékek                                                                                                                                 | $w \geq 80$                       | $w \geq 100$         |
| <sup>1)</sup> Alumínium és titán esetén az átsugárzott falvastagság $10 \text{ mm} < w < 70 \text{ mm}$ az A-osztályban és $25 \text{ mm} < w < 55 \text{ mm}$ a B-osztályban. |                                   |                      |
| <sup>2)</sup> Alumínium és titán esetén az átsugárzott falvastagság $35 \text{ mm} \leq w \leq 120 \text{ mm}$ az A-osztályban.                                                |                                   |                      |

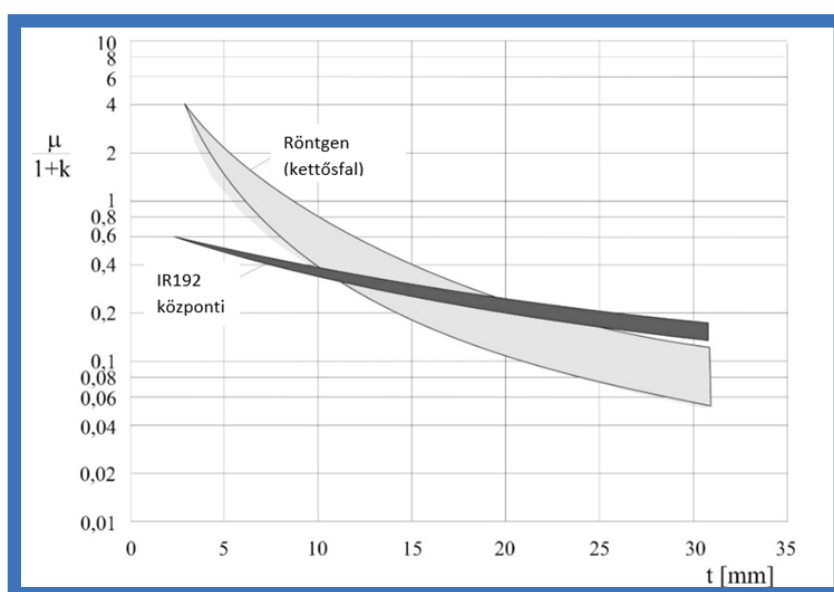
Ha a specifikáció megengedi, akkor a táblázatban szereplő minimális falvastagság 5 mm-re csökkenthető Se75 esetén, illetve 10 mm-re Ir192 esetén. Az MSZ EN ISO 19232-3 (vagy az MSZ EN ISO 17636-1 B függeléke) által előírt képminőséget biztosítani kell.

Ez a rendkívüli szabályozás gyakran vitákra ad okot, mivel az Ir192 használata esetén az összes vizsgálati osztályban jobb hozzáférés lehetséges a vizsgálati tárgyhoz.



A 3.22. ábrán a két opcióval elért fajlagos kontraszt összehasonlítása látható, névleges falvastagság mellett. E szerint, a kettősfalon keresztül történő – megfelelő energiával végzett, 19 mm és 29 mm közötti egyfalas vastagság tartományban történő – átsugárzás során kapott fajlagos kontraszt többé-kevésbé megegyezik az Ir192 központi átsugárzással kapott fajlagos kontraszttal. Nagy falvastagságok Ir192-vel történő központi átsugárzása adja a legnagyobb fajlagos kontrasztokat, míg a 12 mm-nél kisebb vastagságok duplafalas átsugárzása a megfelelő röntgensugár energiával, nagyobb fajlagos kontrasztokat eredményez. Ugyanakkor, ezek az eredmények nem számítanak akkor, amikor egy kedvező sugárirányt keresünk hibadetektáláshoz.

3.22. ábra. Központi átsugárzás Ir192-vel / kettősfalon keresztül, röntgen sugárforrással



#### 3.1.5.4.3 Filmek és erősítőfóliák kiválasztása

Miután a hegesztett darab vizsgálati elrendezését, az energiát és sugárzás típusát kiválasztottuk, az alkalmazandó filmet és erősítőfóliát kell kiválasztani. Az MSZ EN ISO 17636-1 szerint ezt a kiválasztást az alábbiak szerint kell végrehajtani:

- ◆ az alkalmazott csőfeszültség vagy gammasugár-energia,
- ◆ az átsugárzott falvastagság „w”,
- ◆ a vizsgálati osztály.

Az acél-, réz- és nikkel-bázisú ötvözetekhez tartozó filmtípus az MSZ EN ISO 17636-1 szabvány 3. táblázatában található, az alumíniumhoz és titánhoz tartozó pedig az MSZ EN ISO 17636-1 szabvány 4. táblázatában, illetve itt találhatók az első és hátsó erősítőfóliák is.

Figyelembe kell venni azt, hogy a B-osztályú vizsgálat során használt ólomfólia vastagsága – 30 mm feletti falvastagságok esetén, Ir<sub>192</sub> vagy Se<sub>75</sub> alkalmazásakor – nem lehet kisebb 0,1 mm-nél.

Következésképpen, a 0,02 mm-es fóliákkal összecsomagolt filmek kiegészítő intézkedések (például egy 0,1 mm-es kiegészítő ólomfólia közbenső szűrőként történő alkalmazása) nélkül nem használható ilyen feltételek mellett.

Mindazonáltal, egyéb más vastagságok is specifikálhatók, ha igazolva van az, hogy kielégítő képminőséget lehet elérni velük.

3.2. táblázat. Filmminőségosztályok és erősítőfóliák az acél, a réz- és nikkelötvözetek radiográfiai vizsgálatához

| Sugárforrás                                               | Átsugárzott vastagság w | Filmminőség <sup>1)</sup> |           | Az erősítőfólia típusa és vastagsága                                    |                                         |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                                           |                         | A osztály                 | B osztály | A osztály                                                               | B osztály                               |
| A röntgenfeszültség legfeljebb 100 kV                     |                         | C 5                       | C 3       | Fólia nélkül, vagy 0,03 mm-ig első és hátsó ólomfólia                   |                                         |
| A röntgenfeszültség 100 kV-nál nagyobb, legfeljebb 150 kV |                         |                           |           | 0,15 mm-ig első és hátsó ólomfólia                                      |                                         |
| A röntgenfeszültség 150 kV-nál nagyobb, legfeljebb 250 kV |                         |                           | C 4       | 0,02–0,15 mm első és hátsó ólomfólia                                    |                                         |
| Yb 169<br>Tm 170                                          | w < 5 mm                | C 5                       | C 3       | Fólia nélkül, vagy 0,03 mm-ig első és hátsó ólomfólia                   |                                         |
|                                                           | w ≥ 5 mm                |                           | C 4       | 0,02–0,15 mm első és hátsó ólomfólia                                    |                                         |
| A röntgenfeszültség 250 kV-nál nagyobb, legfeljebb 500 kV | w ≤ 50 mm               | C 5                       | C 4       | 0,02–0,2 mm első és hátsó ólomfólia                                     |                                         |
|                                                           | w > 50 mm               |                           | C 5       | 0,1–0,2 mm első ólomfólia <sup>2)</sup><br>0,02–0,2 mm hátsó ólomfólia  |                                         |
| Se 75                                                     |                         | C 5                       | C 4       | 0,1–0,2 mm első és hátsó ólomfólia                                      |                                         |
| Ir 192                                                    |                         | C 5                       | C 4       | 0,02–0,2 mm első ólomfólia <sup>2)</sup>                                | 0,1–0,2 mm első ólomfólia <sup>2)</sup> |
|                                                           |                         |                           |           | 0,02–0,2 mm hátsó ólomfólia                                             |                                         |
| Co 60                                                     | w ≤ 100 mm              | C 5                       | C 4       | 0,25–0,7 mm első és hátsó acél- vagy rézfólia <sup>3)</sup>             |                                         |
|                                                           | w > 100 mm              |                           | C 5       | 0,02–0,2 mm hátsó ólomfólia                                             |                                         |
| 1 MeV – 4 MeV energiájú röntgenkészülék                   | w ≤ 100 mm              | C 5                       | C 3       | 0,25–0,7 mm első és hátsó acél- vagy rézfólia <sup>3)</sup>             |                                         |
|                                                           | w > 100 mm              |                           | C 5       |                                                                         |                                         |
| 4 MeV – 12 MeV energiájú röntgenkészülék                  | w ≤ 100 mm              | C 4                       | C 4       | 1 mm vastagságig réz, acél vagy tantál első fólia <sup>4)</sup>         |                                         |
|                                                           | 100 < w ≤ 300 mm        | C 5                       | C 4       |                                                                         |                                         |
|                                                           | w > 300 mm              |                           | C 5       | 1 mm-ig réz vagy acél, 0,5 mm-ig tantál hátsó fólia <sup>4)</sup>       |                                         |
| 12 MeV-nál nagyobb energiájú röntgenkészülék              | w ≤ 100 mm              | C 4                       | –         | 1 mm-ig tantál első fólia <sup>5)</sup>                                 |                                         |
|                                                           | 100 < w ≤ 300 mm        | C 5                       | C 4       | Hátsó fólia nélkül                                                      |                                         |
|                                                           | w > 300 mm              |                           | C 5       | 1 mm-ig tantál első fólia <sup>5)</sup><br>0,5 mm-ig tantál hátsó fólia |                                         |

<sup>1)</sup> Jobb filmminőségosztályok használata is lehetséges.

<sup>2)</sup> 0,03 mm-es első fóliás előre csomagolt film használata akkor lehetséges, ha egy 0,1 mm-es kiegészítő ólomfólia van a munkadarab és a film közé helyezve.

<sup>3)</sup> Az A-osztályban 0,5–2,0 mm-es ólomfólia alkalmazható.

<sup>4)</sup> Az A-osztályban 0,5–1 mm-es ólomfólia alkalmazható, ha a műszaki előírás szerint meg van engedve.

<sup>5)</sup> Megegyezés szerint wolframfóliák is használhatók.



#### 3.1.5.4.4 Szűrők és kollimátorok kiválasztása a szórt sugárzás csökkentése érdekében

A közvetlen sugárzást a lehető legjobban kollimálni kell a vizsgálandó területen és a peremhatás elkerülése érdekében 0,5 mm–2 mm közötti ólomlemezek használatát kell biztosítani.

Másrésről, ha visszaszórt sugárzás lép fel, akkor annak hatását úgy lehet minimalizálni, hogy a film-fólia-egység hátoldala mögé egy ólomlemez helyezzünk el.

A hatást úgy kell ellenőrizni, hogy egy (legalább 10 mm magas és 1,5 mm vastag) B ólom betűt teszünk minden egyes kazetta mögé. Ha a betű képe a radiográfiai felvételen világosabbnak látszik, akkor az adott radiográfiai filmet vissza kell utasítani, mivel ez bizonyíték arra, hogy az adott területen visszaszóródás van, hiszen a betű maga nyelte el azt a sugárzást és így világosabbnak tűnik.

#### 3.1.5.4.5 A sugárforrás-tárgy távolság

Ezt követően, az alkalmazandó film kiválasztása után, a vizsgálati módszerek geometriai elrendezése – azaz a sugárnyaláb iránya és a minimális sugárforrás-tárgy távolság ( $f_{\min}$ ) – kerül megállapításra.

A sugárnyaláb irányát illetően arra kell ügyelni, hogy azt a középpont felé – és a vizsgált felületre merőlegesen – kell beirányítani. Minden esetben a hibadetektálás szempontjából legjobb irányt kell alkalmazni.

Az  $f_{\min}$  minimális távolság az alábbiaktól függ:

- ◆ a fókuszfolt méret „d”,
- ◆ a tárgy-film távolság „b”,
- ◆ a vizsgálati osztály.

A sugárforrás és a tárgy közötti minimális távolság kiválasztása egyértelműen meghatározza a szabvány által megengedett maximális geometriai sötétség értékét.

Általános szabályként rögzíthető, hogy a sugárforrás és a tárgy közötti minimális távolságot ( $f_{\min}$ ) az alábbi egyenletekkel kell meghatározni:

A-osztály esetén: 
$$\frac{f}{d} \geq 7,5 \left( \frac{b}{\text{mm}} \right)^{2/3}$$

B-osztály esetén: 
$$\frac{f}{d} \geq 15 \left( \frac{b}{\text{mm}} \right)^{2/3}$$

Ezen túlmenően, az  $f_{\min}$  kiszámításához az alábbiakat is figyelembe kell venni:

- ◆ Ha a b távolság < 1,2 t, akkor a fenti egyenletekben és a 3.23 ábrán látható méreteket a névleges vastagsággal, t-vel kell helyettesíteni.
- ◆ A-osztály esetén, ha síkszerű hibát kell kimutatni, úgy a minimális távolság ( $f_{\min}$ ) a B-osztállyal legyen azonos, annak érdekében a geometriai élettenség értéke a felére csökkenjen.

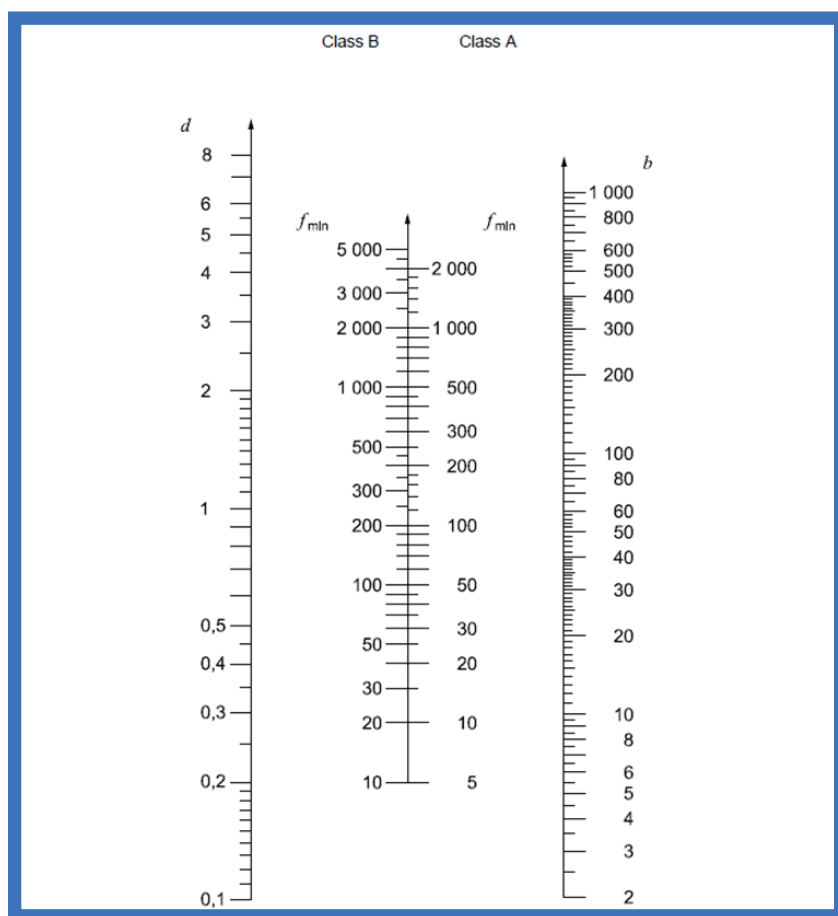


- ◆ A repedésérzékeny anyagok kritikus műszaki felhasználása esetében a B-osztálynál érzékenyebb radiográfiai eljárásokat kell használni.
- ◆ Az ellipszis-módszer alkalmazásakor, a b-t a külső csőátmérővel kell helyettesíteni.
- ◆ Amikor a sugárforrás a tárgyon kívül van, a film pedig a másik oldalon (kettősfalú átsugárzás, egyszeres kép), akkor a sugárforrás–tárgytávolságot csak az egyszeres falvastagság alapján kell kiszámítani.
- ◆ Amikor a sugárforrás a besugárzandó tárgy belsejében van, akkor a szabvány 20%-os  $f_{\min}$ -csökkentést enged meg.
- ◆ az  $f_{\min}$ -távolság maximum 50%-al csökkenthető abban az esetben, ha a sugárforrás a tárgy belsejében központosan, a film pedig kívül helyezkedik el.
- ◆ Ebben az esetben – mint általában – a képminőséghez kapcsolódó összes előfeltételt (IQI és feketedés) figyelembe kell venni és teljesíteni kell.

Ezen túlmenően, az említett egyenletek használata helyett, az  $f_{\min}$  meghatározható a 3.23 ábra szerinti léptékes nomogrammal is (MSZ EN ISO 17636-1 szabvány 21. ábra).

3.23. ábra. Nomogram a legkisebb sugárforrás–tárgy távolság ( $f_{\min}$ ) meghatározására, a tárgy–filmtávolság ( $b$ ) és a sugárforrás méretének ( $d$ ) figyelembevételével.

(21. ábra az MSZ EN ISO 17636-1-ben)



B-osztályú vizsgálat során dupla távolságértékek szükségesek az A-osztályhoz viszonyítva.

#### 3.1.5.4.6 A radiográfiai felvétel feketedése

Az MSZ EN ISO 17636-1 meghatározza a kapott radiográfiai felvételre vonatkozóan a megengedett legkisebb optikai feketedés és maximális fátyolfeketedés értékét. A legkisebb feketedés és a maximális fátyolfeketedés értéke a vizsgálati osztálytól függ és az MSZ EN ISO 17636-1 szabvány 5. táblázatában, valamint ezen fejezet 3.3. táblázatában látható.

#### 3.3. táblázat. Radiográfiai felvételek feketedése (5. táblázat az MSZ EN ISO 17636-1 -ben)

| Osztály | Minimális feketedése) | Maximális megengedett fátyolfeketedés |
|---------|-----------------------|---------------------------------------|
| A       | 2,0b)                 | 0,3                                   |
| B       | 2,3c)                 |                                       |

a- $\pm$  0,1 mérési eltérés megengedett.

b-Az érték a szerződő felek közötti külön megállapodás alapján 1,5-re csökkenthető.

c-Az érték a szerződő felek közötti külön megállapodás alapján 2,0-re csökkenthető.

Az egyes filmeket kiértékelő többfilmes eljárás alkalmazása esetén minden egyes film feketedése a 3.3. táblázatban megadott értékű kell legyen. Ha kétfilmes értékelésre szükséges, akkor egy egyedi film feketedése sem lehet kisebb 1,3-nél.

A szabvány nem határoz meg maximális feketedést, ami azért van, mert azt a használt átvilágítóegység vagy negatoszkóp kalibrálási tartományára vonatkozó megfigyelési feltételek fogják meghatározni. Azonban az általánosan elterjedt ipari átvilágítóegységek rendszerint max. 3,5-4,0-es feketedésű filmek értékelését engedik meg.

A fátyolfeketedés egy kidolgozott, exponálatlan film teljes feketedését (emulzió és alap) jelenti, melynek értékét a feketedés mérése révén kapjuk meg. A fátyolfeketedés értéke legfeljebb 0,3 legyen.

#### 3.1.5.5 A vizsgálatához szükséges átsugárzások száma

Az egyenes és a görbült felületek varratainak teljes vizsgálatához szükséges radiográfiai felvételek számát, ha a sugárforrás a központon kívül helyezkedik el, a műszaki követelményekkel összhangban kell meghatározni.





Az MSZ EN ISO 17636-1 az alábbiakat rögzíti:

- ◆ Egyenletes falvastagság esetén a sugárnyaláb középpontjában és a vizsgált terület külső szélén átsugárzott anyagvastagság aránya nem haladhatja meg az 1,1-et B-osztály esetén, illetve az 1,2-t A-osztály esetén. Azaz, ha a központi nyaláb és a szegély között falvastagság-növekedés történik, akkor a kép megfelelő geometriai torzulását ezen határok között kell tartani:

$$\text{A-osztály: } \frac{t'}{t} = 1,2 \quad \text{vagy} \quad \frac{\Delta t}{t} = 20\%$$

$$\text{B-osztály: } \frac{t'}{t} = 1,1 \quad \text{vagy} \quad \frac{\Delta t}{t} = 10\%$$

$\Delta t/t$  a vizsgált varrat falvastagságának eltérése.

- ◆ A szabvány által a feketedésre vonatkozóan meghatározott követelményt be kell tartani.
- ◆ Figyelembe kell venni azt, hogy egy hegesztési varrat ellenőrzésének a terjedelme magába foglalja a varratot és a hőhatásövezetet is. Általában az alapanyag kb. 10 mm-ét meg kell vizsgálni a hegesztési varrat mindkét oldalán.

Sík vizsgálati darabok esetén, figyelembe kell venni azt a korlátozást, hogy a sugárnyaláb nem lépheti túl a központi nyaláb 10%-át vagy 20%-át, a kiértékelendő maximális hosszúságot a szegélynél megengedett maximális eltérés ( $\beta$ ) határozza meg, ami  $24,6^\circ$  lesz egy 10%-os falvastagság növekedés esetén (B-osztály), illetve  $33,5^\circ$  egy 20%-os falvastagság növekedés esetén (A-osztály).

A gyakorlatban konzervatívabb arányok használatosak az SFD és a kiértékelhető hosszúság (L) között, az alábbiak szerint:

$SFD/L = 1.12$  ( $\beta = 27^\circ$ ) A-osztály esetén;

$SFD/L = 1.09$  ( $\beta = 23^\circ$ ) B-osztály esetén.

Szabványos röntgensöveket használva – amelyeknél a teljes nyílásszög rendszerint kisebb  $40^\circ$ -nál – a teljes besugárzott filmterület kiértékelhető, amennyiben a feketedés nem csökken túlságosan a film szegélye felé haladva.

Íves geometria esetében, a 100%-os vizsgálathoz szükséges felvételek száma az MSZ EN ISO 17636-1 szabvány A mellékletében található különböző radiográfiai elrendezésekre vonatkozóan (A1 - A4 diagramok az A mellékletben). B-osztály esetén a megengedett falvastagság növekedés értéke maximum 10% (az MSZ EN ISO 17636-1 szabvány A mellékletének A1 diagramja „egyszeres fal kívülről” és A2 diagramja „kettősfal, belső, excentrikus felvételek”, illetve 3.24 ábra). Az A-osztály esetén (az A melléklet A3 és A4 diagramjai), a maximális falvastagság növekedés értéke 20%.

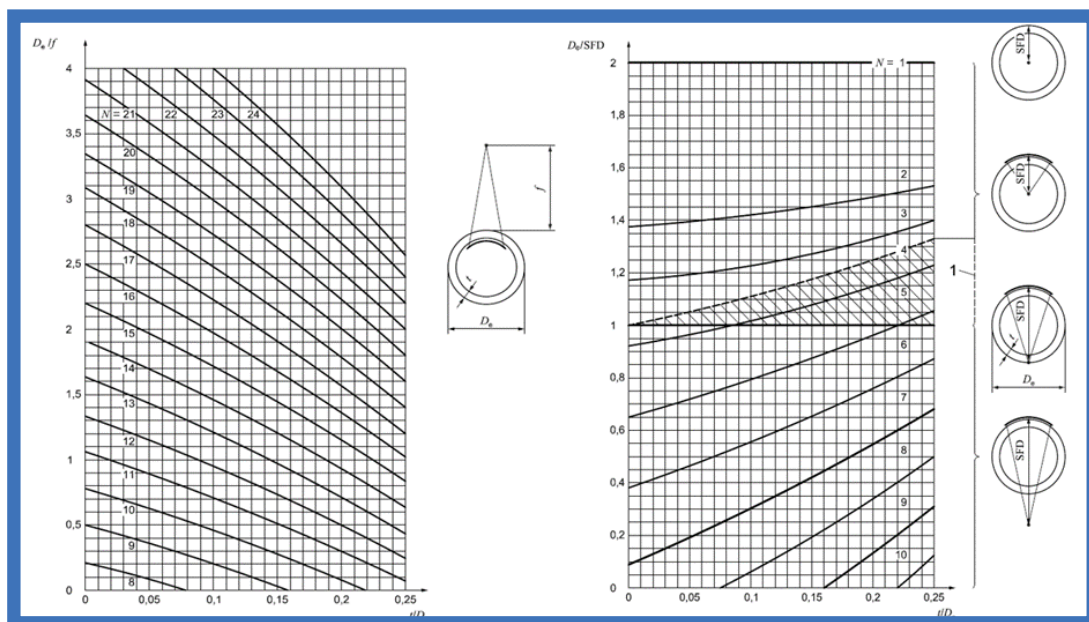
*Példa:*

„t” = 10 mm-es falvastagság és  $D_e = 220$  mm külső csőátmérők esetén, egy duplafalas felvételt kell készíteni a B-osztály szerint. Az SFD értéke 400 mm, mivel a sugárforrás nem helyezhető el közvetlenül. A példában szereplő probléma megoldásához az MSZ EN ISO 17636-1 szabvány A mellékletében található – az alábbi 3.24 ábrán látható – A2-diagramot kell felhasználni:





3.24. ábra. Az expozíciók legkisebb  $N$  száma, a  $t/D_e$  és  $D_e/f$  vagy  $D_e/FFD$  arányok függvényében, egyfalas besugárzás esetén külső forrással és duplafalas excentrikus besugárzás esetén belső forrással; az átsugárzott vastagság növekedésének,  $\Delta t/t$ -nek a megengedett legnagyobb értéke 10%. (A1 és A2 ábrák az MSZ EN ISO 17636-1-ben)



Ahol  $f$  a sugárforrás–tárgy-távolság;  $t$  a névleges vastagság;  $D_e$  a cső külső átmérő értéke, az SFD pedig a sugárforrás–film-távolság.

Ezután a következő az alábbi lépéseket kell végrehajtani:

- ◆ Számítsuk ki a  $t/D_e$  értéket ( $10 \text{ mm}/220 \text{ mm} = 0.05$ ) és helyezzük azt az A2-diagram abszcisszájára (vízszintes tengely)
- ◆ Számítsuk ki a  $D_e/SFD$  értéket ( $220 \text{ mm} / 400 \text{ mm} = 0.5$ ); és helyezzük azt az ordinátára (függőleges tengely)
- ◆ A metszéspont helyének megfelelő sáv határozza meg a besugárzások számát ( $N = 6$ ).
- ◆ Következésképpen, a terület mentén egységesen elosztott hat darab részleges besugárzást kell végrehajtani.  $\text{Kerület} = \pi \cdot D_e$

A cső kerületének és a szükséges felvételek minimális számának hányadosa a felvételenkénti filmhosszúsággal egyenlő.

$$\frac{D_e \cdot \pi}{N} = \frac{220 \text{ mm} \cdot 3,14}{6} = 115 \text{ mm besugárzásonként}$$

Ahogy az már igazolást nyert, hat filmre (100 mm x 240 mm, vagy 100 mm x 160 mm) van szükség, beleértve a filmek szükséges átfedését.



1. Film 0–115
2. Film 115–230
3. Film 230–345
4. Film 345–460
5. Film 460–575
6. Film 575–0

#### 3.1.5.6 Kidolgozás, filmértékelési feltételek és vizsgálati jegyzőkönyv

Végül a szabvány az alábbi területekre vonatkozó adatokat rögzíti, kivéve az ezen fejezetben már korábban közölt információkat:

- ◆ Filmkidolgozás.
- ◆ Filmértékelési feltételek.
- ◆ Vizsgálati jegyzőkönyv.

Ezekre az aspektusokra – vagy a jelen szakaszban tárgyalt más egyéb szempontokra – vonatkozó további részletek az MSZ EN ISO 17636-1 szabványban találhatók.

### 3.2 RADIOGRÁFIAI MÓDSZEREK ÖNTVÉNYEK VIZSGÁLATÁHOZ (MSZ EN 12681-1:2018)

Az MSZ EN 12681-1:2018 „Öntészet. Radiográfiai vizsgálatok. 1. rész: Filmre alapozott módszerek” című szabvány az alábbi fejezetekből áll:

1. Alkalmazási terület.
2. Rendelkező hivatkozások.
3. Fogalmak és meghatározások.
4. Általános rész.
5. Vizsgálati elrendezések.
6. Radiográfiai sugárforrás kiválasztása.
7. Specifikus filmrendszer osztályok.
8. Vastagságtartományok növelési módszerei.
9. Radiográfiai felvételek.
10. A képminőség.
11. A felvételek feketedésére vonatkozó követelmények.
12. A kristályszerkezet hatása.

Ezen fejezetek mindegyike további alfejezetekre van felosztva olyan formában, hogy minden olyan információ rendelkezésre álljon, ami a folytonossági hiányok röntgen- vagy gammasugarak segítségével történő detektálására szolgáló ipari radiográfia speciális eljárásainak meghatározásához szükséges, hagyományos radiográfiai módszereket alkalmazva acélöntvények, öntvény-formadarabok, magnézium, cink, réz, nikkel, alumínium, titán és azok ötvözetek vizsgálata érdekében.



Az MSZ EN 12681-1 szabvány meghatározza a vizsgálat során figyelembe veendő különböző szempontokhoz kapcsolódó követelményeket. Ezek – többek között – a vizsgálati személyzettel, a sugárvédelemmel, a vizsgálat előtt megkötendő megállapodásokkal, a vizsgálati elrendezés kiválasztásával, a sugárforrás kiválasztásával, az alkalmazott filmrendszerekkel, a speciális vizsgálati módszerekkel, a radiográfiai felvétel azonosítással, a jelöléssel, a film átfedéssel, a képminőséggel (IQI és feketedés) és az átsugárzott anyag kristályszerkezetének vizsgálatra gyakorolt hatásával kapcsolatos szempontok. Ebben a fejezetben a leglényegesebb aspektusok kerülnek tárgyalásra.

A könyv ezen szakaszában az MSZ EN 12681-1 szabványra vonatkozó általános magyarázatok és értelmezések kerülnek ismertetésre következőképpen az alaposabb megértés érdekében ajánlatos, hogy ezt a szakaszt a szabvánnyal együtt olvassuk.

### 3.2.1 A radiográfiai módszerek kategorizálása

Az MSZ EN 12681-1 az MSZ EN ISO 17636-1-hez hasonlóan A-osztályba (alapeljárások) és B-osztályba (különleges eljárások) sorolja a radiográfiai módszereket.

### 3.2.2 A vizsgálati módszer kiválasztása

A különböző elrendezések a varratvizsgálathoz szükséges elrendezésekhez hasonlóak, például központi vagy sík besugárzás. Ugyanakkor, az elrendezések legtöbbje alkalmazkodik az öntvénykomponensek geometriai feltételeihez, például komplett besugárzás vagy speciális formák. Ebből adódóan, meglehetősen nehéz lehet egy megfelelő elrendezés kiválasztása, mivel a tényleges falvastagság feltételek nem követik a különböző vizsgálati elrendezés formációkat.

A szabvány három csoportba kategorizálja a lehetséges elrendezéseket: sík tárgyak egyszeres falon keresztül történő átvilágítása, görbült tárgyak egyszeres falon keresztül történő átvilágítása, valamint sík és görbült tárgyak kettősfalon keresztül történő átvilágítása. Végül, a szabvány bármiféle egyéb olyan vizsgálati elrendezés kiválasztását megengedi, amely hasznos a meghatározott cél eléréséhez.

Ezen túlmenően, a szabvány különböző ábrákon mutatja be a különböző elrendezéseket, ezek az ábrák az alábbiakban láthatók és a következő szimbólumokat használják (lásd 3.25 ábra):

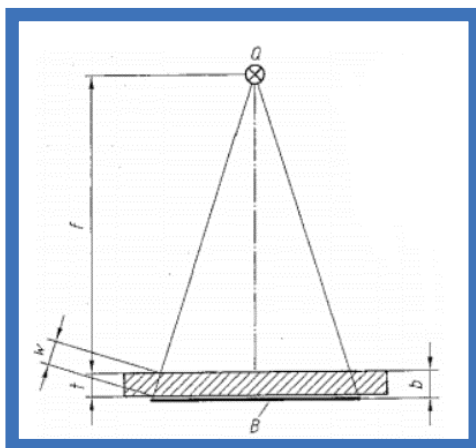
- Q a sugárforrás;
- t az anyag névleges falvastagsága a vizsgálati területen;
- b a vizsgálandó tárgy sugárforrás felőli oldala és a filmfelület közötti távolság, a sugárnyaláb központi tengelyének mentén mérve;
- B a radiográfiai film;
- f a sugárforrás és a vizsgálandó tárgy sugárforrás felőli oldala közötti távolság sugárnyaláb központi tengelyének mentén mérve;
- w az anyag vastagsága a sugárnyaláb irányában mérve, a névleges vastagság alapján számítva. Ha az anyag tényleges vastagsága több mint 10%-kal eltér a névleges vastagságtól, akkor a tényleges falvastagságot kell alkalmazni (lásd t és w).



### 3.2.2.1 Sík tárgyak egyszeres falon keresztül történő átvilágítása

A 3.25 ábrán a sík tárgyak egyszeres falon keresztül történő átvilágításának elrendezése látható.

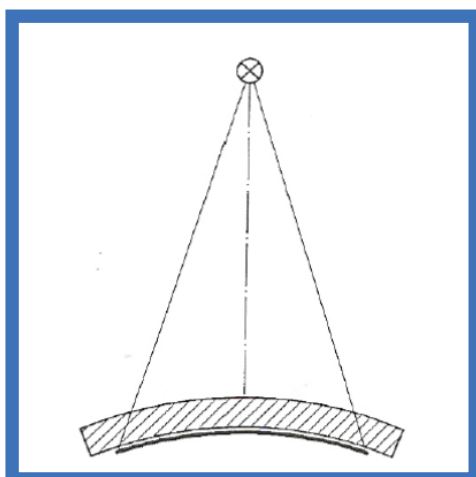
3.25. ábra. Vizsgálati elrendezés sík tárgyak egyszeres falon keresztül történő átvilágításához;  
(1. ábra az MSZ EN 12681-1-ben)



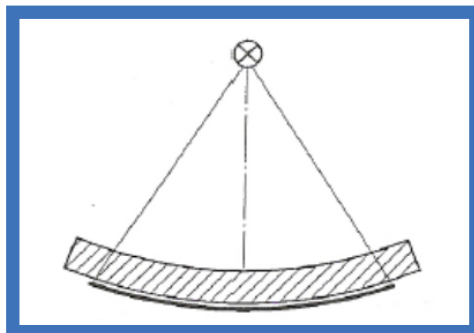
### 3.2.2.2 Görbült tárgyak egyszeres falon keresztül történő átvilágítása

A 3.26.–3.28. ábrákon görbült tárgyak egyszeres falon keresztül történő átvilágításának elrendezései láthatók.

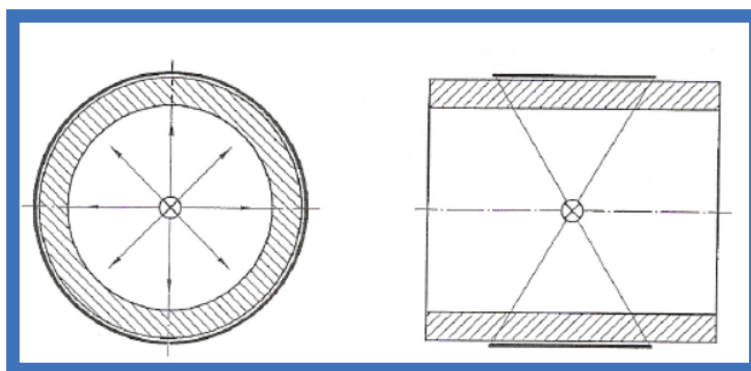
3.26. ábra. Vizsgálati elrendezés görbült tárgyak egyszeres falon keresztül történő átvilágítása esetén.  
A forrás a vizsgálendő felület konvex oldalán található, a film pedig a konkáv oldalán;  
(2. ábra az MSZ EN 12681-1-ben)



3.27. ábra. Vizsgálati elrendezés görbült tárgyak egyszeres falon keresztül történő átvilágítása esetén. A forrás egy excentrikus helyen a konkáv oldalon, a film pedig a konvex oldalon;  
(3. ábra az MSZ EN 12681-1-ben)



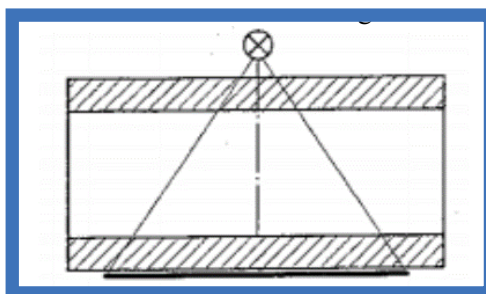
3.28. ábra. Vizsgálati elrendezés görbült tárgyak egyszeres falon keresztül történő átvilágítása esetén. A forrás a vizsgálandó felület konkáv oldalán központosítva, a film pedig a konvex oldalon;  
(4. ábra az MSZ EN 12681-1-ben)



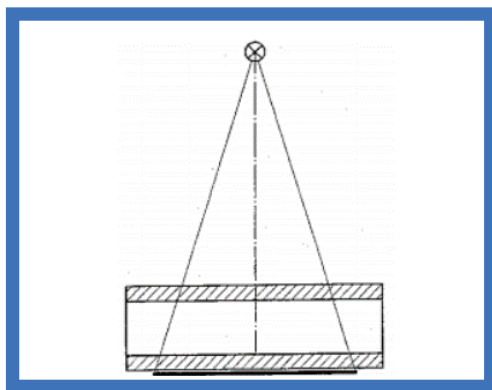
### 3.2.2.3 Sík és görbült tárgyak kettősfalon keresztül történő átvilágítása

A 3.29.–3.31. ábrák a kettősfalon keresztül történő átvilágítások elrendezéseit mutatják.

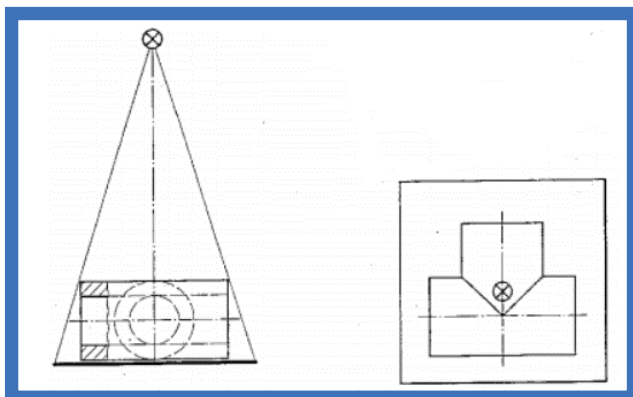
3.29. ábra. Vizsgálati elrendezések sík és görbült tárgyak kettősfalon keresztül történő átvilágítása esetén. A forrás és a film a vizsgálandó felületen kívül; csak a filmmel szomszédos fal kiértékelésére kerül sor; (5. ábra az MSZ EN 12681-1-ben)



3.30. ábra. Vizsgálati elrendezések sík és görbült tárgyak kettősfalon keresztül történő átvilágítása esetén. Változó besugárzások. A forrás és a film a vizsgálandó felületen kívül; mindkét fal kiértékelésére sor kerül; (6. ábra az MSZ EN 12681-1-ben)



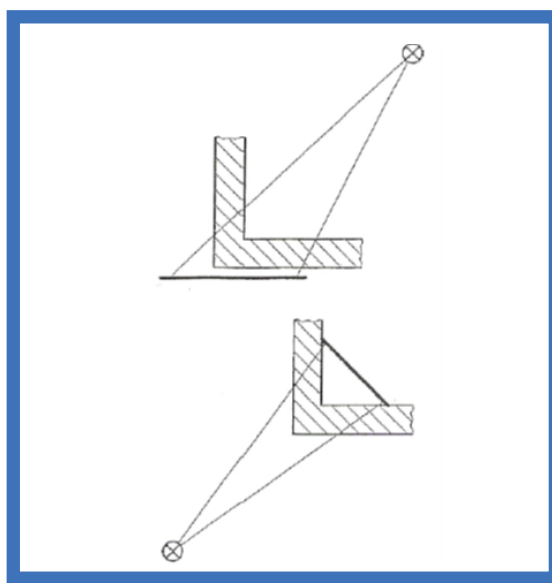
3.31. ábra. Vizsgálati elrendezések sík és görbült tárgyak kettősfalon keresztül történő átvilágítása esetén. Általános besugárzás. A forrás és a film a vizsgálandó felületen kívül; mindkét fal kiértékelésére sor kerül; (7. ábra az MSZ EN 12681-1-ben)



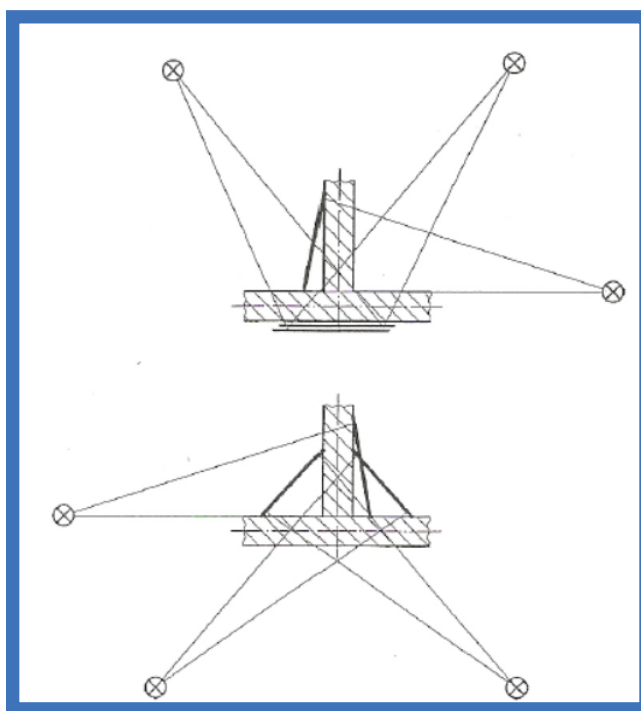
### 3.2.2.4 Komplex geometriák

A 3.32.–3.36. ábrák a komplex geometriák besugárzásai esetén használatos elrendezéseket mutatják.

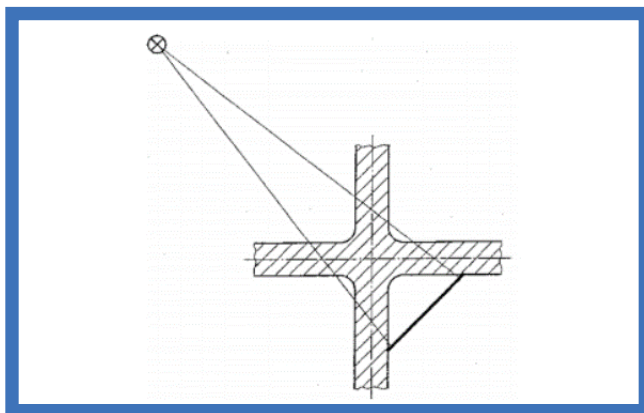
3.32. ábra. Vizsgálati elrendezés szegélyek és sarkok radiográfiai vizsgálata esetén; (8. ábra az MSZ EN 12681-1-ben)



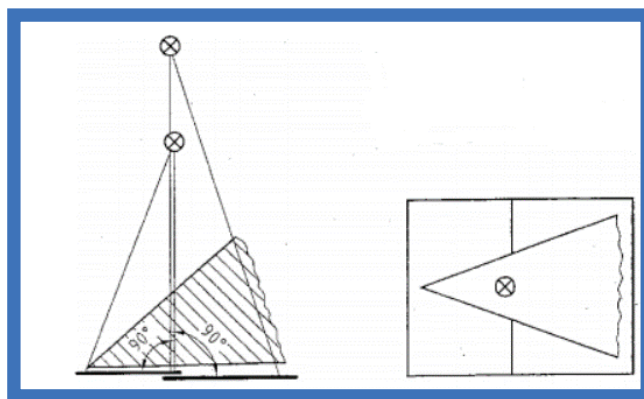
3.33. ábra. Vizsgálati elrendezés bordázások radiográfiai vizsgálata esetén (9. ábra az MSZ EN 12681-1-ben)



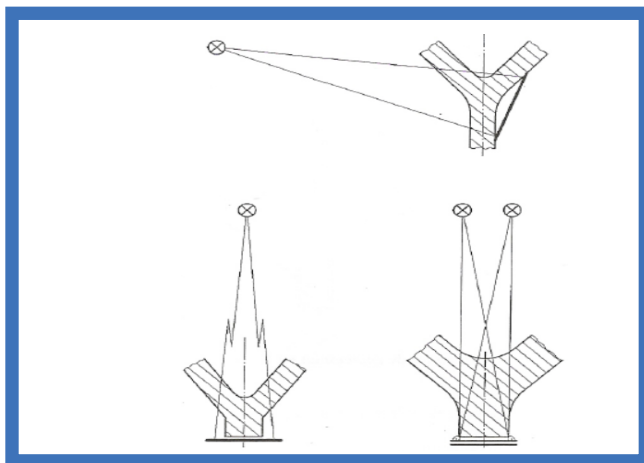
3.34. ábra. Vizsgálati elrendezés kereszt alakú geometriák radiográfiai vizsgálata esetén  
(10. ábra az MSZ EN 12681-1-ben)



3.35. ábra. Vizsgálati elrendezés ékalakú geometriák radiográfiai vizsgálata esetén  
(11. ábra az MSZ EN 12681-1-ben)



3.36. ábra. Vizsgálati elrendezés bordázások és tartók radiográfiai vizsgálata esetén  
(12. ábra az MSZ EN 12681-1-ben)





### 3.2.3 Minimális sugárforrás–tárgytávolság, $f_{min}$

A sugárforrás és a tárgy közötti minimális távolság kiszámításához az alábbi kiegészítő szempontokat kell figyelembe venni:

- ◆ A 3.27. és 3.28. ábrákon látható elrendezések esetén, 40%-kal csökkenthető az  $f_{min}$  abban az esetben, ha a filminőséggel kapcsolatos feltételek kielégítőek.
- ◆ Továbbá, a 3.28. ábrán látható elrendezések esetén, 50%-kal csökkenthető az  $f_{min}$  abban az esetben, ha a filminőséggel kapcsolatos feltételek kielégítőek.

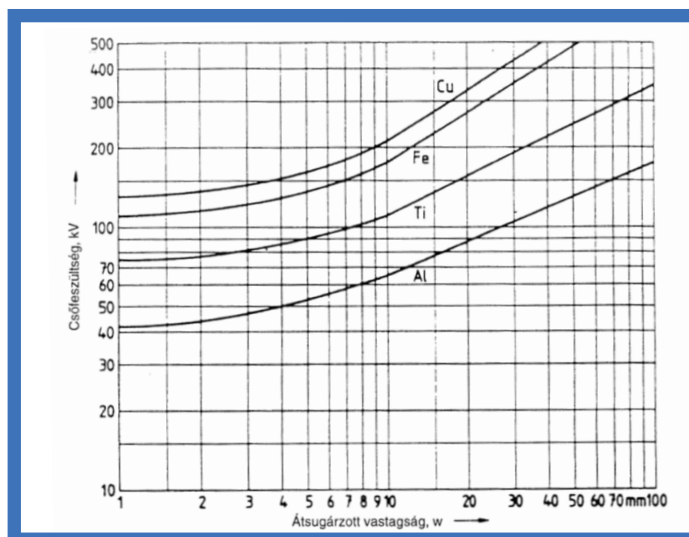
### 3.2.4 A csőfeszültség és a sugárforrás kiválasztása

A sugárforrás kiválasztását az alábbi kritériumok szerint kell végrehajtani.

#### 3.2.4.1 Csőfeszültség kiválasztása, max. 500 kV-os csövek esetén

Az átsugárzandó falvastagság és az alkalmazandó maximális feszültség közötti viszony - a különböző anyagokra vonatkozóan - az alábbi 3.37. ábrán található.

3.37. ábra. Röntgencsövek maximális csőfeszültsége 500 kV-ig, az átsugárzott vastagság és az anyagfajta függvényében



### 3.2.4.2 Gamma sugárforrás és röntgenső kiválasztása, 500 kV feletti csövek esetén

A gamma sugárforrás és röntgenső kiválasztása, az alábbiakat kell figyelembe venni:

- ◆ A nem merőleges besugárzásnál a  $w$  a központi sugárnyaláb irányában mért átsugárzott vastagság lesz.
- ◆ Kettősfalon keresztül történő átsugárzás a  $w$  a vizsgálandó tárgy átvilágított vastagságainak összege.
- ◆ Ha különböző vastagságok kerülnek leképezésre egy expozícióval, akkor azok átlagértékét kell használni, vagy figyelembe kell venni a többfilmes módszer alkalmazásának lehetőségét.

A sugárforrás kiválasztása a vizsgálandó falvastagságtól függ:

3.4. táblázat. Gamma sugárforrások és az 1 MeV feletti röntgen sugárforrások esetén az átsugárzott vastagság tartományok

| Sugárforrás                                             | Átsugárzott vastagság $w_{Fe,Cu}$ [mm]                                                      |                                     |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                         | A-osztályú vizsgálat                                                                        | B-osztályú vizsgálat                |
| $Tm_{170}$                                              | $w \leq 5$                                                                                  | $w \leq 5$                          |
| $Yb_{169}$                                              | $5 \leq 15$<br>Al, Ti: $10 \leq 70$                                                         | $2 \leq 12$<br>Al, Ti: $25 \leq 55$ |
| $Se_{75}$                                               | $10 \leq w \leq 40$ ( $5 \leq w \leq 40$<br>előzetes megállapodás)<br>Al, Ti: $35 \leq 120$ | $14 \leq w \leq 40$                 |
| $Ir_{192}$                                              | $20 \leq w \leq 100$                                                                        | $20 \leq w \leq 90$                 |
| $Co_{60}$                                               | $40 \leq w \leq 170$                                                                        | $60 \leq w \leq 150$                |
| Röntgenkészülék<br>1 MeV – 4 MeV közötti<br>energiával  | $30 \leq w \leq 200$                                                                        | $50 \leq w \leq 180$                |
| Röntgenkészülék<br>4 MeV – 12 MeV közötti<br>energiával | $\geq 50$                                                                                   | $\geq 80$                           |
| Röntgenkészülék<br>12 MeV feletti energiával            | $\geq 80$                                                                                   | $\geq 100$                          |

### 3.2.5 A filmek és erősítőfóliák kombinációjának kiválasztása

A filmek és fóliák kiválasztását az MSZ EN 12681-1-ben található 2. és 3. táblázat szerint kell végrehajtani, figyelembe véve a következő paramétereket: sugárforrás, vizsgálati kategória és vizsgált vastagságtartomány.



Az MSZ EN 12681-1 az alábbi kiegészítő követelményeket rögzíti:

- ◆ Ha szelén sugárforrás kerül alkalmazásra acél, réz és rézötvözetek, nikkel és nikkelötvözetek átvilágítására A-osztály szerint, legalább C5, B-osztály szerint C4-osztályú filmeket kell használni. 0,1-0,2 mm vastag elülső és hátsó ólomfóliákat kell alkalmazni.
- ◆ Ha szelén sugárforrás kerül alkalmazásra alumínium, titán és ezek ötvözeinek átvilágítására A-osztály szerint, legalább C5-osztályú filmeket kell használni. 0,1–0,2 mm vastag hátsó ólomfóliákat, és 0,2 mm vastag elülső ólomfóliákat kell alkalmazni.

3.5. táblázat. Filmrendszer- és erősítő fólia kategóriák, acél-, valamint réz és nikkelalapú ötvözetek radiográfiai vizsgálatához (2. táblázat az MSZ EN 12681-1-ben)

| Sugárforrás                                 | Átsugárzott vastagság w | Filmrendszer kategória |           | Erősítőfólia típus és vastagság                             |           |
|---------------------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------|-----------|
|                                             |                         | A-osztály              | B-osztály | A-osztály                                                   | B-osztály |
| röntgenső feszültség $\leq 100$ kV          |                         | C5                     | C3        | Fóliák nélkül vagy max. 0,03 mm-es hátsó és első ólomfóliák |           |
| röntgenső feszültség $> 100$ kV - 150 kV    |                         |                        |           | Max. 0,15 mm-es hátsó és első ólomfóliák                    |           |
| röntgensugár feszültség $> 150$ kV - 250 kV |                         |                        | C4        | 0,02 mm és 0,15 mm közötti hátsó és első ólomfóliák         |           |
| Yb 169<br>Tm 170                            | w < 5 mm                | C5                     | C3        | Fóliák nélkül vagy max. 0,03 mm-es hátsó és első ólomfóliák |           |
|                                             | w $\geq 5$ mm           |                        | C4        | 0,02 mm és 0,15 mm közötti hátsó és első ólomfóliák         |           |
| röntgenső feszültség $> 250$ kV - 500 kV    | w $\leq 50$ mm          | C5                     | C4        | 0,02 mm és 0,2 mm közötti hátsó és első ólomfóliák          |           |
|                                             | w > 50 mm               |                        | C5        | 0,1 mm és 0,2 mm közötti hátsó ólomfóliák <sup>2)</sup>     |           |

| Sugárforrás                                       | Átsugárzott vastagság w | Filmrendszer kategória |           | Erősítőfólia típus és vastagság                                                           |                                                    |
|---------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                                                   |                         | A-osztály              | B-osztály | A-osztály                                                                                 | B-osztály                                          |
| Ir 192                                            |                         | C5                     | C4        | Hátsó ólomfóliák 0,02 mm-től 0,2 mm-ig <sup>2)</sup>                                      | Első ólomfóliák 0,1 mm-től 0,2 mm-ig <sup>2)</sup> |
|                                                   |                         |                        |           | 0,02 mm és 0,2 mm közötti hátsó ólomfóliák <sup>2)</sup>                                  |                                                    |
| Co 60                                             | w $\leq 100$ mm         | C5                     | C4        | Hátsó ólom vagy réz fóliák 0,25 mm-től 0,7 mm-ig <sup>3)</sup>                            |                                                    |
|                                                   | w > 100 mm              |                        | C5        |                                                                                           |                                                    |
| Röntgenkészülék 1 MeV és 4 MeV közötti energiával | w $\geq 100$ mm         | C5                     | C3        | Hátsó ólom vagy réz fóliák 0,25 mm-től 0,7 mm-ig <sup>3)</sup>                            |                                                    |
|                                                   | w > 100 m               |                        | C5        |                                                                                           |                                                    |
| Röntgenkészülék 4 MeV - 12 MeV közötti energiával |                         | C4                     | C4        | Hátsó ólom, réz vagy tantál fóliák 1 mm-ig (maximum <sup>4)</sup> )                       |                                                    |
|                                                   |                         | C5                     | C5        | Hátsó ólom vagy réz fóliák maximum 1 mm-ig, és tantál fóliák max. 0,5 mm-ig <sup>4)</sup> |                                                    |
| Röntgenkészülék 12 MeV-nél nagyobb energiával     |                         | C4                     |           | Hátsó tantál fólia max. 1 mm-ig <sup>5)</sup>                                             |                                                    |
|                                                   |                         | C5                     | C4        | Nincs hátsó fólia                                                                         |                                                    |
|                                                   |                         |                        | C5        | Hátsó tantál fólia max. 1 mm-ig <sup>5)</sup>                                             |                                                    |
|                                                   |                         |                        |           | Hátsó tantál fólia max. 5 mm-ig                                                           |                                                    |

1) Nagyobb filmrendszer kategória is használható

2) Ha a tárgy és a film közé egy kiegészítő 0,1 mm-es ólomfólia van behelyezve, akkor használatra kész – max. 0,03 mm-es hátsó fóliával rendelkező – filmek használhatók

3) Az A-osztályban 0,1 mm és 0,5 mm közötti ólomfóliák is használhatók.

4) Az A-osztályban, 0,5 mm és 1,0 mm közötti ólomfóliák is használhatók, a felek közötti előzetes megállapodás esetén.

5) Erre vonatkozó megállapodás esetén, volfrám fóliák is használhatók.



3.6. táblázat. Filmrendszer kategóriák és fémfóliák alumínium és titán esetén  
(3. táblázat az MSZ EN 12681-1-ben)

| Sugárforrás                            | Filmrendszer kategóriák <sup>1)</sup> |           | Erősítőfóliák típusa és vastagsága                                      |
|----------------------------------------|---------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                        | A-osztály                             | B-osztály |                                                                         |
| röntgenső feszültség $\leq$ 150 kV     | C5                                    | C3        | Fóliák nélkül, vagy ólomfóliák, első max. 0,03 mm és hátsó max. 0,15 mm |
| röntgenső feszültség < 150 kV - 250 kV |                                       |           | Fóliák nélkül, vagy hátsó és első ólomfóliák, 0,02 mm és 0,15 mm között |
| röntgenső feszültség > 250 kV - 500 kV |                                       |           | Hátsó és első ólomfóliák, 0,1 mm és 0,2 mm között                       |
| Yb 169                                 |                                       |           | Fóliák nélkül, vagy hátsó és első ólomfóliák, 0,02 mm és 0,15 mm között |

<sup>1)</sup> Magasabb filmrendszer kategória is használható

### 3.2.6 A vastagságtartomány növelésére szolgáló módszerek

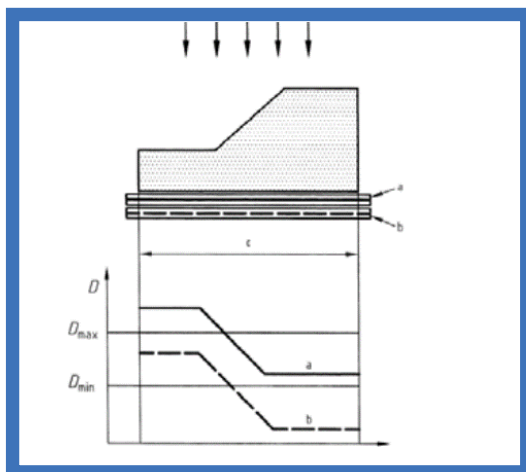
Az öntvénykomponensek vizsgálata során sok esetben előfordul az, hogy egy felvétellel nem érhető el az adott feketedésre vonatkozó követelmények.

Az MSZ EN 12681-1 három olyan módszert határoz meg, melyek segítségével – nagyobb vastagságtartományban – elkészíthető egy tárgy radiográfiai felvétele olyan minőségben, ami elegendő a feketedésre vonatkozó követelményeknek. Ezek a módszerek a következők: a többfilmes módszer; a kontraszt csökkentése magas sugárzási energiával vagy a sugár keményítésével; és a vastagság kiegyenlítése.

#### 3.2.6.1 Többfilmes módszer

Két vagy több film egyidőben kerül exponálásra, melyek aztán együtt vagy külön kerülnek értékelésre. A 3.38. ábrán (14. ábra az EN 12681 szabványban) a filmelrendezés módja látható:

3.38. ábra. Filmelrendezés többfilmes módszer esetén (14. ábra az MSZ EN 12681-1-ben)

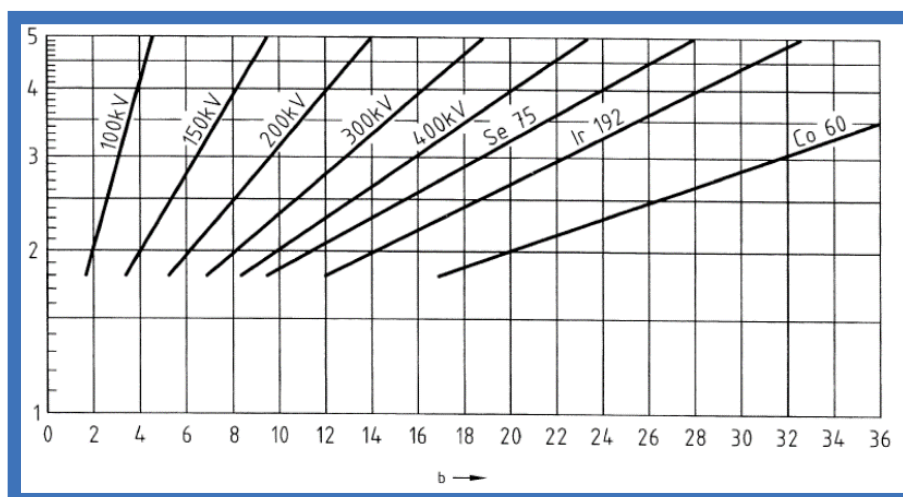


D: feketedés;  
 a: nagyobb érzékenységű filmrendszer;  
 b: kisebb érzékenységű filmrendszer;  
 c: oldalméret.

### 3.2.6.2 A sugárzási energia növelése vagy sugárnyaláb keményítés

Az MSZ EN 12681-1 csak A-osztályú vizsgálat esetében engedélyezi ezeket a módszereket. Azt is figyelembe kell venni, hogy a lehetséges vastagságtartomány egy feketedés tartományt fed le, különböző röntgencső feszültségek és különböző gamma sugárforrások esetén. Ez a vastagságtartomány látható – acélra vonatkozóan – az MSZ EN 12681-1 szabvány 13. ábráján és az alábbi 3.39 ábrán.

3.39. ábra. A lehetséges vastagságtartomány becslése acél esetén, különböző sugárzási energiaszintekre vonatkozóan



a – optimális feketedési együttható,  $D_{\max}/D_{\min}$   
 b – vastagság mm-ben.

### 3.2.6.3 Vastagságok kiegyenlítése

Az A-osztályú vizsgálat esetében egy másik opció a vékony falterületek vastagságának kompenzálása. Ebben az esetben, a kiegészítő anyagnak hibamentesnek kell lennie.

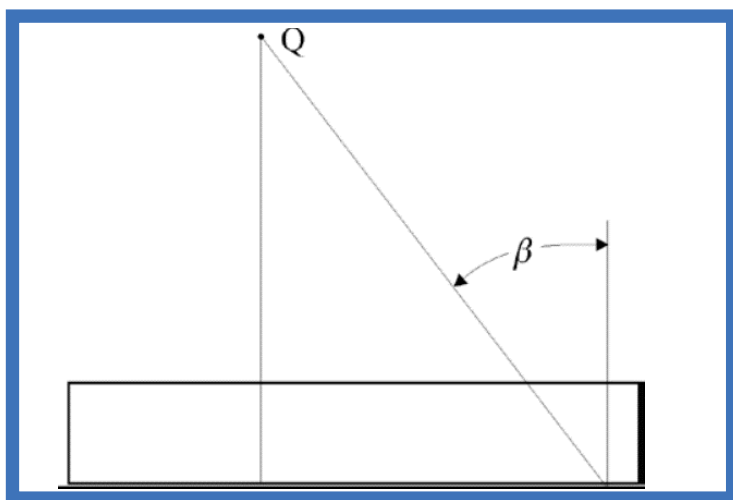
Maximum 500 kV-os röntgenkészülék esetén, megengedett a maximális csőfeszültség max. 30%-kal történő túllépése úgy, hogy az előírt képminőséget biztosítani kell.

Az értékelhető vizsgálati terület (L).

Ez a terület lekorlátozható egy vagy több filmre. A lényeges paraméterek az alábbiak:

- ◆ Egy egységes vastagságú tárgy értékelt területe külső szegélyeinek átsugárzott vastagsága és a sugárnyaláb középpontjában figyelembe veendő vastagság aránya nem haladhatja meg az 1,1-t B-kategória esetén, ill. az 1,2-t az A-kategória esetén.
- ◆ A maximálisan megengedett torzulási szög  $\beta = 30^\circ$
- ◆ Az előírt feketedési tartomány

3.39. ábra. Szegély torzulási szöge,  $\beta$



### 3.2.8 Képmínőség

A képmínőséget az MSZ EN ISO 19232 szabványban ismertetett mutatók révén kell ellenőrizni. Ha az IQI (képmínőségjelző) nem helyezhető rá a vizsgálati darabra, akkor a képmínőséget egy reprezentatív darabban kell ellenőrizni, egy képmínőségjelzővel azon és ugyanolyan filmen.

Különböző vastagságokról készítendő radiográfiai felvételek esetén, az IQI-t a legnagyobb vastagságú területen kell elhelyezni, azaz, a legkedvezőtlenebb esetet kell megvizsgálni.

200 mm-es és nagyobb hengeres tárgyak panoráma felvételei esetén, legalább 3 db IQI-t kell elhelyezni, egymástól  $120^\circ$ -ra.

A falvastagságot a képmínőségjelző elhelyezési területén, valamint a képmínőségjelző típusát jegyzőkönyvezni kell, a képmínőség igazolása céljából.

### 3.2.9 Előírt feketedés (D)

A minimális feketedés értéke 2,0 az A-osztály esetében, illetve 2,3 a B-osztályra vonatkozóan. A többfilmes módszer alkalmazásakor az értékek 1,5-re (A-osztály), illetve 2,0-ra (B-osztály) csökkenthetők le. Amennyiben a felek erről megállapodnak, úgy a radiológiai felvétel feketedése 1,5-re csökkenthető az A-osztály esetében, illetve 2,0-ra a B-osztály esetében.



A radiográfiai feketedésmérésre vonatkozó tűrés ( $\pm$ ) 0.1.

A feketedés felső határértékét illetően az alkalmazott átvilágító egység fog korlátozást jelenteni.

### 3.2.10 A kristályszerkezet hatása

Néhány könnyűfém-ötvözetnél, rézötvözetnél, nikkel–kobalt-ötvözetnél és ausztenites acélnál meglehetősen általános problémát jelentenek a foltos radiográfiai felvételek, a kristályszerkezetben végbemenő röntgendiffrakció következményeként (diffrakciós foltosság).

Ezen jelenség detektálása és megerősítése érdekében például növelhető a sugárzási energia, melynek eredményeként rövidebb hullámhossz érhető el és így kizárható a diffrakció.

## 3.3 A RADIOGRÁFIAI FELVÉTELEK JELÖLÉSEI

### 3.3.1 Általános koncepciók

A radiográfiai felvételek jelölésének célja az, hogy minden egyes kép egyértelműen azonosítva legyen és ezáltal az adott radiográfiai felvétel – a paramétereivel és a készítése során fennálló körülményekkel együtt – nyomon követhető legyen. A jelölés történhet jelek, betűk és/vagy számok segítségével, amelyek a radiográfiai felvétel részeként megjelenhetnek a radiográfia során, vagy a kidolgozást követően megjelölhetők kitörölhetetlen jelzéssel a lemezen. A jelek egyik esetben sem zavarhatják az érintett terület kiértékelését.

A jelöléseket elhelyezik a vizsgálati mintadarabon is és a röntgenképen is azzal a céllal, hogy referenciaként szolgáljanak az esetlegesen detektált hibák behatárolásakor. A jelöléseket olyan eszközök használatával kell elkészíteni, amelyek sem az integritását, sem a jövőbeli felhasználását nem veszélyeztetik az adott vizsgálati mintadarabnak; és a jelöléseknek legalább az adott komponens végleges elfogadásáig meg kell maradniuk a vizsgálati mintadarabon.

### 3.3.2 Szektor elrendezés

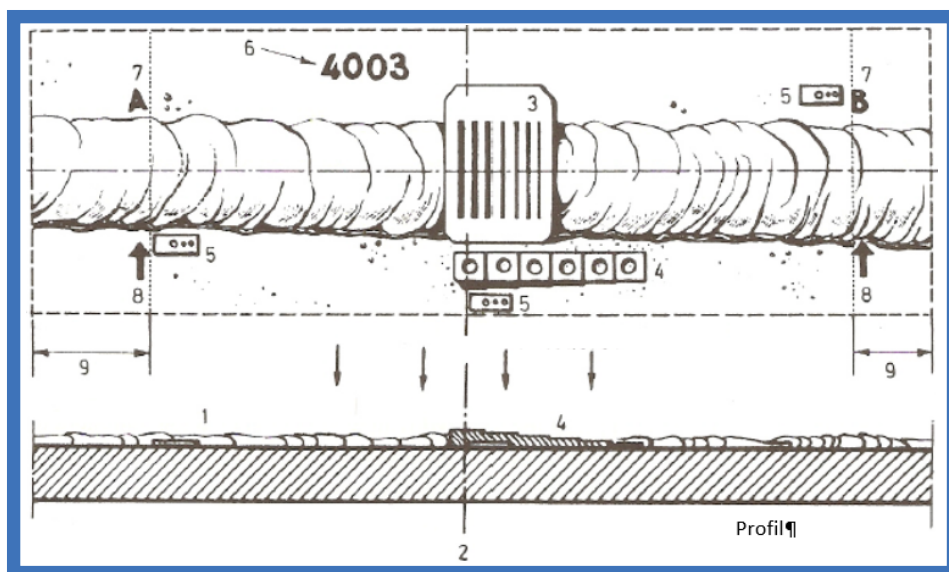
Egy hegesztés radiográfiai vizsgálatakor az egymás utáni radiográfiai felvételeknek oly módon kell átfedésben lenniük egymással, hogy az ellenőrzés a kívánt ellenőrzési terjedelem 100%-ában garantálva legyen. Ezen túlmenően, a különböző területeket – amelyekre a teljes hegesztési felületet felosztottuk – olyan jelölésekkel kell megjelölni, amelyek jól elhatárolják őket.

Ezek a szektorterületek egy radiográfiai képként jelennek meg, ami annak a következménye, hogy ólom indikátorokat helyeztünk el a vizsgálandó mintadarabon. Ezen túlmenően, a vizsgálandó mintadarabot ugyanazokkal a szektorjelölésekkel kell megjelölni. Egy másik lehetőség az, hogy egy vázlatot készítünk, oly módon, hogy a képen látható érintett terület és a vizsgált mintadarab területe közötti pontos korreláció látható legyen.





3.41. ábra. IQI és azonosító jelek tipikus elrendezése egy tompahegesztés radiográfiai vizsgálata esetén (2.70 ábra az INTA kézikönyvben)



Jelmagyarázat:

1. Hegesztési varrat.
2. Kép keresztirányú tengely.
3. Huzaltípusú IQI.
4. Lépcsőtípusú IQI.
5. Furattípusú IQI (ASME, ASTM).
6. Radiográfiaifelvétel-azonosítás.
7. A kép szegélyek azonosítása.
8. A hasznos kép végét jelző ólom nyílak.
9. Az egymás utáni röntgenképek átfedésben levő területei.

A radiográfiai felvétel és a besugarazott tárgy megfelelő területe között meglévő korrelációt mindig, egyértelműen le kell tudni ellenőrizni, illetve magának a tárgynak azonosíthatónak kell lennie.

Az említett korreláció jeleinek vagy jelzéseinek magán a radiográfiai felvételen kell megjelenniük.

Az általános szabály az, hogy az adott kép megfelelő azonosítását lehetővé tevő kevesebb számú jelölést kell alkalmazni.

Az azonosítás minden esetben lehetővé teszi a következőket:

- ◆ A besugarzott terület és határainak kijelölése.
- ◆ Azon tárgy meghatározása, amelyhez a terület tartozik.
- ◆ Azon elrendezés meghatározása, amelyhez a tárgy tartozik.
- ◆ Azon rendszer meghatározása, amelyhez az elrendezés tartozik.
- ◆ Valamilyen megjegyzés dokumentálása, de csak amikor feltétlenül szükséges.



### 3.4 A BESUGÁRZÁSI IDŐ KISZÁMÍTÁSA

#### 3.4.1 Besugárzás (expozíció)

A „besugárzás” kifejezés különböző jelentésekkel használatos a radiográfiai vizsgálatok során. Az MSZ EN 1330-3 szabvány egy olyan folyamatként definiálja az expozíciót, melynek során egy képalkotó rendszer regisztrál egy sugárzást. Azaz, a besugárzás magának a képnek befolyásoló összes paraméter figyelembevétele megtörtént és megszületett a rájuk vonatkozó döntés, végre kell hajtani a radiográfiai vizsgálatot, a kép (látens/rejtett kép) elkészültének pillanatát alapul véve. Ennél a pontnál csak annak eldöntése – vagy kiszámítása – van hátra, hogy mennyi ideig tartson a vizsgálat, azaz, a besugárzási idő meghatározása.

A besugárzási idő kiszámításának kiindulási pontjaként, a végleges képeredményre (képminőségre) hatással levő összes paramétert figyelembe kell venni. Ezek a paraméterek módosíthatók a besugárzást megelőzően.

Rendszerint a sugárzaskibocsátó berendezés, a sugárzási energia vagy minőség (gammaradiográfia esetén), valamint a besugárzott tárgy anyaga és vastagsága azok a paraméterek, amelyek definiálásra kerülnek, amikor egy konkrét szabvány vagy specifikáció szerint kerül végrehajtásra egy vizsgálat. Ebből adódóan, az alábbiakról kell dönteni:

- ◆ Sugárzási minőség vagy energia (röntgensugárforrás esetén)
- ◆ Az alkalmazott filmrendszer (film és erősítőfóliák) típusa és sugárzásszűrő rendszerek.
- ◆ Fókusz–filmtávolság.
- ◆ Kívánt feketedés.

Ezen paraméterek mindegyikét azzal a céllal kell kiválasztani, hogy a kívánt minőségű radiográfiai felvételeket lehessen elkészíteni.

Ahogy az korábban már rögzítésre került, annak eldöntéséhez, hogy a radiográfiai felvétel minősége értékelhető-e vagy sem, meg kell határozni azt, hogy eleget tett-e a célfeketedési értékre vonatkozó követelménynek, illetve, hogy a kép kidolgozását követően az IQI-ban levő huzal vagy furat látható volt-e vagy sem.

Így logikusnak tűnik, ha úgy gondoljuk, hogy a paraméterek kiválasztásakor a kiindulási pont az, hogy egy adott feketedésű végleges kép elkészítésére kell koncentrálni.

A feketedés függ a film által kapott sugárzás mennyiségétől és – ennek következtében – a besugárzási időtől. Azaz, a besugárzási időt – ami lehetővé teszi az adott sugárzásmennyiségnek, hogy a tárgy átsugárzását követően elérje a filmet és azon létrehozza a képet – úgy kell kiválasztani, hogy a kép sötételési szintje a kidolgozást követően összhangban legyen a célfeketedéssel.

A célfeketedési értéket a referenciaszabvány, szabályzat vagy eljárásrend alapján kell beállítani, bár általános szabályként megállapítható az, hogy a feketedés értéke ne legyen kisebb 1,5-nél, illetve ajánlatos 2,0 és 3,0 közötti átlagfeketedéseket alkalmazni.



### 3.4.2 A besugárzási idő kiszámítása

A besugárzási időt úgy kell meghatározni, hogy az adott filmet érő sugárzásmennyiség elegendő legyen egy megfelelő feketedés eléréséhez.

Ennél a pontnál figyelembe kell venni azt, hogy a sötétedési (feketedési) szint – amit egy radiográfiai film „elér” egy adott besugárzás során – a film feketedési jelleggörbájátől függ.

Ezen túlmenően, egy adott pontra jellemző sugárzási mennyiség vagy sugárzásintenzitás három tényezőtől függ:

- ◆ Fókusz–film vagy sugárforrás–filmtávolság.
- ◆ A röntgencsőben folyó áramerősség (mA) és csőfeszültség (kV) vagy a radioaktív forrás típusa és aktivitása (Bq/Ci).
- ◆ Az időtartam, amely alatt a sugárforrás sugárzást bocsát ki, azaz, a besugárzási idő.

A többi paraméter (forrás–film-távolság, film-, berendezés- vagy sugárforrás-típus, áramerősség vagy kibocsátóforrás-típus, stb.) meghatározását követően a cél az, hogy eldöntsük vagy kiszámoljuk a besugárzási időt. Ezen túlmenően, ismertetésre kerül az, hogy a besugárzási idő hogyan változik, ha a kiszámítását befolyásoló paraméterek bármelyike változik.

Követendő gyakorlatként figyelembe kell venni azt, hogy a besugárzási idő se túl rövid, se túl hosszú ne legyen. A sugárvédelmi alapelvek is azt mondják és a józan ész is azt diktálja, hogy a besugárzási idő ne legyen hosszú. A besugárzási időnek a lehető legrövidebbnek kell lennie, de olyan mértékben, hogy az adott vizsgálatra előírt eredmények garantálva legyenek.

Ugyanakkor, a túlságosan rövid idő hibákhoz vezethet (pl. mozgási élettenség), ezért a besugárzási időnek kellően hosszúnak kell lennie ahhoz, hogy ezen hatás meghatározott határokon belül maradjon és ezáltal ne befolyásolja a radiográfiai felvétel minőségét. Az adott röntgenfilm érzékenységhatára fogja meghatározni azt, hogy a számítás eredményeként kapott besugárzásiidő-változás miatti feketedés hibának nagyobb vagy kisebb lesz-e a hatása. Ez azért van, mert a radiográfiában nem csak egy feketedés-értéket követelnek meg, igen sok olyan paraméter van, amely hatással van a feketedés-változásra.

### 3.4.3 A besugárzási idő kiszámítása

#### Besugárzási diagramok

A besugárzási idő – azaz a vizsgálati tárgy alaptulajdonságai (vastagság, anyag) és egy meghatározott feketedés eléréséhez szükséges besugárzási paraméterek közötti kapcsolat – kiszámítása meg lehetőségen bonyolult feladat. Ez praktikus módon, besugárzási diagramokkal, van ábrázolva a különböző filmtípusokra vonatkozóan. Ezek a diagramok röntgencsövek és gammasugárforrások alkalmazását veszik alapul.

A besugárzási diagramok ugyanazon anyag különböző vastagságaihoz szükséges besugárzási időre vonatkozóan biztosítanak információkat, adott munkafeltételek mellett. A diagramok kísérleti alapon kerülnek összeállításra, konkrét munkafeltételek mellett.

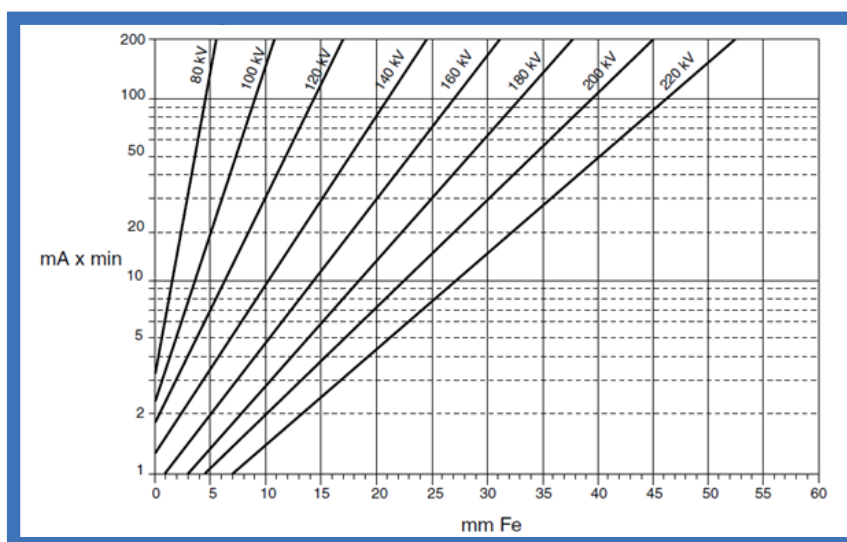


Egy adott besugárzási diagram összeállításához a kiindulási paraméterek az alábbiak:

- ◆ Célfeketedés.
- ◆ A használt film.
- ◆ Az erősítőfóliák típusa és vastagsága.
- ◆ Az átsugárzandó anyag.
- ◆ Az alkalmazott röntgenkészülék vagy radioaktív forrás.
- ◆ Szűrők.
- ◆ Fókusz–filmtávolság.
- ◆ Kidolgozási feltételek.

Az alábbi 3.42. ábra egy röntgenkészülék gyártója által biztosított besugárzási diagramot mutat, egy adott munkafeltétel-csoport esetén.

3.42. ábra. Acélra vonatkozó besugárzási diagram, adott röntgenkészülék esetén. 700 mm-es fókusz–filmtávolság, 2-es célfeketedés, meghatározott röntgenfilm-rendszer, ill. összeállítási és előhívási feltételek mellett.



A besugárzási diagramok (nomogramok) alapvetően egy konkrét feketedés (D) eléréséhez szükséges sugárterheléssel vannak összefüggésben és az adott anyag vastagságának függvényében kerülnek ábrázolásra. A sugárterhelés azokra a feltételekre érvényes, amelyek figyelembevételével a diagram definiálása történt.

A röntgensugaras besugárzási diagramok esetében, a beállítható csőfeszültséget egy változó reprezentálja (az üzemi feszültségeknek (kV) megfelelő ferde vonalak láthatók a diagramon), míg a gamma-sugaras besugárzási diagramok esetében a besugárzási energia állandó.

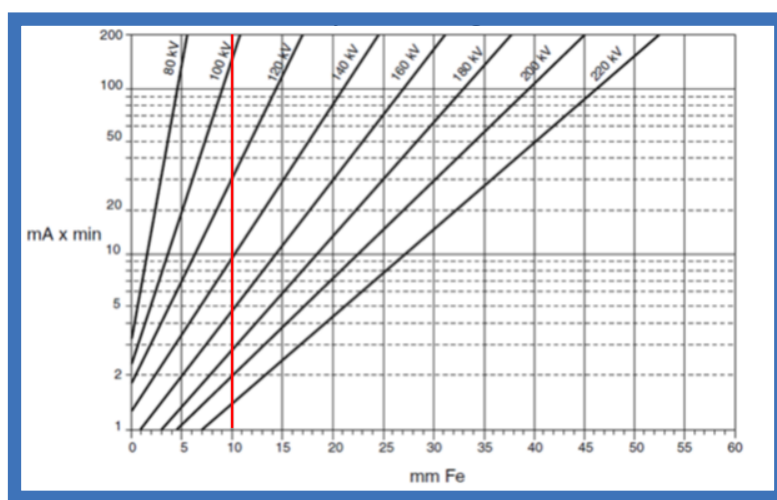
Üzemi példa:

Számítsuk ki két darab 10 mm vastagságú szénacél lemez tompahegesztésének radiográfiai vizsgálatához szükséges besugárzási időt. Az elkészítését követően a hegesztést leköszörülték és ezért nincs megerősítés az alapanyag vonatkozásában.

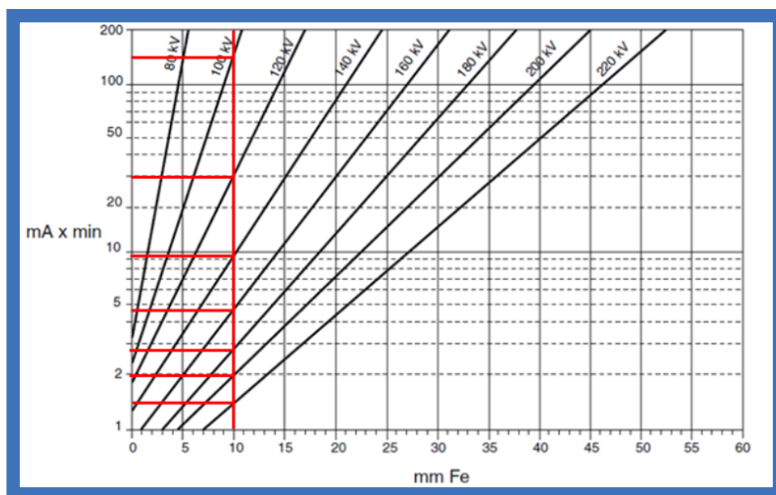
A munkafeltételek – úgymint, a berendezés, a filmrendszer, a célfeketedés, a fókusztávolság, stb. – a 3.42. ábrán látható besugárzási diagramot adják.

A legmegfelelőbb besugárzási idő eléréséhez követendő eljárás az alábbiakban kerül ismertetésre:

1. Lehetséges alkalmazandó sugárzási energiák: Ha felrajzolunk egy függőleges vonalat, amely a kordináta tengely 10 mm-es vastagságától indul, akkor az ábra azt mutatja, hogy 100 kV és 220 kV közötti tartományba eső energia választható.



2. Az üzemi energia kiválasztása. Egy adott anyaghoz és vastagsághoz létezik egy optimális vizsgálati energia. A gyakorlatban a lehető legkisebb – egy indokolt és elfogadható besugárzási idővel kompatibilis – energiát kell választani. Ebben az esetben a figyelembe veendő különböző lehetőségek a következők: 100, 120, 140 és 160, 180, 200 és 220 kV. A következő lépés segítségével jobban megérthetjük ezt a lépést.



3. A 2. lépésben előre kiválasztott egyes energiákhoz most kerül meghatározásra a besugárzás. A táblázatot megvizsgálva, az alábbiak figyelhetők meg:

3.7. táblázat. Besugárzás meghatározása a 3.42. ábrán látható egyes energiákhoz

| Energia (kV) | Besugárzás (mA x min) |
|--------------|-----------------------|
| 100          | 150                   |
| 120          | 25                    |
| 140          | 10                    |
| 160          | 5                     |
| 180          | 3                     |
| 200          | 2                     |
| 220          | 1,5                   |

4. Végül, az adott besugárzásnál alkalmazandó áramerősség rögzítését követően, a besugárzási idő kiszámítása az alábbi egyenlettel történik:

5. 
$$t_B = \frac{B}{I} = \left[ \frac{mA \cdot min}{mA} \right]$$

Következésképpen, ha megvizsgáljuk a 3.8. táblázatot, logikusnak tűnik azt gondolni, hogy indokolt és elfogadható besugárzást kapunk akkor, ha 140 kV energiát – azaz, 10 mA x min besugárzást – alkalmazunk. Ha a fenti egyenletet alkalmazzuk erre a besugárzásra, 1 mA és 10 mA közötti áramerősség értékeket figyelembe véve, akkor az alábbi besugárzási idő értékeket kapjuk:

3.8. táblázat. Áramerősség és besugárzási idő, 10 mA x min besugárzás esetén.

| Áramerősség (mA) | Besugárzási idő (min) |
|------------------|-----------------------|
| 1                | 10,0                  |
| 2                | 5,0                   |
| 3                | 3,3                   |
| 4                | 2,5                   |
| 5                | 2,0                   |
| 6                | 1,7                   |
| 7                | 1,4                   |
| 8                | 1,3                   |
| 9                | 1,1                   |
| 10               | 1,0                   |



Ebből adódóan, ha a 140 kV-on rögzített besugárzási energiát nem módosítjuk egyetlen áramerősség-besugárzási idő kombinációnál sem, akkor ugyanazokat a besugárzási értékeket és – ennél fogva – ugyanazokat a vizsgálati eredményeket kapjuk.

#### 3.4.3.1 A besugárzási diagram korlátai

A gyakorlatban a vékony falvastagságokra ( $< 5$  mm) vonatkozó besugárzási diagramok nem adnak jó eredményt, mivel a kapott sugárterhelés helytelen. Így nem lehet megfelelő feketedés értékeket elérni. Az ok abban keresendő, hogy vékony falvastagságoknál a függvények nem lineárisak. Ez különösen igaz az acéltól eltérő anyagokra.

A függvény úgy korrigálható, ha – vékony falvastagságokból, kisebb sugárterhelés mellett – több mérési pontot veszünk fel. Ugyanakkor, mivel kis áramerősségek ( $I < 3$  mA) esetén az SFD-t növelni kellene és emiatt a sugárterhelést (B) korrigálni kellene az inverz négyzetes törvény alkalmazásával, más anyagok esetében ajánlatos speciális besugárzási diagramok meghatározása.

A helytelen feketedés másik oka az, hogy az alacsony energiáknál nem megfelelő a leolvasás: ugyanis például az egy milliméteres falvastagság különbség nagy eltérést eredményez a sugárterhelésben.

#### 3.4.4 A besugárzási idő kiszámítása. Számológép

A gamma radiográfia esetében egy számológép alkalmazása a legegyszerűbb és legmegbízhatóbb módszer a besugárzási idő kiszámítására. Ez a számológép általánosan alkalmazott a gamma radiográfiában.

Ez a számológép egy rögzített vonalzót foglal magában, adatsorozattal és egy vagy két csúszóvonalzót, amit csúsztatni kell és egy mobil kurzor segítségével kell beállítani a rögzített vonalzóhoz való illeszkedését. Ily módon a besugárzási idő közvetlenül leolvasható.

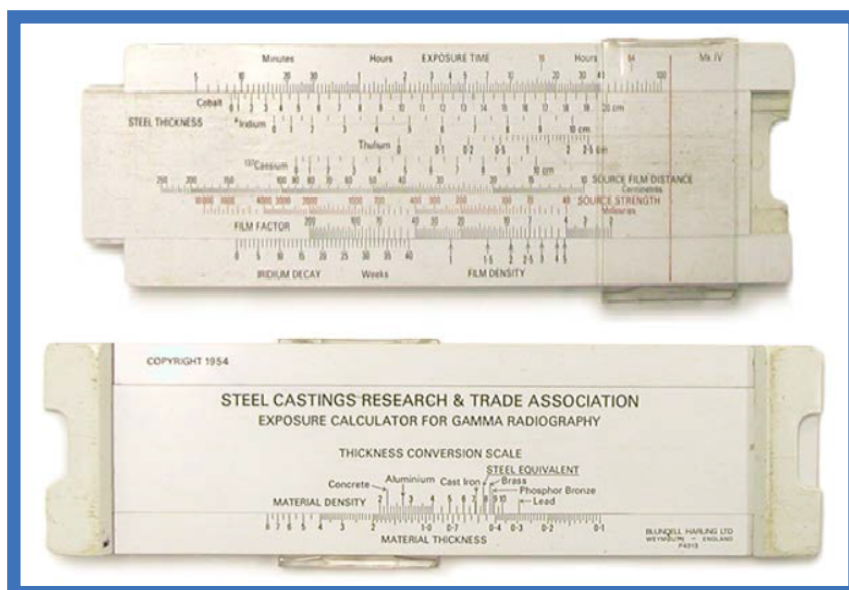
A besugárzási idő kiszámításához az alábbi kiindulási információkat kell ismerni:

- ◆ Célfeketedés.
- ◆ Filmtípus.
- ◆ Alkalmazott forrás típusa (alkalmazott izotóp).
- ◆ Forrás aktivitás.
- ◆ Forrás–filmtávolság.
- ◆ Átsugárzandó vizsgálati mintadarab vastagsága.

Ha ismertek a kiindulási adatok, akkor a konkrét kiindulási feltételekhez tartozó besugárzási idő meghatározásához előre definiált lépéseket kell végrehajtani. Ezeket a számológépeket az 1950-es években tervezte a „Steel Castings Research & Trade Association (SCRATA)”, azzal a céllal, hogy a gamma radiográfia területén megfelelő módon lehessen kiszámítani a besugárzási időket.



3.43. ábra. Besugárzás-kalkulátor, besugárzási idő kiszámítására a gammadiográfia területén.  
Tervezte: „Steel Castings Research & Trade Association (SCRATA)”



#### 3.4.5 A besugárzási idő korrekciója

A besugárzási diagramok és a számológécek használatakor egyaránt igaz az, hogy a besugárzási értékek és a besugárzási idő-értékek meghatározott kiindulási feltételekre vannak megadva. A legjobb az lenne, ha minden egyes feltételezett kiindulási helyzetre lenne egy besugárzási diagram az adott vizsgálatot megelőzően, azonban ez nem lehetséges. Ez az oka annak, hogy a gyakorlatban ismerni kell azt, hogy a változások milyen módon befolyásolják egy vizsgálat tényleges kiindulási adatait a besugárzási diagramokban és a számológéceken beállított feltételek vonatkozásában. Ezért, ez a szakasz azzal foglalkozik, hogy az alkalmazott forrás–filmtávolságnak és filmrendszernek milyen hatása van a besugárzásra.

##### 3.4.5.1 A besugárzási idő korrigálása a forrás–filmtávolsággal

Ahogy azt a korábbiakban már említettük, a sugárzás intenzitása a távolság–négyzet-törvény szerint függ a sugárforrás távolságától, azaz egy egységnyi felületen a sugárzásintenzitás a távolság négyzetével arányosan csökken.

A távolság–négyzet-törvényt alkalmazva kiszámítható, hogy milyen expozíciós időre van szükség abban az esetben, amikor a forrás–filmtávolság módosításra kerül a korábbihoz viszonyítva:

$$t_{új} = t_{régi} \cdot \frac{FFD_{új}^2}{FFD_{régi}^2}$$





### 3.4.5.2 A besugárzási idő korrigálása a filmtípus változtatásával

A relatív besugárzási tényezők a röntgenfilmek különböző érzékenysége miatt jelennek meg. Ezek a tényezők hasznosak abban az esetben, amikor egy besugárzási diagramot kell átkonvertálni az egyik filmtípusról a másikra, ugyanolyan sugárzás mellett. A szóban forgó tényezők nem mindig állandók a különböző sugárzási energiák esetében, ezért körültekintően kell használni őket.

Ezek a tényezők lehetővé teszik a besugárzási idő növelését vagy csökkentését abban az esetben, ha a filmek eltérnek azoktól, amelyekre az adott diagramok összeállításra kerültek, alapvetően ugyanolyan feketedést elérve az adott filmen. Ez nem jelenti azt, hogy a végleges radiográfiai felvétellel azonos minőséget sikerül elérni.

A relatív besugárzási tényezők (REF) kiszámításához egy egységnyi REF-értéket kell meghatározni úgy, hogy amikor egy REF-értéket megadunk, akkor az lesz egy adott film relatív érzékenysége, vagyis az egységként felvett REF-érték.

A 3.9. táblázat különböző filmtípusokra mutatja a relatív besugárzási tényezőket. Ezen táblázat tanulmányozásához az alábbiakat kell figyelembe venni:

- ◆ Agfa–Gevaert Film D7, egységként standardizálva.  $D7=REF=1$
- ◆ Pb 0.02 illetve 0.027 (v/h) fóliák
- ◆ Automatikus előhívás G 135, 28°C-on
- ◆ Előhívási idő: 8 perc

Következésképpen, példaként említve, egy 3,0 REF-tényezős AGFA D4 filmet háromszor több ideig kell besugározni, mint egy Agfa D7 filmet ahhoz, hogy ugyanolyan feketedést kapjunk.

3.9. táblázat. Különböző röntgenfilmek relatív besugárzási tényezői

| Filmtípus | Film osztály | 100 kV | 200 kV | $I_{r_{192}}$ |
|-----------|--------------|--------|--------|---------------|
| D7        | G3/C5        | 1,0    | 1,0    | 1,0           |
| D5        | G2/C4        | 1,6    | 1,5    | 1,5           |
| D4        | G2/C2        | 3,0    | 3,0    | 3,2           |
| IX 100    | G3/C5        | 1,2    | 1,3    | 1,3           |
| IX 80     | G2/C3        | 1,9    | 1,8    | 2,0           |
| IX 50     | G2/C2        | 3,4    | 3,2    | 2,8           |



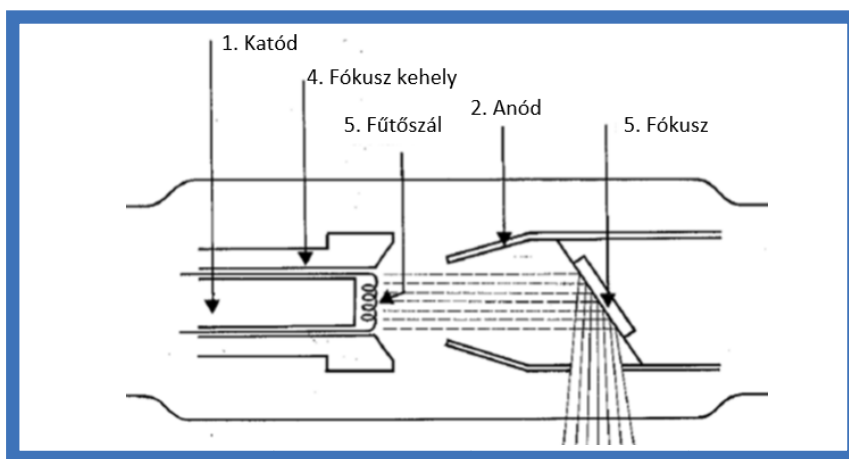


### 3.5 A RÖNTGENGÉPEK BEÁLLÍTÁSA ÉS MŰKÖDTETÉSE

A röntgensövek működése a fékezési sugárzás vagy lassítási hatás révén történő röntgensugárzás kibocsátáson alapul. A röntgenső alapvető részegységei az alábbiak:

- ◆ Üveg védőburkolat.
- ◆ Fókusz kehely.
- ◆ Katód vagy negatív elektród.
- ◆ Anód vagy pozitív elektród (antikatód).
- ◆ Fókuszolt.

3.44. ábra. Röntgenső alapvető részegységei



Manapság a röntgensövekek gyártása során már nem használnak üveget. Ehelyett kerámia anyagok használatosak. A továbbiakban kerámia- vagy fémkerámia csövekkel fogunk foglalkozni.

A röntgenső egy fémhengerben kerül elhelyezésre, a henger végei kerámia lemezekkel vannak lezárva, azokba pedig az anód- és katód-csatlakozások vannak beépítve. A kisenergiájú röntgensugarak kibocsátásának elősegítése érdekében, a berendezés részét képezheti egy gyenge szűrő berillium ablak is.

3.45. ábra. Fémkerámia csövet tartalmazó röntgenberendezés

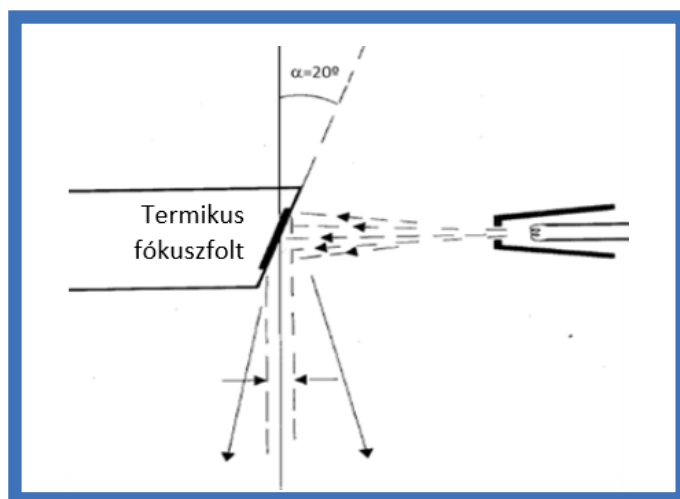


Amikor nagy kinetikai energiájú elektronok becsapódnak az anódba, akkor az energia hővé és röntgensugarakká alakul át. Az anód anyagától és az elektrongyorsítástól függően a hőképződés 99,9%-tól (egy W-anód és 30 keV energia esetén) 60% (ugyanazon W-anód és 40 MeV energia esetén) tartományban változik. A nagy hőképződés miatt a röntgensövet, különösen az anódot, kellőképpen hűteni kell. Az anód hűtése levegővel vagy folyadék kényszer-keringtetéssel történik.

### 3.5.1 Termikus fókuszolt (tényleges fókuszolt)

A termikus fókuszolt az az anódfelület, amelyre az elektronok hatnak. A felületet úgy kell elhelyezni, hogy szöget zárjon be a katóddal.

3.46. ábra. Termikus fókuszolt

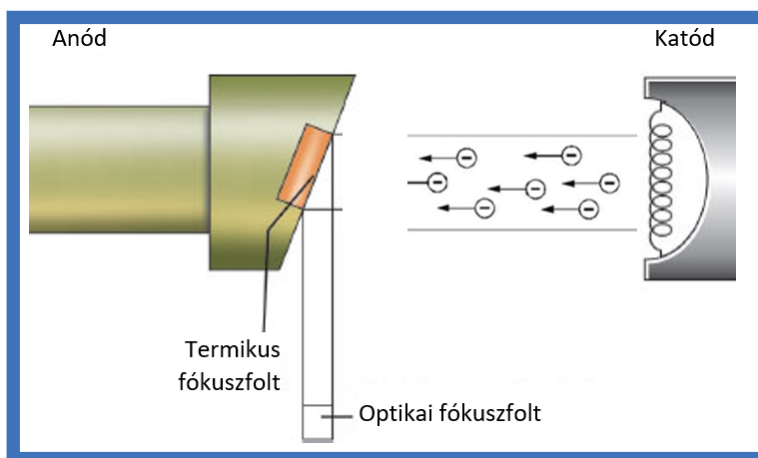


### 3.5.2 Optikai fókusz

Az optikai fókusz (egyszerűen: fókuszolt) merőleges vetület egy olyan síkra, amely párhuzamos a röntgenső tengelyével és merőleges a fő sugárnyalábra (effektív fókuszolt).

Ahogy az a későbbiekben ismertetésre kerül, a fókusz méretek ismerete nagyon fontos, mivel azok szoros összefüggésben vannak a kapott radiográfiai képek élességével.

3.47. ábra. Termikus és optikai fókuszpont



### 3.5.3 Sajátszűrés

A röntgencső – anyagától és elrendezésétől függően – kisebb vagy nagyobb mértékben megsűri a sugárzást, amikor a sugárnyaláb keresztülhalad a cső kilépő ablakán. Ezt a röntgencső általi sugárzás-szűrést – ami elkerülhetetlen és az adott berendezésre jellemző – sajátaszűrésnek nevezik.

### 3.5.4 Röntgenberendezés dózisteljesítmény állandója

A dózisteljesítmény állandó ( $\Gamma_{kV}$ ) a röntgenberendezés egyik jellemzője, amely az intenzitástól és a működési feszültségtől függően változik. A dózisteljesítmény-állandó értékét a gyártónak kell biztosítani vagy kísérleti úton kell kiszámítani, amennyiben szükséges lenne. A dózisteljesítmény-állandó azt a sugárzásmennyiség értéket adja meg, amit egy cső képes előállítani adott üzemi feltételek (pl. csőfeszültség) mellett. Mértékegysége:

$$\left[ \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{mA}} \right]_{kV}$$

### 3.5.5 A röntgenberendezés áramkörei

A villamos üzemeltetés szempontjából a röntgencsövet olyan energiaforráshoz kell csatlakoztatni, amely biztosítja a megfelelő működési feszültséget. Ehhez két transzformátorra van szükség, egy nagyfeszültségű transzformátorra az elektronok gyorsításához, illetve egy kisfeszültségű transzformátorra a fűtőszál elektromos áramához.

A berendezés váltakozó áramforráshoz csatlakozik. Következésképpen, a röntgenberendezés villamos áramkörének megtervezésekor figyelembe veendő alapprobléma az, hogy röntgensugár csak

akkor jön létre, ha elektronáram a katódtól az anód irányában halad, és ennek megfelelően a katódnak negatívabb potenciálon kell lennie, mint az anódnak.

Egyenirányítás nélküli, váltakozó polaritású csőfeszültség alkalmazása esetén a működési idő felében a cső nem sugároz, ráadásul azokban a félperiódusokban, amikor sugárzás képződik, a feszültség nagyrészt alacsonyabb, mint a hagyományos mérőműszerek által kijelzett névleges feszültség.

A röntgenberendezések esetén a csúcshőfeszültséget kell figyelembe venni, mérni és kijelezni ( $kV_{max}$ ). Az ily módon üzemelő berendezést pulzáló feszültségű félhullámú berendezésnek nevezzük.

A mai, korszerű röntgenberendezések elektronikus úton állítják elő a röntgenső működtetéséhez szükséges nagyfeszültséget. Az 50 Hz-es hálózati feszültséget szabályozható módon egyenirányítják és szűrik. Ez a változtatható amplitúdójú simított egyenfeszültség kerül a középfrekvenciás invertert (váltóirányító) bementére, aminek kimenete 15–20 kHz-es váltakozó feszültséget szolgáltat a nagyfeszültségű transzformátornak. A transzformátor szekunder feszültségének maximális értéke általában nem több, mint 20 kV, amit egy feszültség sokszorozó áramkör alakít át a cső működtetéséhez szükséges simított egyenfeszültséggé. Az összetettebb rendszerekben mérik a nagyfeszültséget és szabályozó áramkörök segítségével néhány százalékon belüli pontossággal, terheléstől függetlenül állandó értéken tartják. A röntgenső fűtőszálát rendszerint 1–5 A erősségű, szintén középfrekvenciás váltakozó áram fűti, 4–12 V-on. Az ilyen röntgenkészülékeket állandó feszültségű középfrekvenciás berendezésnek nevezik.

### 3.5.6 Berendezés és röntgenső osztályba sorolása

A röntgenberendezések osztályba sorolása különböző tényezőktől függ.

A csövet működtető villamos áramkör szempontjából megkülönböztetünk:

- ◆ félhullámú vagy pulzáló feszültségű berendezést és
- ◆ állandó feszültségű középfrekvenciás berendezést.

A röntgenberendezések osztályba sorolása történhet a szerint is, hogy egypólusú vagy kétpólusú röntgensövet használnak.

Az anód és a katód között elérhető maximális feszültségkülönbségtől függően az alábbi osztályba sorolások lehetségesek:

- ◆ Max. 320 kV-os berendezések. Ezek általában hordozható, egypólusú röntgensövek.
- ◆ Max. 450 kV-os berendezések. Ezek rendszerint helyhez kötött, kétpólusú röntgensövek.
- ◆ Max. 10 MeV-os berendezések. Ezek szinte kizárólag telepített (helyhez kötött) berendezésként használatosak.

Végül a röntgensugárnyaláb geometriájától függően, a berendezés lehet irányított röntgensugaras (direktsugárzó) vagy panorámaröntgen.



### 3.5.7 Többtankos berendezések

A többtankos berendezések több részegységet foglalnak magukban: a csőegységet (röntgenső és csőtokozás), az energiaellátó egységet, a hűtőegységet és a vezérlő egységet.

Hagyományosan ezek a berendezések – nagy súlyuknak köszönhetően – kizárólag telepített, helyhez kötött üzemben használatosak.

Ugyanakkor – a fémkerámia csövek és a gázszigetelésű nagyfeszültségű generátorok kifejlesztésének köszönhetően – most már jelentősen kisebb méretű/tömegű többtankos berendezések is készíthetők, így mobil, helyszíni alkalmazások során is felhasználhatók ezek a berendezések.

3.48. ábra. 160 kV-os többtankos mobil berendezés



A standard, helyhez kötött (stacioner) röntgenberendezések rendszerint  $U = 450$  kV csőfeszültségig működtethetők, ami kétpólusú csövekben kerül előállításra egy  $-225$  kV-os, illetve egy  $+225$  kV-os generátor alkalmazásával. Egy olajtöltésű, zárt áramkörű hűtés max. 45 mA-es munkaáramokat tesz lehetővé, 16 l/min olajáramlási sebesség mellett (olaj/víz hőcserélő általi hőátvitel).

Egypólusú csövek használata esetén csak az előző bekezdés szerint lehetséges működési feszültség fele áll rendelkezésre. Ebben az esetben vízhűtés is alkalmazható (az anódnak nulla potenciálja van). Vízhűtés alkalmazása esetén – az olajhűtéshez viszonyítva – csak egyharmadnyi hűtőfolyadékra van szükség.

A helyhez kötött (stacioner) berendezések rendszerint nagyon fejlett áramköri technikával rendelkeznek, és viszonylag kismértékű a sajátszűrésük. Az általában használatos kétpólusú csöveket kapcsolható kettős fókusszal szállítják (makro- és mikrofókusz). Néha ez a megoldás a rúdanódos csövek esetében is megjelenik. A csőáram csökkentése elkerülhetetlen a fókusz minimalizálásánál. Ugyanakkor, a felületarányból kikövetkeztetethez képest ez kisebb lehet a vártnál, mivel a kis fókuszfelületek nagyobb fajlagos teljesítményterhelések mellett tudnak üzemelni, mint a nagyobb fókuszfelületek.

### 3.5.8 Egytankos berendezések

Az egytankos berendezések csak két egységből állnak: a működtető egységből és – egy tankban kombinálva – a cső-, energia- és hűtőegységből. A nagyfeszültségű generátor szigetelőközegeként transzformátorolaj helyett nagynyomású kén-hexafluorid gázt alkalmaznak, ezzel a berendezés tömege jelentősen csökkenthető.

A 3.49. ábrán egy tipikus egytankos, léghűtésű, középfrekvenciás berendezés látható, 200 kV maximális működési feszültséggel.

3.49. ábra. Egytankos, középfrekvenciás, állandó feszültségű berendezés, 200 kV



### 3.5.9 Egypólusú csövek

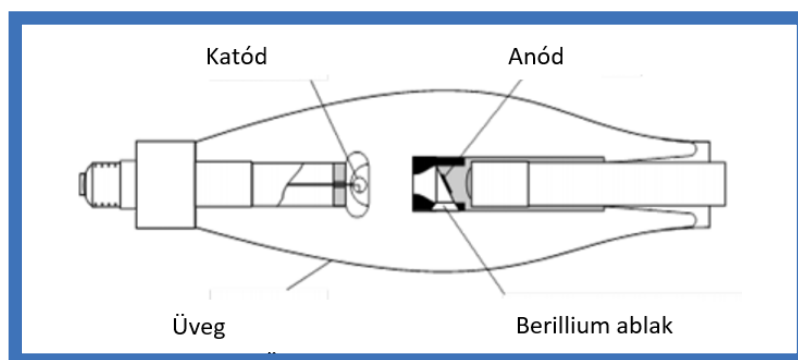
Az egypólusú csőben a működési feszültséget csak a katódra adják rá, az anód földpotenciálon van. Ennek a következménye az anódhűtő-rendszer egyszerűsödése. Ez rendszerint kis- vagy közepes feszültségű (kV) berendezésekben használatos.

### 3.5.10 Kétpólusú csövek

A kétpólusú csövek előnye a szigetelés szempontjából az, hogy a feszültség – földhöz képest – a csőfeszültség felével egyenlő az anódon is és a katódon is. A kimeneti ablakot a cső középpontjában kell elhelyezni és az anód hűtésére levegőt vagy olajat használnak.

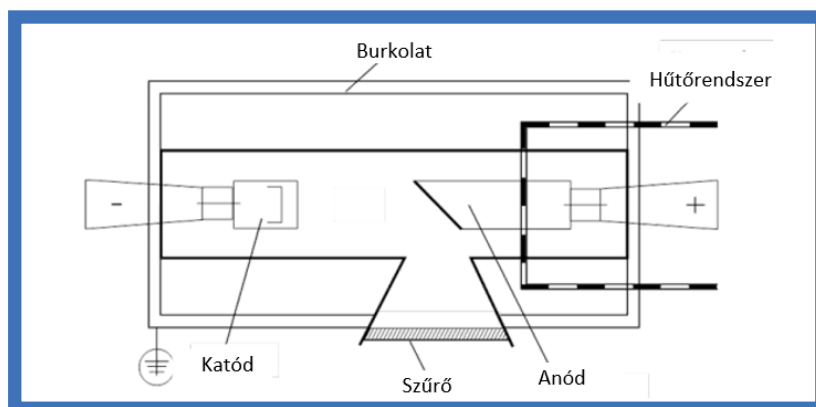
A 3.50. ábrán egy jellemző kétpólusú cső vázlata látható (üveg védőburkolatos verzió):

3.50. ábra. Üveg védőburkolatos kétpólusú cső



Ez a cső maximum 400 kV-os feszültségen és 10 mA-es csőáram mellett üzemeltethető. A fémkerámia változat maximum 450 kV-os feszültségen és 10 mA-es csőárammal használható. Ez a cső sokkal könnyebb és kisebb, mint az üveg védőburkolatú.

3.51. ábra. Fémkerámia kétpólusú cső (rövid anód)



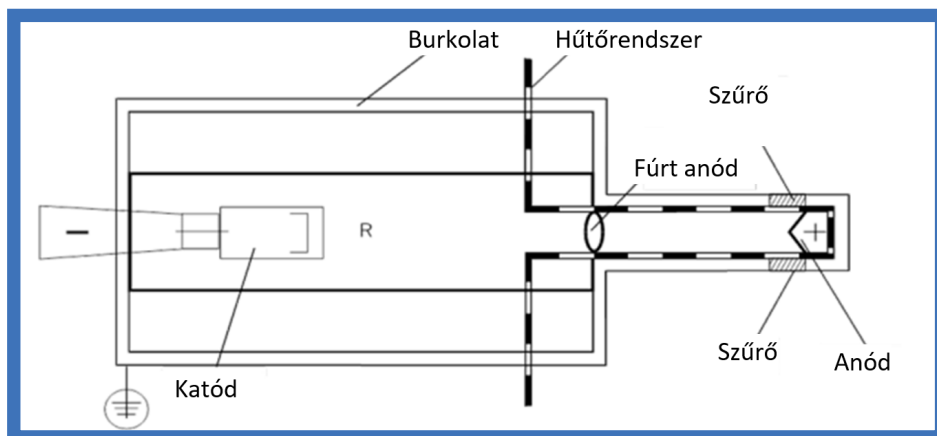
Ezt a csövet rendszerint kúpos sugárnyalábra tervezik; különleges esetekben hengeres sugárnyalábokra is tervezhető.

### 3.5.11 Rövid anód és rúdanód

A rúdanódos csövek anódjainak a középpontjában egy fűt, koaxiális lyuk található, így a felgyorsított elektronok nem ütköznek neki az anódnak, hanem egy kb. 50 cm hosszúságú rézrúdon keresztül a csövön kívülre kerülnek kivezetésre. Ezen cső végén az elektronok nekiütköznek a rendszerint volfrám-ból készült céltárgynak.

A 3.51. és 3.52. ábrán rövid anódos, illetve rúdanódos csövek sematikus képei láthatók.

3.52. ábra. Rúdanódos cső



## 3.5.12 Berillium ablakos csövek

Az eddig ismertetett röntgenső-típusoknál a röntgensugárzás kismértékben már akkor gyengül, amikor a röntgensugár a fókuszfoltból a csőablak kimenete felé tart, ami az anódkonstrukció, a hűtőközeg és a kimeneti ablak hatásának tudható be. Így a gyenge (kis energiájú) csősugárzás szűrése megtörténik.

Amennyiben az adott alkalmazáshoz lágy sugárzásra van szükség, úgy berillium szűrésű csövet kell használni. Ennek a fémnek kicsi a rendszáma és a sugárzás lényegében szűretlenül képes áthaladni rajta. Következésképpen – azonos villamos paraméterekkel történő üzemeltetés esetén – a berillium ablakos cső nagyobb dózisteljesítményeket szolgáltat, mint a normál módon szűrt csövek, mivel a kisebb energiájú sugárzás is átmegy. A berillium ablakos csövek vékony vagy könnyű kémiai elemekből álló tárgyak röntgenezésére használatosak.

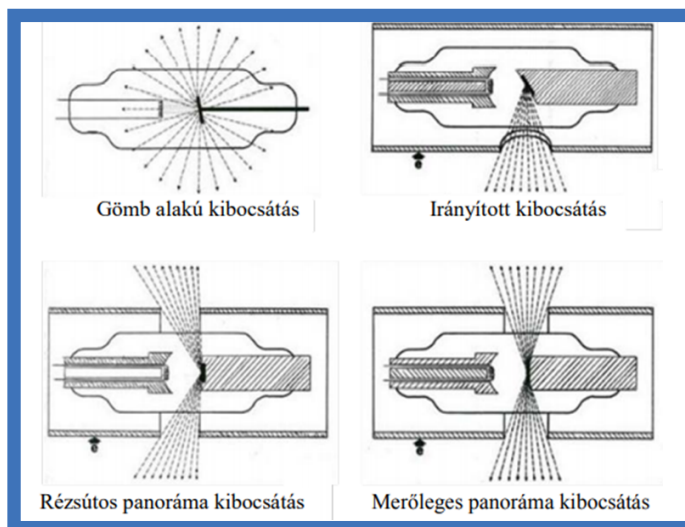
## 3.5.13 A röntgenső által kibocsátott sugárnyaláb

Az összes röntgensőre érvényes az, hogy az elektronok elnyelődése által produkált folytonos spektrum alapvetően minden irányban kibocsátásra kerül. Ugyanakkor, a vizsgálathoz csak az anódra többé-kevésbé merőlegesen kibocsátott rész kerül felhasználásra. A kúpos sugárnyalábokban az anódot úgy tervezik, hogy a nem használt sugárzás – amely már az anódban erősen gyengül – legnagyobb részét elnyelje. A sugarak teljes nyílásszöge kb.  $40^\circ$  (az adott berendezéstől függően). A cső védőburkolata körül egy sugárzási gyűrűt hoznak létre a sugárnyalábok. Azonban a kibocsátás a legtöbb esetben nem merőleges a cső tengelyére, a vonatkozó kibocsátási szögek  $10^\circ$  és  $15^\circ$  közöttiek.





3.53. ábra. Különböző röntgencsővek sugárnyaláb irányai

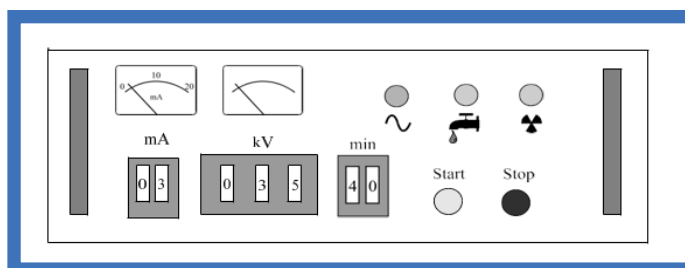


A cső védőburkolat elnyeli a nem használt sugárzás nagy részét is, mivel gyakorlatilag az összes cső védőburkolata tartalmaz egy belső ólomréteget, amely csak a sugárzás kibocsátását biztosító felületen van megszakítva. A kollimátor furatátmérője a szükséges sugárnyaláb méretnek felel meg. Továbbá, a röntgen berendezések legtöbbször kollimátor bléndékkel vannak ellátva, melyek segítségével a sugárzási mező beállítható a kívánt méretre. Minél kisebb a sugárnyaláb keresztmetszete, annál kevesebb szórt sugárzás képződik.

#### 3.5.14 A röntgenberendezés kezelőegysége

A kezelőegység (kezelőpult) rendszerint a következőket foglalja magában: főkapcsoló, a csőfeszültséghez, az áramhoz és a besugárzási időhöz használatos kezelőszervek és ellenőrző műszerek.

3.54. ábra. Egy röntgenberendezés analóg és digitális kezelőegysége





A besugárzási idő leggyakrabban előre kiválasztható, a maximális kV- és milliamper-értékeket a berendezésgyártó állítja be. Ezen paraméterek túllépése esetén a kezelőpult figyelmeztető jelzést ad, megszakítva a besugárzást, azonban, ha a paraméterek rendben vannak, akkor a besugárzás megtörténik.

Ezt követően, a berendezés automatikusan kikapcsol, és készenléti állapotba kerül. Mindazonáltal, a besugárzást követően ajánlatos megvizsgálni a voltmérőt. Ezen túlmenően, rendelkezésre áll egy vezérelt csatlakozóaljzat figyelmeztető lámpa részére. Ez a lámpa csak a röntgensugarak generálásakor villog, használata kötelező. Mobil használat során ennek a lámpának önvezéreltnek kell lennie, azaz hiba esetén a berendezésnek automatikusan le kell kapcsolódnia.

A telepített (stacioner) alkalmazások esetén – opcionálisan – választható egy ajtóvezérlő egység, melynek révén a berendezés működtető feszültsége kikapcsolódik a röntgensugár kamra ajtajának nyitáskor.

A modern berendezéseknél a feszültség és az áram vezérlése digitálisan történik.

### 3.5.15 Karbantartás

A röntgenberendezéseknél csak kisebb karbantartást kell végezni. A nagyfeszültségű csatlakozások, a hűtőkörök, a villamos ajtókontaktusok, a fotoelektromos relék, a figyelmeztető lámpák és az ellenőrző műszerek megfelelő működését ütemezett karbantartási ciklusok során kell megvizsgálni. Hosszabb üzemben kívüli időszakok esetén, a gyártó üzemeltetési utasításai szerinti bemelegítő működtetést kell végezni, a normál működési paraméterek mellett történő használatot megelőzően.

### 3.5.16 Szakember általi ellenőrzés

A röntgenberendezést az egyes országok illetékes hatósága által kijelölt szakembereknek kell ellenőrizniük, az egyes berendezések üzemeltetési tervében rögzítettek szerint.



### 3.6 GAMMASUGÁR-FORRÁSOK KÉSZÜLÉKEINEK BEÁLLÍTÁSA ÉS MŰKÖDTETÉSE

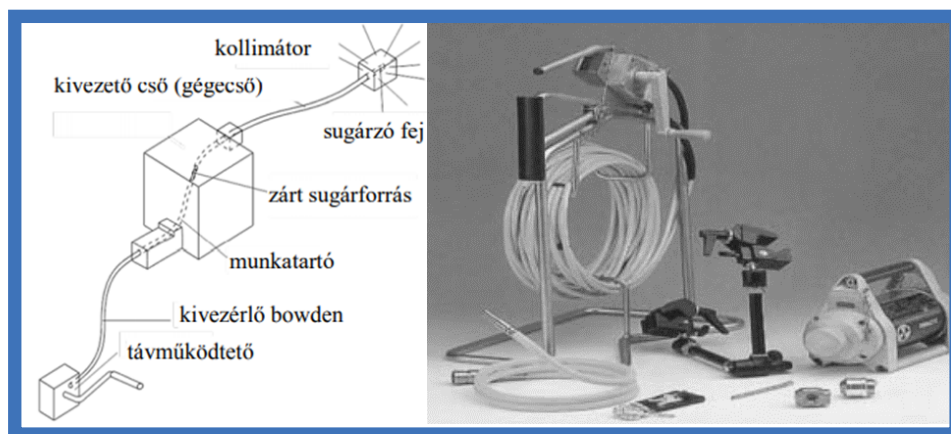
A gammasugarat kibocsátó forrásokat magukban foglaló berendezések fő célja az, hogy a radioaktív sugárforrás szállítása, tárolása és végül felhasználása oly módon történjen, hogy az ne jelentsen veszélyt a kezelő egészségére. Ezen berendezéseknek több fontos céljuk van, nevezetesen: leárnýékolni a gammasugárzó radionuklidot a készenléti, tárolási, szállítási időszakok során, lehetővé tenni a sugárforrás biztonságos munkapozícióba és onnan visszahelyezését (gégecső, stb), illetve úgy elhelyezni a gammasugárzó radionuklidot az üzemeltetés, felvételkedészítés során, hogy a vizsgálat szempontjából hasznos gyűré vagy kúp geometriájú sugárzási mező alakuljon ki (kollimátor).

A röntgencsővekhez viszonyítva, a gammasugár-források berendezései jóval kompaktabbak és kevésbé bonyolultak; alapvetően csak mechanikus manipulációs egységek.

A berendezés részegységei az alábbiak:

- ◆ zárt radioaktív gammasugár-forrás,
- ◆ sugárforrás-tartó,
- ◆ munkatartó,
- ◆ távműködtető egység (kivezélő bowden, mozgatóegység),
- ◆ gégecső (kivezető cső),
- ◆ tartozékok (például fóliák és kollimátorok).

3.55. ábra. 2-es kategóriájú berendezés



#### 3.6.1 A sugárforrás

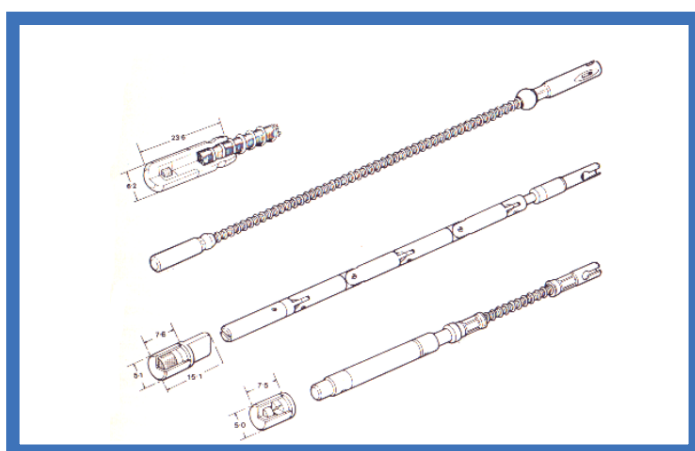
A sugárforrás egy radioaktív anyag, amely egy tömören záró, sugárzás elleni védelmet biztosító burkolatba van elzárva. Ennek a burkolatnak biztosítania kell azt, hogy normál működési feltételek mellett aktív anyag ellenőrizetlenül nem kerülhet ki. A sugárforrásokat csak akkor szabad besugárzási üzemmódba helyezni, amikor vizsgálat van folyamatban. A gyártó köteles biztosítani egy tanúsítványt a hermetikusságra vonatkozóan, illetve egy másikat, ami az adott sugárforrás radioaktív anyagának tulajdonságait tanúsítja. Több mint száz napos felezési idő esetén, előírt időszakonként, tömörségvizsgálatot (dörzsminta-vétel) kell végezni az adott előírásnak megfelelően.

### 3.6.2 Sugárforrástartó egység

A sugárforrástartó egység feladata egyrészt a sugárforrás tartása, másrészt a távműködtetés lehetővé tétele. A sugárforrást olyan szilárdan kell rögzíteni a tartóhoz, hogy ellenőrizetlenül ne tudjon leválni arról.

A sugárforrástartók rendszerint csuklósan összekapcsolt részegységekből állnak, melyek szinte teljesen szabad mozgást biztosítanak. A két utolsó csatlakozórész volfrámból készül annak érdekében, hogy sugárvédelmi árnyékolásként funkcionáljon a kezelő szempontjából.

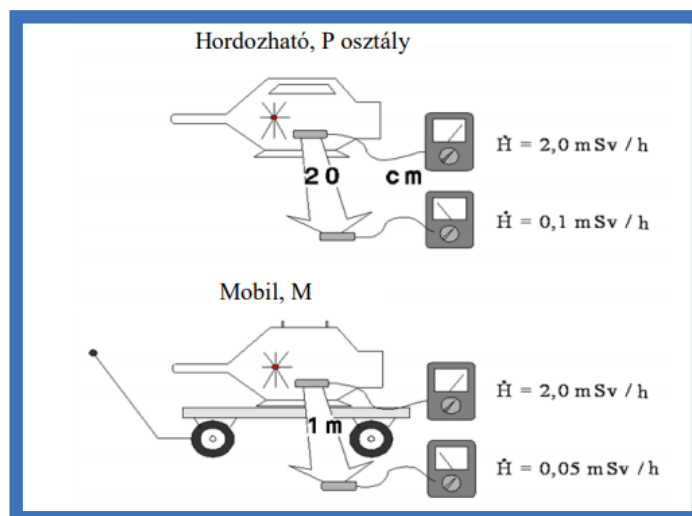
3.56. ábra. A gammasugaras vizsgálat során használt sugárforrások és sugárforrástartók legáltalánosabb típusa (Amersham-katalógus)



### 3.6.3 Munkatartó

A munkatartó tulajdonképpen sugárvédelmi árnyékolást biztosító tárolóként funkcionál. Árnyékoló anyagként volfrám vagy szegényített urán használatos. A munkatartók P- vagy M-osztályba vannak besorolva, méretük, tömegük és mobilitásuk szerint. Az egy személy által hordozható berendezések a P-osztályúak, például az irídium és szelén munkatartók. Amelyek pedig csak mechanikai segítséggel mozgathatók, például a kobalt munkatartó, az M-osztályba tartoznak.

3.57. ábra. Kézzel (P) és szállítóeszkővel (M) hordozható berendezés

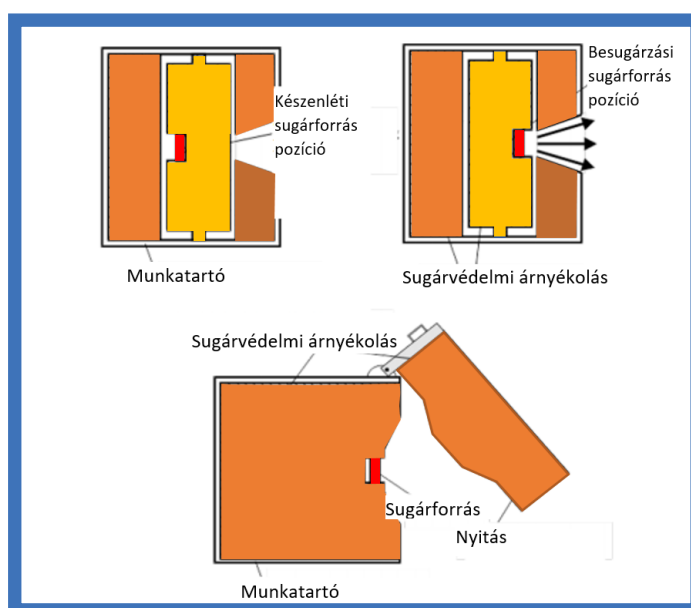


Ezen túlmenően, a működtetési módszerek szempontjából három munkatartó kategóriát lehet megkülönböztetni.

Az 1-es kategóriájú berendezésekkel történő vizsgálat során, a sugárforrás a munkatartóban marad. A sugárzás szabadon beállítható a sugárforrás – sugárvédelmi árnyékolással együtt történő – megfelelő elhelyezése révén, vagy a beépített fedőlemez eltávolításával.

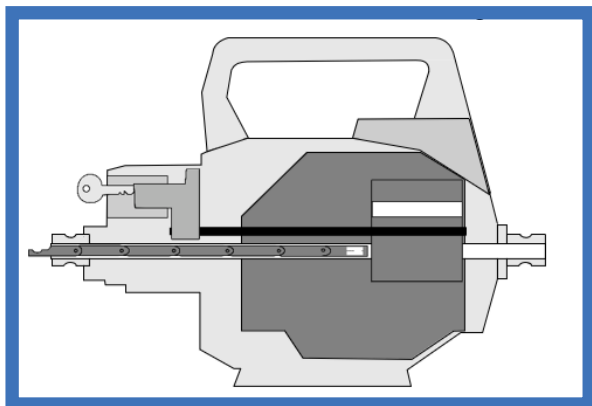
A 2-es kategóriájú berendezések működtetése során a sugárforrás távműködtetéssel kerül kivezetésre a munkatartóból a működési helyre. A 3-as kategóriájú tartók rendszerint csak tároló vagy szállító konténerekként szolgálnak. A sugárforrásoknak a tartóból való eltávolítása és működési helyre vitele egy manipulációs egység segítségével történik.

3.58. ábra. 1-es kategóriájú munkatartók



A 3.59. ábrán egy irídium sugárforrást tartalmazó P2 típusú (P-osztály, 2-es kategória) berendezés sematikus képe látható.  $\text{Co}_{60}$  esetében legfőképpen M2 típusú berendezések használatosak. A 3.60. ábrán a  $\text{Se}_{75}$ -öt tartalmazó berendezés képe látható.

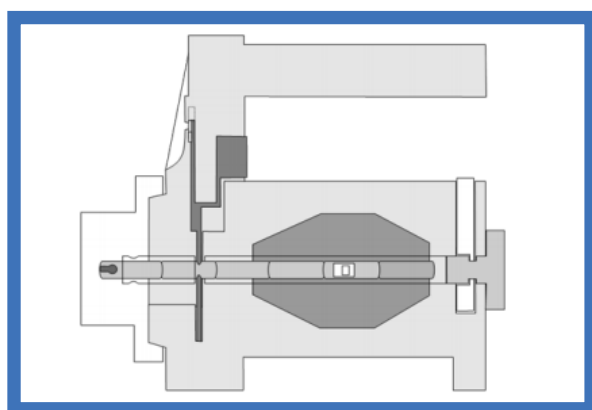
3.59. ábra. P2 típusú, Ir192 munkatartó



Ezeket a berendezéseket olyan biztonsági óvintézkedést szolgáló egységekkel kell ellátni, amelyek megakadályozzák egyrészt az arra nem jogosult személyek általi használatot, másrészt a sugárforrás ellenőrzés nélküli eltávolítását a munkatartóból.

Ez a konstrukciós ellenőrzés kötelező a munkatartóra, a távműködtető egységre és a sugárforrás-irányító egységre vonatkozóan egyaránt. A sikeres konstrukciós ellenőrzés azt igazolja, hogy a biztonsági óvintézkedések elegendőek a lehetséges véletlen események, valamint a normál működés közbeni igénybevétel tekintetében.

3.60. ábra. P2 típusú, Se75 munkatartó



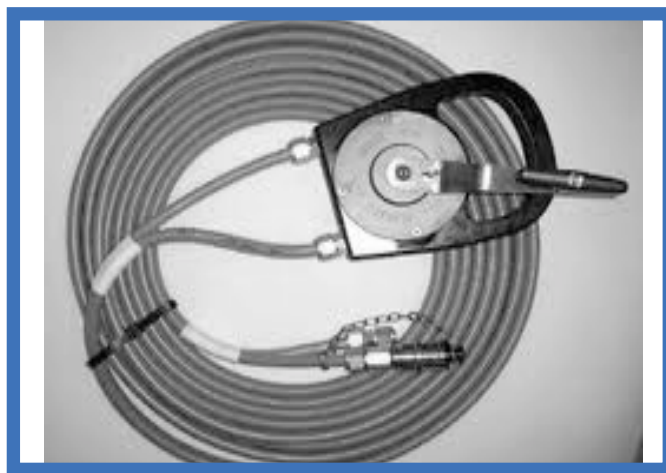
Közúti forgalomban történő szállítás esetén, a munkatartót A- vagy B-típusú konténerként kell engedélyeztetni, a veszélyes anyagok (ADR 7-es kategória) szállítására vonatkozó nemzetközi előírások szerint.

A B-típusú konténereknek el kell viselniük a közlekedési balesetek során előforduló mechanikai igénybevételt és hőhatást; megnövekedett környezeti sugárdózis értékek ilyenkor sem megengedettek.

#### 3.6.4 Távműködtető, kivezérlő egység

A sugárforrásnak a munkatartóból a kívánt helyre történő mozgatására a távműködtető, kivezérlő egység használatos (lásd 3.61. ábra).

3.61. ábra. Gammamat távműködtető egység



Ez az egység a kivezérlő bowdent, a kivezérlő csövet és a kivezérlő kereket foglalja magában. Ez egy tartórendszer segítségével erősen hozzá van rögzítve a sugárforrástartó egység fémgolyójának a fészkehez (lásd 3.62. ábrát). A sugárforrás kivezérlése manuálisan, pneumatikusan vagy elektromosan működtethető.

3.62. ábra. Távműködtető egység sugárforrástartója és fémgolyója



#### 3.6.5 Kivezető csövek (gégecső)

Ezek acélhuzallal megerősített, flexibilis gumicsövek. A legtöbb berendezés három csatlakoztatható gégecsővel rendelkezik, bár általában csak egy vagy kettő használatos. Amikor egynél több csatlakozót használunk, akkor egyiket a másik után kell összeszerelni, az egyiknek a végét a másikhoz rögzítve. A sugárforrás oldalon minden esetben egy fém védőcsőben (golyós vég) végződő vaktömlőt kell elhelyezni.

### 3.6.6 Tartozékok

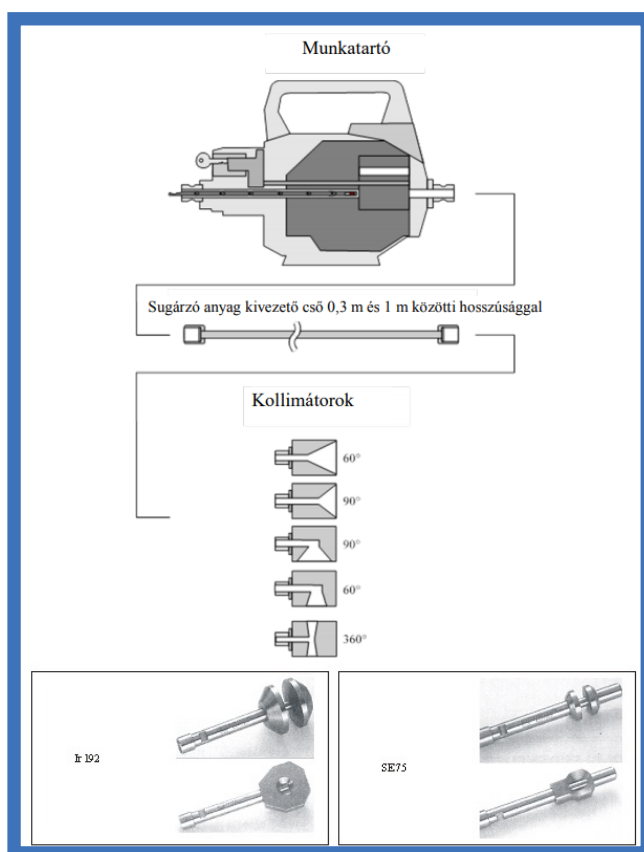
A tartozékok a következők: takarólemezek, kollimátorok és központosító, pozicionáló szerszámok. A kollimátoroknak különböző kivitelben kell rendelkezésre állniuk, az adott besugárzási feltételeknek megfelelően.

A kollimátorok árnyékolási hatékonysága az anyagtól és méretüktől függ; normál esetben urán vagy volfrám használatos.

Ezen túlmenően, a radiográfiai felvételek készítéséhez ólomárnyékolásokra is szükség van, egyrészt a visszaszóródott sugárzás árnyékolása céljából, másrészt a berendezés használaton kívüli állapotában a sugárzás minimalizálása érdekében. Továbbá, sugárforrás-pozicionáló egységek is szükségesek a besugárzás során szükséges geometria vagy alakzat biztosítása érdekében: ragasztószalagok, elasztikus szalagok és minden egyéb olyan elem, ami a filmeknek az adott elemre való rögzítéséhez használatos a radiográfiai felvételek készítése során.

Nem letörölhető jelzések készítését biztosító eszközökre is szükség van, melyek segítségével a vizsgálati mintadarabon bejelölhető a film helye és így, szükség esetén, biztosítható a vizsgálat reprodukálása.

3.63. ábra. Tartozékok





### 3.6.7 A gammasugár-forrással működő berendezések használata

Bármiféle működtetést megelőzően, ellenőrizni kell a berendezések biztonságos működőképességét, mind a vizsgálatban résztvevő személyzet szempontjából, mind a közelben tartózkodók vonatkozásában.

A berendezésen kell lennie egy biztonsági zárnak, amely lehetővé teszi minden olyan művelet végrehajtását, amivel megelőzhető, hogy nemkívánatos sugárzás-kibocsátás történjen a berendezés belsejében elhelyezett radioaktív sugárforrásból.

A kivezető gégecsövet és a távműködtető egységet ebben a sorrendben kell összeállítani. A kollimátort a gégecső végéhez kell erősíteni. A sugárforrás véletlen kicsúszása esetén, az a berendezés elülső részén keresztül fog kijutni. Ezért fontos ügyelni arra, hogy először a kivezető gégecsövet kell beszerezni és csak azt követően a távműködtető egységet.

Ezt követően megtörténik a berendezés kireteszelése (a biztonsági zár feloldása) és működési üzemmódba állítása, amikor a távműködtető egység a besugárzási mód pozícióba – azaz kivezető gégecső végéhez – tolja a sugárforrást.

A besugárzást követően, a sugárforrás visszahúzásra kerül a munkatartóba, az eredeti helyére. Ennek megtörténtét meg kell erősíteni egy sugárzásmérő vagy dózisteljesítmény mérő segítségével, mellyel ellenőrizni kell a dózisteljesítmény értékét.

A besugárzás befejezését követően, a berendezést reteszelt állapotba kell hozni. A vizsgálatok befejezése után szét kell szerelni a csatlakoztatott eszközöket és a berendezést a következő használatig lezárt/elzárt állapotban kell tartani.

A megfelelő karbantartás és ellenőrzés érdekében, az összes komponens egyértelműen és maradandó módon azonosítani kell.

A berendezést el kell látni olyan kulccsal vagy biztonsági zárral, amely megakadályozza, hogy a használaton kívüli időszakban hozzá lehessen férni a radioaktív sugárforráshoz.

### 3.6.8 Karbantartás

A gammasugaras berendezések esetében jóval több a használatból eredő működési hiba, mint a röntgensugaras berendezéseknél. Ebből következően fontos, hogy a karbantartásuk rendszeresen megtörténjen. A karbantartási intézkedéseket a gyártónak vagy megbízottjának és a felhasználónak egyaránt meg kell tennie.

A berendezés gyártója köteles elvégezni a radioaktív berendezés üzemeltetési programjában rögzített karbantartási munkákat, beleértve az összes szóba jöhető cserealkatrész biztosítását is (a típusengedély szerint). Az összes gammasugaras berendezést – beleértve az összes alkatrészt is – egy ellenőrző szervezet által kijelölt szakembernek kell megvizsgálnia. A bejelentett ellenőrző szervezetek listája a típusengedélyben szerepel.



3.64. ábra. Méretellenőrző idomszer (Gammamat)



Egy speciális méretellenőrző idomszer segítségével – „megy-nem megy” idomszer – ellenőrzéssorozatot kell végezni a távműködtető és a sugárforrás-rögzítő egységek megfelelőségének igazolására. Ha a különböző rögzítőeszközökön az idomszer használatával meghatározott hézagok mérete (pl. kopás következtében) szélesebb, mint a megengedett, akkor az adott berendezés üzemeltetése nem engedélyezett, és a gyártónak meg kell javítania, vagy ki kell cserélnie azt.

#### 3.6.9 Hibaforrások

A szakszerűtlen kezelés, a nem elégséges mértékű vagy az elmaradt karbantartás is hibaforrás lehet. Példák a hibaforrásokra:

- ◆ A sugárforrás mérete és aktivitása.  
A gyártó nem megfelelő aktivitást biztosított: aktivitásellenőrzés dózisteljesítmény-mérővel; a sugárforrásméret ellenőrzése röntgenfelvétel segítségével.
- ◆ A sugárforrás kapszula hibája.  
Radioaktívanyag-kibocsátás történhet abban az esetben, ha a besugárzást követően a sugárforrás nem megfelelő módon kerül visszahelyezésre a munkatartóba és a tartót emiatt csak erőltetve lehet bezárni, ami a sugárforrás kopásához vagy deformációjához vezet.
- ◆ Nem megfelelő kapcsolat a sugárforrás és a sugárforrástartó egység között. Ez korrózió vagy erőltetett, durva kezelés miatt fordulhat elő.
- ◆ Sugárforrástartó egység kapcsoló elemeinek hibája.  
A sugárforrás-csatlakozóelemeket tartó csuklópántok korrózió vagy túlzott mértékű, hosszú idejű igénybevétel következtében megrongálódhatnak. Következésképpen, a sugárforrástartó egységet minden egyes sugárforráscsere alkalmával ellenőrizni kell.
- ◆ Biztonsági rugó.  
A távműködtető egység felőli oldalon található rugó arra szolgál, hogy megakadályozza a sugárforrástartó egységnek és a sugárforrásnak a munkatartóból történ kicsúszását abban az esetben, amikor a távműködtető egység nincs csatlakoztatva. Korrózió és/vagy kopás esetén előfordulhat, hogy a rugó nem tudja visszatartani a sugárforrástartó egységet és a sugárforrástartó egység dugója idővel kieshet a tartóból.



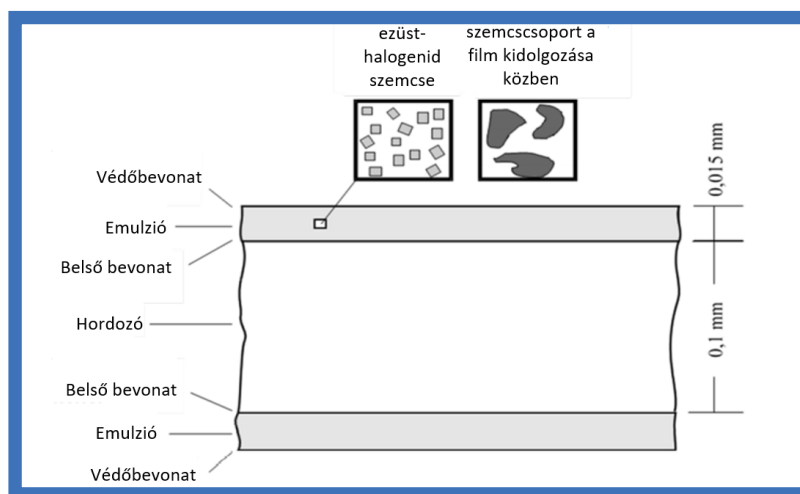
- ◆ A sugárforrástartó egység és a távműködtető egység közötti kapcsolat.  
Előfordulhat, hogy a sugárforrástartó egységen található fészek annyira kikopik, hogy a távműködtető egységen levő rögzítőelem egy egyszerű mozgítás során is ki tud csúszni a fészekből. Ugyanilyen működési hiba fordulhat elő a távműködtető egység rögzítőelemének korróziója/deformációja következtében is.
- ◆ A kivezélő bowden és a hozzá közvetlenül kapcsolódó elem közötti kötés.  
Különös figyelmet kell szentelni az ezen a részen jelentkező kezdődő repedésekre, mivel ez a rész szinte állandó jelleggel változó mértékű nyomó és húzó igénybevételnek van kitéve.
- ◆ Kivezető gégecsővek.  
Az összenyomott és deformált gégecsővek és/vagy a túlságosan kicsi gégecső-hajlítási sugarak (törések) akadályozhatják a sugárforrástartó egység mozgását. A hibás gégecsőveket ki kell cserélni.
- ◆ A kollimátor, a kivezető gégecső és a távműködtető egység közötti kapcsolat.  
Az összes kapcsolóelemet nagy körültekintéssel kell kezelni, mivel ellenkező esetben nem biztonságos az üzemeltetés.

### 3.7 FILMEK ÉS ERŐSÍTŐ FÓLIÁK

#### 3.7.1 A radiográfiai filmek felépítése

A radiográfiai film lényegében az ionizáló sugárzásra érzékeny emulzió (fényérzékeny réteg) hordozója. Az emulziót ezüst-halogenidek alkotják, melyek a sugárzással való kölcsönhatáskor érzékennyé válnak, és ennek eredményeként a filmkidolgozás során (konkrétan az előhívó folyadékban) kitüntetett feketedési pontokká változnak. Más szavakkal: a radiográfiai film feladata a fényre, valamint röntgen- és gammasugárzásokra érzékeny fotoemulziós réteg hordozása és védelme. Ezért a filmet az említett feladat teljesítését biztosító különböző komponensek alkotják.

3.65. ábra. Filmrétegek



Egy ipari radiográfiai film hét rétegből áll (lásd a 3.65. ábrát):

- ◆ egy tartó vagy poliszterhordozó, mint a fotoemulziós réteg hordozója mindkét oldalon
- ◆ két ragadós réteg a fotoemulzió hordozásához
- ◆ két emulziós réteg, beleértve:
  - ◇ a zselatint
  - ◇ az ezüst-halogenid (normál esetben ezüstbromid) szemcséket
  - ◇ a fénykép kidolgozásához szükséges adalékanyagokat és
  - ◇ két kemény zselatin fedő-védő réteget.

Amikor egy tárgyat sugárzás ér, és annak képe rávetül egy filmre, akkor a film azon helyei módosulnak, amelyek elegendő mennyiségű sugárzást kapnak. Ezek a helyek fényérzékennyé válnak, és a filmkidolgozási folyamat során – különösen az előhívó folyadékban – kitüntetett feketedési pontokká (ezüst oxidáció) alakulnak át.

Ily módon első lépésben egy teljes kép keletkezik, bár a sugárzásnak való kitettség során ez még nem látható a fényérzékeny emulzióban. Ezt a képtípust látens képnek nevezik.

### 3.7.2. A fotografikus folyamat

Figyelembe véve, hogy máskülönben a látens kép homályos lenne, a sötétkamrában történő filmkidolgozás különböző fürdőoldatokban kerül végrehajtásra:

- ◆ **Előhívó:** a sugárzás által érintett területek kitüntetett feketedését előidéző folyadék. Minél nagyobb a feketedés, annál nagyobb a film által elnyelt sugárzás. Miután az előhívási idő letelt (ez több tényezőtől függ, úgymint, hőmérséklet, oldatkoncentráció, automatikus vagy manuális előhívás), egy utófürdő – ecetsav vizes oldata – kerül alkalmazásra, melynek hatására az előhívó működése hirtelen leáll.
- ◆ **Fixáló oldat:** A közbenső fürdőoldatos kezelés befejezését követően, a filmet a fixáló folyadékba kell meríteni, amely feloldja azokat az ezüst sókat, amelyek vagy megvilágítatlanok (exponálatlanok) vagy nem léptek reakcióba az előhívó oldattal és megkeményíti a legfelső zselatint az emulzió leválásának megakadályozása érdekében.
- ◆ A film vízzel történő lemosása annak biztosítása érdekében, hogy a lemezen egyáltalán ne maradjanak a fixálóból származó kémiai anyagok. Ezt követi a film szárítása.

Ahogy az a korábbiakban már említésre került, a radiográfiai film fényérzékeny vagy sugárzásérzékeny része (az emulzió) ezüst-halogenidekből készül. Az expozíciót követően, a filmkidolgozás során – és különösen az előhívás során – a sugárzás által érintett területek kitüntetett módon kifeeketednek azokhoz a területekhez képest, amelyeket nem ért a sugárzás. Valójában, minél nagyobb az adott helyet érő sugárzás mértéke, annál nagyobb a kitüntetett feketedés is.

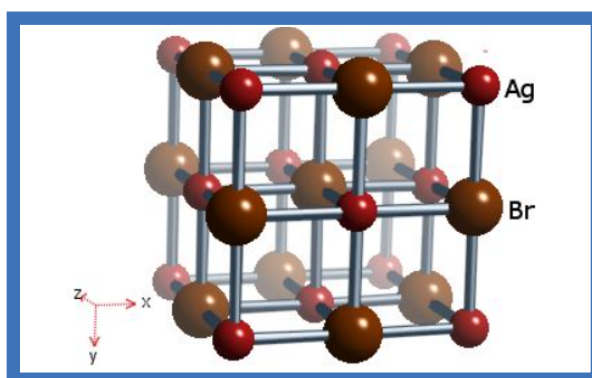


Gurney és Mott 1938-ban kidolgozott elmélete tesz kísérletet ennek a ténynek a megmagyarázására. Az elmélet azt rögzíti, hogy csak a sugárzást elnyelő ezüst-halogenid szemcsék válnak fényérzékennyé a lebomlásra, (oxidálódott) feketeezüstöt kibocsátva a szemcsék feloldódásakor. Ezen elmélet szerint, a folyamatnak két lényeges eleme van:

- ◆ az interstíciós ezüstionok,
- ◆ a szemcsefelületben izolált szennyeződések – úgymint fényérzékenyítési központok.

Az ezüstbromid kristályok térközepes köbös rácsszerkezetűek, az alábbi ábrán látható módon:

3.66. ábra. Az ezüstbromid térközepes köbös szerkezete

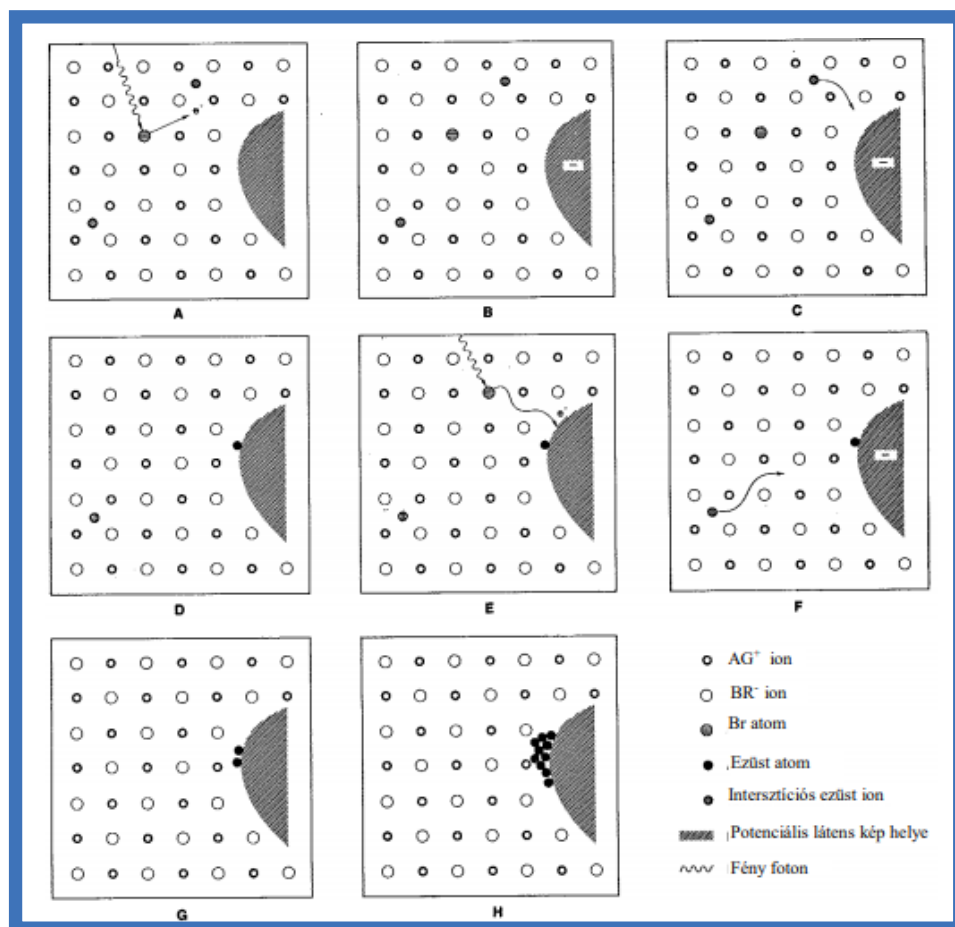


Azonban néhány  $\text{Ag}^+$  ion nincs a csomópontokban, azaz nincs a helyén, megzavarva a kristály szabályosságát. Ha egy röntgensugár-foton keresztülhalad egy AgBr szemcsén, akkor az őt alkotó atomok néhány elektronját átadja az adott szemcsének, kellő energiát biztosítva ezáltal számára ahhoz, hogy elérjen egy kristályvezetési sávot és addig mozogjon, amíg a felületi szennyeződések be nem fogják.

A szennyeződések negatív töltésűek és ezüst interstíciós ionvonzó központokká válnak. Ahogy ezek az ionok elérik a szennyeződést, semlegesítik a saját töltésüket az ott felhalmozott elektronokkal és átalakulnak feketeezüstsé. Ezt a folyamatot megismételve, a szemcsefelszínen nagyon kicsi fémes ezüstitárolók tudnak kialakulni. Ezek a fémes ezüst-rezervoárok azok a gócok, amelyeken keresztül az előhívási folyamat megkezdődik.

Az interstíciós ezüst kis – vagy nem létező – mennyisége miatt manapság az az elképzelés vált elfogadottá, hogy az ionok – a sugárzás hatására a kristályon keresztülhaladó – pozitív „lyukakban” való befogás révén jönnek létre.

3.67. ábra. A fotografikus folyamat



### 3.7.3 Az optikai feketedés

Ahogy azt már az előző pontban láthattuk, egy sugárzásnak kitett filmben az előhívó aktivitására érzékenyített szemcsefeketedés keletkezik. Az előhívó aktivitása a sugárdózistól függ. Ebből adódóan – a kidolgozás után – a kevesebb sugárzást kapó helyekhez képest nagyobb feketedési szint jelentkezik azokon a helyeken, ahol a sugárzás magasabb mennyiséget ért el.

Amikor átláthatósági szempontból nézzük az adott filmet, akkor a filmen keresztül nagyobb vagy kisebb fénysűrűség-csökkenés figyelhető meg (lásd 3.68. ábra).

Az optikai feketedés, definíció szerint:

$$D = \lg \frac{L_0}{L_F}$$

ahol

- ◆  $D$  = optikai feketedés (feketedés).
- ◆  $L_0$  = fénysűrűség  $\text{cd/m}^2$ -ben áthaladás előtt (a fényforrás felőli oldalon).
- ◆  $L_F$  = fénysűrűség  $\text{cd/m}^2$ -ben áthaladás után (a film ellenkező oldalán).

Például a  $D = 1$  optikai feketedés 10/1 fénysűrűség aránynak felel meg.



Az értékeléshez a minimális fénysűrűségnek  $30 \text{ cd/m}^2$ -nek ( $D < 2,5$ ) vagy  $10 \text{ cd/m}^2$ -nek ( $D > 2,5$ ) kell lennie annak érdekében, hogy az emberi szem tisztán fel tudja ismerni a kép lényeges részleteit (MSZ EN 25580 szerint).

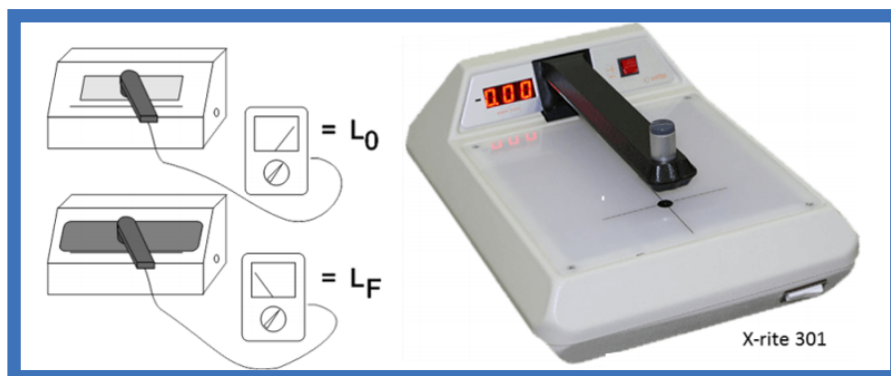
Ha egy  $D = 4$  optikai feketedésű filmet kell kiértékelni, akkor a filmet megvilágító egységnek (az értékelő lámpának) legalább  $L_0 = 100.000 \text{ cd/cm}^2$  fénysűrűséget kell biztosítania (legalább  $10 \text{ cd/m}^2$  fénysűrűségnek kell rendelkezésre állnia az értékelő részére).

### 3.7.4 Az optikai feketedés mérése

Az optikai feketedés meghatározásához két külön mérést kell végrehajtani: egyet a beállítási érték vagy a nulla méréséhez film nélkül, egy másikat pedig a filmmel együtt.

- ◆  $L_0$  – nulla mérése – beállítás film nélkül
- ◆  $L_F$  – filmmel

3.68. ábra. Optikai feketedés mérése értékelő lámpával és saját megvilágítással rendelkező feketedésmérővel



A mérések elvégezhetők saját megvilágítással rendelkező feketedésmérőkkel vagy értékelő lámpával. Az utóbbi esetben figyelembe kell venni azt, hogy az  $L_0$ -értékek a gyakorlatban inhomogén eloszlásúak a lámpa által megvilágított területen. Következésképpen, az  $L_F$ - és  $L_0$ -értékeket ugyanazon a helyen kell meghatározni. Ezen túlmenően – a mérés helyességének biztosítása érdekében – a feketedésmérőket rendszeres felügyeleti ciklusokban kell tesztelni hitelesített szabványos filmekkel (fénybeállítás vagy feketedés minta).

### Kontraszt

Egy radiográfiai kép kontrasztját (vagy a radiográfiai kontrasztot) a kép optikai feketedései közötti különbség határozza meg, ami egy feketedésmérővel mérhető:

$$\Delta D = D_2 - D_1 \quad (D_2 \geq D_1)$$



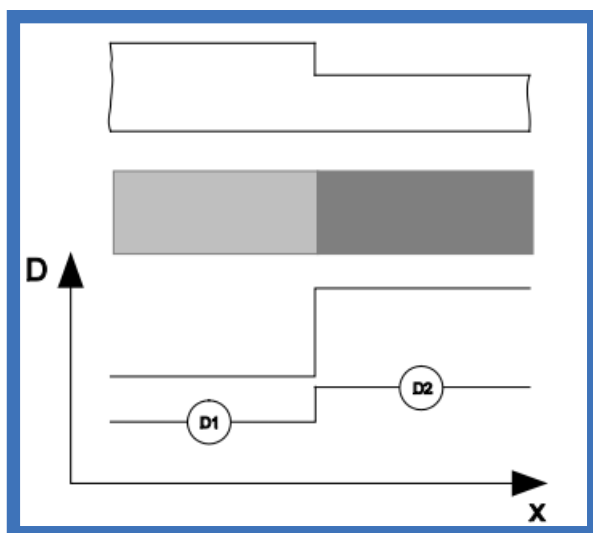
A kontraszt, az élesség és a szemcsézettség (ami a radiográfiai film szemcseméretéhez kapcsolódik) együtt azok a paraméterek, amelyek meghatározzák egy radiográfiai kép teljes minőségét.

A radiográfiai kép kontrasztját az alábbi tényezők befolyásolják

- ◆ az ellenőrizendő munkadarab különböző felületei közötti vastagságkülönbség,
- ◆ a használt sugárzás minősége (energiája és áthatoló képessége),
- ◆ a szórt sugárzás,
- ◆ a használt filmtípus,
- ◆ a filmelőhívási szint,
- ◆ a megfigyelő és a használt képmegjelenítő eszközök.

Az 5. fejezetben kerül részletes ismertetésre az, hogy a kontraszt hogyan függ az egyes fenti tényezőktől a képminőség vonatkozásában.

3.69. ábra. A kontraszt



### 3.7.6 A filmek tulajdonságai

A filmek tulajdonságai azokat a jellemzőket foglalják magukban, amelyek közvetlen vagy közvetett módon meghatározzák a kép minőségét.

A közvetlen tulajdonságok az alábbiak:

- ◆ filmgradiens,
- ◆ szemcséfinomság,
- ◆ gradiens/zaj arány,
- ◆ érzékenység.





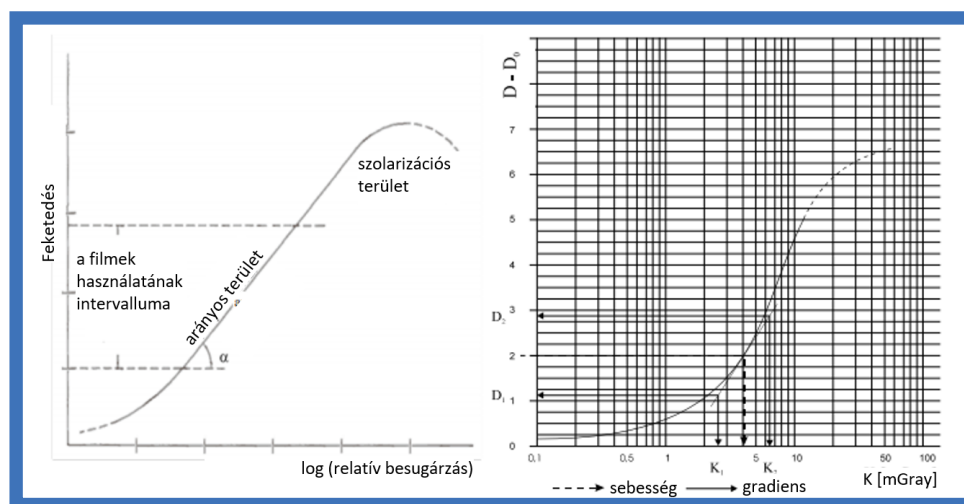
Ezen túlmenően, nem szabad alulbecsülni a közvetett módon befolyásoló paraméterek hatását sem, úgymint:

- ◆ a kidolgozás ismételhetősége, legyen az akár manuális, akár automatikus,
- ◆ az állandó érzékenység, azaz a filmgyártási eljárás biztosítsa azt, hogy a végleges radiográfiai eredmények legyenek azonosak,
  - ◇ a film egyes területen belül,
  - ◇ a különböző filmtételek között,
  - ◇ a hasonló emulziók között.

### 3.7.7 Jelleggörbe

A besugárzás erőssége (a film egyes oldalain elnyelt dózis) és az ezáltal elérhető optikai feketedés közötti kapcsolatot a gradációs görbe vagy H-D görbe mutatja. Ezeket a jelleggörbéket a gyártó szállítja. Mivel az optikai feketedés a definíció szerint egy logaritmikus érték, így a filmdózist rendszerint egy logaritmikus skálán is – vagy a besugárzási dózisok vagy sugárterhelések dimenzió nélküli arányaként is – ábrázolják.

3.70. ábra. Jelleggörbe



Megfigyelhető, hogy a besugárzás és a feketedés között nincs lineáris kapcsolat. A görbe alsó területét „lábnak” vagy „saroknak” nevezik. A középső, egyenes vonalú szakaszt arányos területnek nevezik, itt a feketedés lineárisan viselkedik a besugárzáshoz viszonyítva. A felső részt „vállrésznek” nevezik. A görbe ezen utolsó szakaszában – ahol a feketedés eléri a maximumát – megfigyelhető, hogy bár a besugárzás nő, a feketedés mégis csökken. Ez a terület a „szolarizációs terület” nevet viseli.

## 3.7.8 Gradiens

A gradiens (G) a jelleggörbe ( $\alpha$ ) meredekségére vonatkozó érték, a meghatározott optikai feketedés (D) egy adott pontjában. A gradiens (G) egy adott jelleggörbe  $dD/dK$  meredeksége alapján kerül kiszámításra.

$$G = \frac{dD}{d \log_{10} K} = \frac{K}{\log_{10} e} \cdot \frac{dD}{dK} = \frac{D_2 - D_1}{\log \frac{K_2}{K_1}}$$

ahol

- ◆ D = optikai feketedés,
- ◆ K = a (D - D<sub>0</sub>) feketedéshez szükséges dózis (mgray-ben),
- ◆ D<sub>0</sub> = egy kidolgozott, nem exponált film mért optikai feketedése, beleértve a tartót is (háttér fátyolosodás és tartó feketedés).

Mivel a gradiens az optikai feketedéstől függ, így lokális gradiensként kell meghatározni a megfelelő feketedés értékekre.

3.10. táblázat. Gradiens, zaj-gradiens-arány és szemcséesség határértékek  
(MSZ EN ISO 11699-1, 1. táblázat)

| Film rendszer osztály | Minimális gradiens          |                             | Minimális zaj-gradiens-arány (G/σ <sub>D</sub> ) <sub>min</sub><br>D = 2 D <sub>0</sub> felett | Maximális szemcséesség σ <sub>D</sub><br>D = 2 D <sub>0</sub> felett |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                       | D = 2 D <sub>0</sub> felett | D = 4 D <sub>0</sub> felett |                                                                                                |                                                                      |
| C1                    | 4,5                         | 7,5                         | 300                                                                                            | 0,018                                                                |
| C2                    | 4,3                         | 7,4                         | 230                                                                                            | 0,020                                                                |
| C3                    | 4,1                         | 6,8                         | 180                                                                                            | 0,023                                                                |
| C4                    | 4,1                         | 6,8                         | 150                                                                                            | 0,028                                                                |
| C5                    | 3,8                         | 6,4                         | 120                                                                                            | 0,032                                                                |
| C6                    | 3,5                         | 5,0                         | 100                                                                                            | 0,039                                                                |

Ahogy az a fentiekben már rögzítésre került, a gradiens – a film vonatkozásában – a dóziskülönbségek optikaifeketedés-különbségekké történő konverziójára jellemző érték.

Ha megnézünk egy jelleggörbét, akkor megfigyelhető, hogy a meredekség az arányos területen történő stabilizálódásig növekszik – ez a maximális meredekségű terület. Ezért a kontraszt nagy.

A gradiens jellemzésén túlmenően, a jelleggörbe információt nyújt a különböző filmtípusok relatív érzékenysége vonatkozóan is. Továbbá, a jelleggörbe segítségével a dózisok és/vagy besugárzási időtartamok különbségei hozzárendelhetők az optikai feketedések különbségeihez és fordítva.

Az erős kontraszt nagyobb feketedést eredményez, vagy az erős kontraszt révén jobban lehet detektálni a kis folytonossági hiányokat. Az anyagot érintő, említett kis változások kis különbséget ered-



ményeznek a film által elnyelt besugárzásban, melynek révén – mivel ezek egy nagy meredekségű területen jönnek létre – a folytonossági hiány detektálásához elegendő feketedés különbség generálódik. Az előző bekezdésben ismertetett információk következménye – gyakorlati célok miatt – annak a minimális (és maximális) optikai feketedésnek a meghatározása, amit a radiográfiai filmeknek teljesíteniük kell a kidolgozásukat követően. Ez a feketedés-tartomány az ipari radiográfiai vizsgálatok alapelveit rögzítő különböző szabványokban és szabályzatokban kerül meghatározásra.

### 3.7.9 Szemcsésség

Ahogy az már ismertetésre került, az előhívott film szemcsecsoportjai csökkentik a filmen keresztül haladó fény sűrűségét. Egy többé-kevésbé kicsi – véges számú szemcsét magában foglaló – felület mérésére kerül sor, valamint azon szemcsék közötti térközök mérésére, amelyek egy egységes és folyamatos felületként fognak viselkedni. Ugyanakkor, ha egy nagyobb felbontású műszerrel történik a mérés, például egy 0,1 mm-es lencsenyílású mikro-feketedésmérővel, akkor véletlenszerű, sztochasztikus – a szemcsecsoport-méret és -eloszlás által meghatározott – optikai feketedés-változások figyelhetők meg. Ez egy söréthatást eredményez, ami végső fokon kis feketedéscsúcsokat okoz a vizsgálati területen levő kimutathatatlan tárgyak miatt.

Ez a filmek azon jellemzője, amely erősen befolyásolja a részletek felismerhetőségét; a neve szemcsésség, és definíció szerint az előhívott filmek sztochasztikus feketedés-változását jelenti, ami hozzáadódik a detektálandó tárgy képéhez. A szemcsésség, a gradienshez hasonlóan, az optikai feketedéstől függ. Rendszerint a következőképpen kerül kifejezésre:  $D = 2, D_0$  felett.

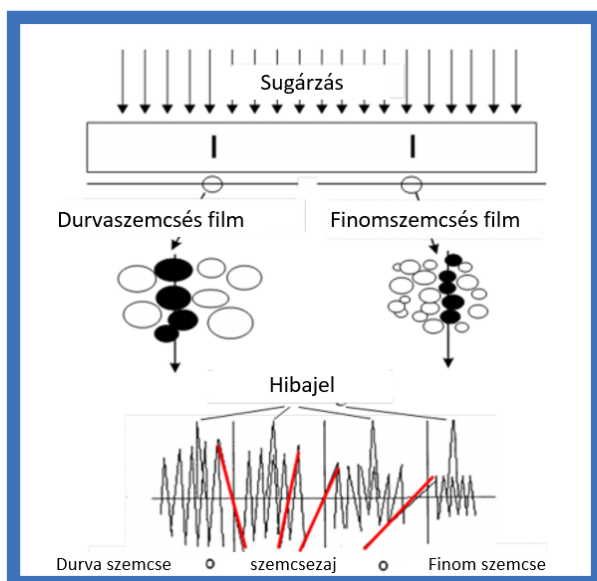
Amikor nő a film sugárzással szembeni érzékenysége (nagyobb szemcseméret) és a sugárzási energia (a gyakorlatban 250 kV-ig), akkor a film szemcséssége növekszik. Ugyancsak a szemcsésség növekedését eredményezi az előhívási idő és hőmérséklet növelése.

Egy adott folytonossági hiány – vagy az adott tárgyméret – detektálására alkalmas film kiválasztásához minden esetben egyensúlyra kell törekedni a szemcsésség és az érzékenység között.

A kisméretű anyagfolytonossági hiányok megfelelő detektálhatóságához arra van szükség, hogy az előhívott film szemcséssége kicsi legyen. Ebben az esetben kis kezdeti szemcseméretre és a film optimális kidolgozására van szükség.

Másrészről viszont – a durvaszemcsés filmekhez viszonyítva – a finomszemcsés filmeknek nagyobb szemcseszámra van szükségük a hasonló optikai feketedések eléréséhez, ennél fogva hosszabb besugárzási időtartamot is igényelnek (kisebb érzékenység a sugárzásra).

3.71. ábra. Szemcsésség



Következésképpen kijelenthető, hogy a vizsgálat érzékenysége és – ebből adódóan – a kis hibák detektálási képessége annál nagyobb, minél kisebb a radiográfiai film kezdeti szemcsemérete – azaz ezek a gyenge sugárzásra érzékeny filmek. Ezzel szemben, a kezdeti durva szemcseméretű filmek az erős sugárzásra érzékenyek; a finomszemcsés filmhez képest itt kisebb a besugárzási idő, bár a radiográfiai film élességének szemcsésség miatti hiánya (ld. a belső élettenség fogalma, ami később kerül részletesebb ismertetésre) nagyobb lesz és ennél fogva érzékenységvesztés lép fel.

A filmkidolgozási feltételek módosítása az elért végleges érzékenység javulásához vagy romlásához vezethet, vagy kevésbé észrevehető részleteket eredményezhet, mivel egy ilyen módosítás megváltoztathatja a látszólagos szemcseméretet, a feketedést és a kontrasztot. Ezen túlmenően, az említett módosítás a jelleggörbe-merevedés, vagy gradiens, változásaihoz vezethet.

#### 3.7.10 Gradiens–zaj-arány

Ez a gradiens ( $G$ ), ami a kontrasztot határozza meg, és a szemcsésség ( $\sigma_D$ ) hányadosa. Ebből adódóan, a film minősége akkor jó, ha a gradiens nagy és a szemcsésség kicsi, mert ebben az esetben a film kontrasztja és élessége is jó lesz (jó radiográfiai érzékenység).

#### 3.7.11 ISO-érzékenység

Ez a reciproka annak a  $K_s$  (gray-ben mért) dózisnak, amely a kidolgozott film fajlagos feketedését ( $D$ ) adja meg:

$$S = 1 / K_s$$



Az ISO-érzékenység (S) egy  $D-D_0 = 2$  diffúz optikai feketedésre van meghatározva, beleértve az alapfátyolt is. Másképpen fogalmazva: S annak a grayben mért dózisnak a reciproka, mely az adott filmfajta  $D = 2$  feketedéséhez szükséges. Az ISO-érzékenységet az MSZ EN ISO 11699-1-ben található 2. táblázatban rögzített értékek szerint kell jelölni.

Az érzékenység alkalmazásához a relatív besugárzási tényezőket kell figyelembe venni, melyek alapján egy adott filmnek ugyanolyan szintű feketedési szintet kell elérnie, mint egy másik filmnek. Ez az a sugárdózis melyre az adott filmnek szüksége van a szabványos (D7 Agfa–Gevaert) filmhez viszonyítva.

$$REF_{FilmX} = \frac{K_{D2.0(FilmX)}}{K_{D=2.0(FilmD7)}}$$

Az ISO-érzékenység fogalma szorosan kapcsolódik az érzékenység, illetve a kis hibák detektálhatóságának fogalmához. Ha a radiográfiai film minőségét befolyásoló többi tényező változatlan marad, akkor a nagyobb relatív (feketedési) érzékenységű filmek kisebb hiba-kimutatási érzékenységet eredményeznek egy adott vizsgálat során. A radiográfiai érzékenység és az emulzió érzékenységének fogalmát nem szabad összekeverni. A „sugárzásra erősen érzékeny” emulzió egy gyors emulzió, következésképpen nagy szemcseméret jellemző rá. Ez egy kevésbé érzékeny – vagyis a kisebb folytonossági hiányokat detektálni nem képes – radiográfiát fog eredményezni.

### 3.7.12 Belső élettenség, mint a szemcséség következménye

A sugárzás és az anyag közötti, az előzőekben vizsgált kölcsönhatás azt mutatja, hogy a különböző ionizálási folyamatok révén szabad elektronok keletkeznek – például fotoelektronok vagy Compton-elektronok, és ugyanez történik különböző ezüstbromid szemcsék radiográfiai emulziója során is. A kristályokról levált szabad elektronok energiát adnak át a környező területeknek, amely – ha kellően nagy – ionizációt vagy közvetett párhuzamos besugárzást generál.

Például egy szegély radiográfiai felvételén a feketedés-átmenet nem lesz ugrásszerű; azaz a feltételezettel ellentétben nem egy fehér-fekete vonal jelenik meg, hanem az előbb említett jelenség fogja kifejteni a hatását: azok a területek, amelyeknek nem kellene fényérzékenynek lenniük, azok lesznek, a szomszédos területekről levált, nagy energiával rendelkező elektronok miatt.

Ezen tartomány geometriai méretét belső élettenségnek (ui) nevezzük.

Ezt a jelenséget az adott kép szegélye – vagy más struktúrái – elhalványulásának is nevezik. Ezek az elhalványulások a kontraszt romlásához vezetnek, következésképpen láthatatlanok maradnak vagy a detektálási küszöbérték alatt maradnak.

A belső élettenség növekszik a beeső sugárzási energiával, mivel az nagyobb energiájú szabad elektronokat generál. Továbbá, mivel a belső élettenség mérete nagyobb, mint az adott film szemcsemérete, így csak kis mértékben függ a filmtípustól. Általában igaz az, hogy a belső élettenség értéke nagyobb, mint a szemcse saját mérete.



Másrészről, az erősítőfóliák is befolyásolják a belső élettenségi értékét. Tehát, összességében a fólia–film-kombinációk – beleértve a közöttük levő távolságot is – és az alkalmazott energia határozzák meg a különböző belső élettenségi értékeket.

3.11. táblázat. Belső élettenségi értékek különböző fóliatípusok és sugárzási energiák esetén

|       | Röntgensugárzás |      |            |                            | Gamma-sugárzás |           |      |
|-------|-----------------|------|------------|----------------------------|----------------|-----------|------|
|       | 100–250 kV      |      | 250–420 kV |                            | $Ir_{192}$     | $Co_{60}$ |      |
| Fólia | nincs           | Pb   | Pb         | Fluoreszcens <sup>1)</sup> | Pb             | Pb        | Fe   |
| $u_i$ | 0,08            | 0,13 | 0,15       | 0,30                       | 0,23           | 0,63      | 0,43 |

<sup>1)</sup> nagy felbontás

### 3.7.13 Filmrendszer osztályba sorolása

Az egyes alkalmazási esetekhez megfelelő filmek kiválasztásának előfeltétele annak ismerete, hogy a különböző radiográfiai filmek hogyan vannak osztályba sorolva a radiográfiai minőségüket közvetlenül befolyásoló összes paramétert illetően.

A tényezők összehangolása szempontjából jelentős szerepe van a filmkidolgozás vegytani és technológiai körülményeinek. Az MSZ EN ISO 11699-1 szabvány 6 különböző filmkategóriát határoz meg: C1-től (legmagasabb követelmények) C6-ig (legenyhébb követelmények). Lásd a 3.11. táblázatot.

Ezen osztályba sorolás alapjául az alábbi filmtulajdonságok szolgálnak:

$G_{min,D=2}$  = minimális gradiens,  $D = 2,0 D_0$  felett,

$G_{min,D=4}$  = minimális gradiens,  $D = 4,0 D_0$  felett,

$\sigma D$  = maximális szemcsésség,  $D = 2,0 D_0$  felett,

$G / \sigma_D$  = minimális gradiens/zaj-arány,  $D = 2,0 D_0$  felett.

A határértékeket az MSZ EN ISO 11699-1 szabvány 1. táblázata tartalmazza. A filmrendszerek osztályba sorolásáért a gyártók tartoznak felelősséggel.



3.12. táblázat. ISO-érzékenység meghatározása  $D=2$  filmfeketedésre előírt  $K_s$  dózisból

| $\log_{10} K_s$ |       | ISO érzékenység |
|-----------------|-------|-----------------|
| -tól            | -ig   | $S$<br>Gy       |
| -3,05           | -2,96 | 1 000           |
| -2,95           | -2,86 | 800             |
| -2,85           | -2,76 | 640             |
| -2,75           | -2,66 | 500             |
| -2,65           | -2,56 | 400             |
| -2,55           | -2,46 | 320             |
| -2,45           | -2,36 | 250             |
| -2,35           | -2,26 | 200             |
| -2,25           | -2,16 | 160             |
| -2,15           | -2,06 | 125             |
| -2,05           | -1,96 | 100             |
| -1,95           | -1,86 | 80              |
| -1,85           | -1,76 | 64              |
| -1,75           | -1,66 | 50              |
| -1,65           | -1,56 | 40              |
| -1,55           | -1,46 | 32              |
| -1,45           | -1,36 | 25              |
| -1,35           | -1,26 | 20              |
| -1,25           | -1,16 | 16              |
| -1,15           | -1,06 | 12              |
| -1,05           | -0,96 | 10              |
| -0,95           | -0,86 | 8               |
| -0,85           | -0,76 | 6               |
| -0,75           | -0,66 | 5               |
| -0,65           | -0,56 | 4               |

Általában egy tanúsítvány kerül kiadásra, amely a fent említett táblázat szerinti összes információt tartalmazza, kivéve az érzékenységet, az ISO-érzékenységet és a sugárdózist (MSZ EN ISO 11699-1, 2. táblázat).

A felhasználóknak a szóban forgó osztályba sorolási tanúsítvány komplett és aktuális verzióját kell megkövetelniük.

Abban az esetben, ha a rendszer bármely alkotóelemének (például előhívó, kidolgozási hőmérséklet vagy idő) módosítására kerül sor az adott kategóriához kapcsolódó határértékek teljesítésének megfelelő igazolása nélkül, az adott osztályba sorolás érvényét veszti. A filmkidolgozás ellenőrzése az MSZ EN ISO 11699-2-ben kerül ismertetésre.

### 3.7.14 Másodlagos (szórt) sugárzás és visszaszórás

Amikor egy röntgen- vagy gammasugárnyaláb találkozik az útjában levő céltárggyal, akkor a sugárzás egy része elnyelődik (fotoelektromos hatás), egy része szétszóródik (Rayleigh-szóródás), a többi része pedig keresztülmegy a tárgyon (primer sugárzás, amely nekiütközik a radiográfiai filmnek).

Amikor a sugárzás keresztülhalad egy testen, akkor két alapvető kilépő sugárzás típust kell figyelembe venni: nem módosult primer sugárzás és módosult másodlagos sugárzás a Rayleigh-szóródásból. A másodlagos sugárzást szórt vagy diffúz sugárzásnak is nevezik.

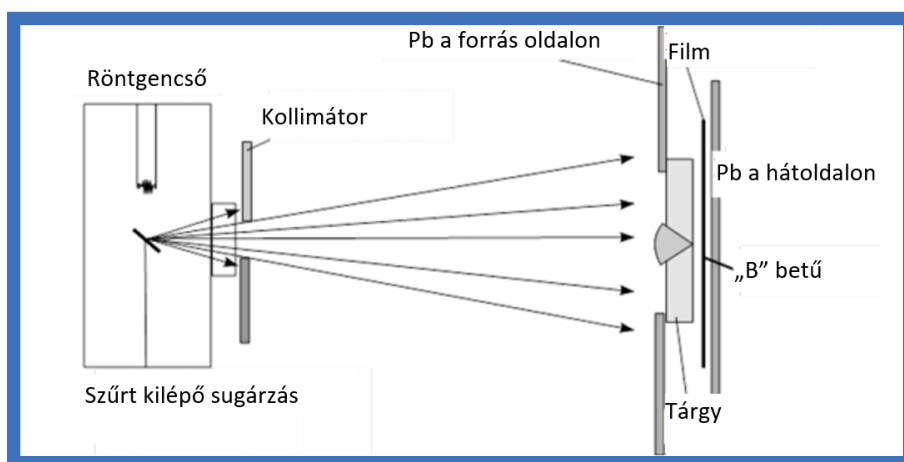
A legtöbb másodlagos sugárzás lágy (kis energiájú) sugárzásnak felel meg és nincs nagy áthatoló képessége, azonban hatása nem elhanyagolható és nemkívánatos.

A szóban forgó másodlagos sugárzás előfordulásának valószínűségét a beeső sugárzás energiájának növelése és a tárgy vastagságának növelése egyaránt növeli, ahogy ez a képminőséggel foglalkozó fejezetben ismertetésre kerül. A másodlagos sugárzás fátýolosodást eredményez a filmen, csökkentve a kontrasztot és a radiográfiai kép élességét.

A röntgensugárral besugárzott tárgy mögötti területen belül elhelyezkedő összes test (tartók, padló, falak, stb.), illetve azok a testek, amelyeket elérhet ez a sugárzás, részben visszaverik a sugárzást, szórt másodlagos sugárzás formájában. Ebben az esetben a szórt sugárzást általában visszaszórásnak vagy visszaszórt sugárzásnak nevezik. A visszaszórt sugárzás jelenlétét úgy lehet ellenőrizni, hogy a film-fólia-egység hátsó oldalára egy „B” ólombetűt rögzítünk.

A nem primer sugárzás hatásának (élesség és kontraszt romlása) minimalizálására fóliák, maszkok, kollimátorok és szűrők használatosak.

3.72. ábra. A másodlagos sugárzás hatásainak minimalizálására használt elemek





### 3.7.15 Felbontás és élesség (geometriai belső életlenség)

A felbontás a képkontúr élességének kifejezésekként vehető figyelembe, azaz a valós kép egy közelítése, amely elméletileg harmonizálna a képgeometriával.

Az élesség a geometriai életlenségtől (félárnyék-hatás) és a belső életlenségtől egyaránt függ. A besugárzás alatti esetleges elmozdulások miatti mozgási életlenséget szintén figyelembe kell venni.

A belső életlenséget a következő tényezők befolyásolják: a film szemcsemérete, a használt fóliák típusa, a sugárzás energiája és az előhívási feltételek. A finom szemcseméretű filmek javítják a kép-felbontást (élességet). A sugárzás növelése esetén, a „szemcse” is nő, ami miatt viszont a felbontás csökken.

A felbontás csökkenésében fontos szerepet játszanak a fluoreszcens fóliák, a filmen levő fóliákban generálódott fluoreszcens sugárzás szórt hatása miatt, ebből adódóan a használatuk az ipari radiográfiában nem javasolt.

### 3.7.16 Az erősítőfóliák hatásai és feladatai

A röntgen- vagy gammasugarak fotografikus hatékonysága a film fényérzékeny rétegében elnyelt sugárzás függvénye. Amikor egy röntgen- vagy gammasugárnyaláb nekiütközik egy filmnek, akkor általában az energia kevesebb, mint 1%-a nyelődik el. A sugárzás többi része mindennemű kölcsönhatás nélkül keresztülmegy a filmen, így kihasználatlan. Az erősítőfóliák (fémek típusúak, ólom vagy acél [Ta, Cu]) elektron-kibocsátás révén javítják a fotografikus folyamat hatékonyságát, mivel az elektron – miután tömeggel rendelkezik – nagyobb valószínűséggel lép kölcsönhatásba a filmmel.

Léteznek sóoldatos vagy fluoreszcens erősítőfóliák is, amelyek esetén a látens kép igen jelentős része a fóliában generálódott fényen keresztül jön létre, amire az emulzió érzékenyebb.

Az erősítőfóliák a film mindkét oldalára elhelyezésre kerülnek. Az előlapon levők (azaz amelyeken a radiográfiai film előtt halad keresztül a sugárzás) javítják az érzékenységet és csökkentik a belső életlenséget. A hátoldalon levők (azaz amelyeken a radiográfiai film után halad keresztül a sugárzás) a film mögött térrészben található tárgyakból érkező visszaszórt sugárzás miatt is szükségesek/használatosak

A belső életlenséget meghatározó tényezők az alábbiak:

- ◆ a fólia típusa:
  - ◇ fluoreszcens fóliák (sóalapú erősítő vagy ritkaföldfém fóliák),
  - ◇ elektron-kibocsátó fóliák (ólom- vagy acélfóliák),
- ◆ fóliavastagság és végső fokon a szemcseméret,
- ◆ sugárzási energia,
- ◆ film/fólia kontaktus.

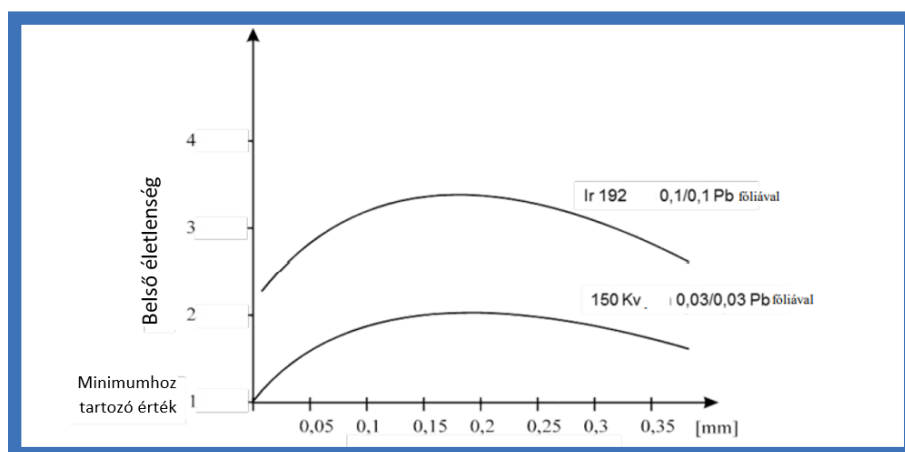
A belső életlenség általában jelentősen csökkenthető vákuumcsomagolással és megfelelő vastagságú, első és hátsó ólomfólia alkalmazásával.



### 3.7.16.1 Ólomfóliák

Az ólomfóliák erősítő hatása a röntgen- vagy gammasugárzással való kölcsönhatás miatti elektron-emisszióknak köszönhető. Az emulzió érzékenyebb az elektronsugárzásra. Ugyanakkor a beeső sugárzás – fóliában történő elnyelődés miatti – gyengülését is figyelembe kell venni. Egy rendkívül vastag fólia képes lenne megakadályozni a film ionizációját, mivel az erősítési hatékonyságot a beeső energia és a fóliavastagság egyaránt meghatározza, ld. 3.74. ábra.

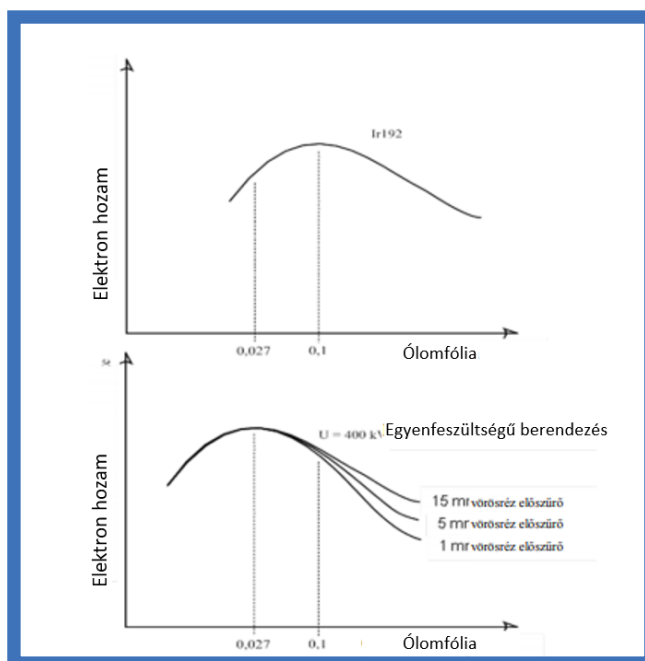
3.73. ábra. Belső életlenség a film–fólia-kontaktus függvényében



A 3.73. ábrából levezethető, hogy a film és a fólia között ajánlatos szoros kontaktust biztosítani, mivel ellenkező esetben az életlenség mértéke növekszik a teljes kontaktus esetén lehetséges minimumhoz képest.

Az 3.74. ábra alapján a vákuumcsomagolás belsejében elhelyezett 0,027 mm-es Pb fóliákkal rendelkező filmnek kisebb lesz a belső életlensége és nagyobb lesz az elektron-kibocsátása, 400 kV-os röntgensugárzás használata esetén, a fólia nélküli, vagy a 0,1 mm-es ólomfóliát tartalmazó kazettához viszonyítva. Ebből következően hatékonyabb lesz ez a megoldás (rövidebb besugárzás) és kisebb lesz a belső életlensége (nagyobb felbontás és nagyobb kontraszt).

3.74. ábra. Elektronhozam az ólomfólia vastagságának függvényében



### 3.7.16.2 Acélfóliák

Nagy beeső sugárzási energiákat alkalmazva – például  $\text{Co}_{60}$  vagy lineáris gyorsítók – az ólom-fóliák szórt sugárzása még erősebb lesz, mivel nagy gyengülési tényezővel rendelkezik (több szóródási folyamat). Ha nagy energiák esetén acélfóliákat alkalmazunk, akkor jobb szűrés érhető el a szórt sugárzás tekintetében.

### 3.7.16.3 Fluoreszcens fóliák (sóalapú fóliák)

A fluoreszcens fóliák alapvetően egy vékony és flexibilis szubsztrátum-hordozóból állnak, melynek a felületén egy fluoreszkáló réteg található (rendszerint kalcium-volfrámát vagy ritkaföldfém vegyületek). Röntgensugarak hatására ezek a fóliák látható fényt bocsátanak ki. A fény intenzitása növekszik a röntgensugár intenzitásával, így az erősítési tényező dózis-teljesítmény függő. Ezen túlmenően, az üzemi hőmérséklet is fontos.

A belső élettenség miatt – ami rontja a képminőséget – a nagymértékben erősítő fóliák csak abban az esetben használatosak, ha a részletek élessége kevésbé fontos, például vasbetonban az acélbetét detektálása és helyének meghatározása során. Ebben az esetben, a rendszerint nagy falvastagság miatt – ami normál helyzetben hosszú besugárzási időtartamokkal járna – indokolt a nagymértékben erősítő fóliák (10–30-szoros erősítés) alkalmazása, ezáltal ugyanis elfogadható értékekre rövidíthető a

vizsgálatok időtartama. Következésképpen mindenképpen nagyobb lesz a belső élettenség, ami megakadályozza a kis folytonossági hiányok – például a repedések – detektálását az acél komponensekben.

#### **3.7.16.4 Fém fluoreszcens fóliák**

Ezek a fóliák bizonyos mértékig kombinálják az ólomfóliák (szórt sugárzás megszűrése) és a fluoreszcens fóliák (nagy erősítési tényező) előnyeit. Ezekben a fóliákban egy ólom- vagy ólom-oxid réteg kerül a tartó és a fluoreszcens réteg közé.



## 4. TERMÉKISMERET

### 4.1 METALLURGIAI ÉS FÉMTANI ALAPISMERETEK

#### 4.1.1 AZ ÉRCEKTŐL A FÉMEKIG

A metallurgia a fémek ércből való kinyerésére szolgáló folyamatok és az átalakításokkal járó fizikai és kémiai változások tanulmányozásának tudománya. Beletartozik az ötvözetek, valamint azok mechanikai alakításainak és hőkezeléseinek tanulmányozása is. A metallurgia kifejezetten vassal és vasötvözetekkel foglalkozó ágát vaskohászatnak hívják.

A nehézfémek, mint például a vas, réz, cink és mások kinyerését négy lépésre lehet bontani:

- ◆ Az ércek dúsítása.
- ◆ Pörkölés.
- ◆ Redukció.
- ◆ Finomítás.

Acél előállításához a nyersvasat egy olvasztókemencében megolvasztják, ócskavasat, vastartalmú ötvözeteket, salakképző adalékot, hőfejlődést és égést elősegítő anyagokat adva hozzá. Ezeket az elemeket a kívánt finomítási eljárásnak megfelelő koncentráumban adagolják.

Az acélgyártás különböző módozatait, a kezdetektől (nagyolvasztók) napjainkig (LD-konverter és elektrokemencék) a 4.1. táblázat foglalja össze.

4.1 táblázat. Az acélgyártás módozatai

| ACÉLGYÁRTÁSI ELJÁRÁSOK       |                                                                |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Finomítás levegővel          | Nagyolvasztók<br>Bessemer (savas)<br>Thomas (bázikus)          |
| Finomítás oxidokkal          | Siemens–Martin kemencék<br>(savas – bázikus)                   |
|                              | LD-konverter                                                   |
| Finomítás elektrokemencékben | Ívkemencék<br>Indukciós kemencék<br>Dupla frekvenciás kemencék |

#### 4.1.2 A FÉMEK SZERKEZETE ÉS RÁCSHIBÁK

A folyékony halmazállapotú fém (tiszt fém vagy ötvözet) megszilárdulása a fém olvadáspontja alatt az olvadékban létrejövő kristálycsírák kialakulásával kezdődik. Ezekhez a csírákhoz újabb atomok kap-



csolódnak, és végül rendezett szerkezetű szemcsékből álló szilárd fém alakul ki. Az atomok (valójában ionok) szabályos térbeli elrendeződését kristályrácsnak nevezik.

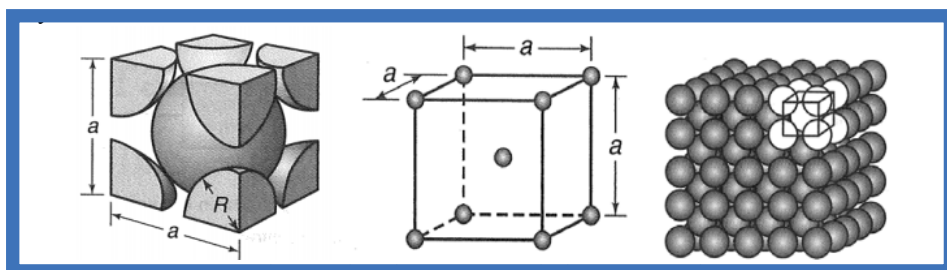
A kristályszemcsék növekedése nem tökéletes, a kristályrácsokban a legtöbb esetben eltérések, kristályhibák keletkeznek.

Az egyetlen csírából növekedett, egységesen rendezett szerkezetű kristályszemcsét egykristálynak nevezik. Speciális körülmények között akár nagyméretű egykristályok is létrejönnek, illetve létrehozhatók. Általában azonban a kristályosodás nagyon sok ponton indul meg a fémolvadékban, és a különböző irányban növekvő kristályok egymást akadályozzák a növekedésben. Így szabálytalan felülettel rendelkező kristályszemcsék, úgynevezett krisztallitok keletkeznek. A sokféle irányítottaságú szemcsékből álló fémot polikristályosnak nevezük. A fémolvadékok, ha csak nincs valamilyen külső behatás (például erősen irányított hőelvonás), mindig így szilárdulnak meg.

#### 4.1.2.1 A FÉMEK SZERKEZETE

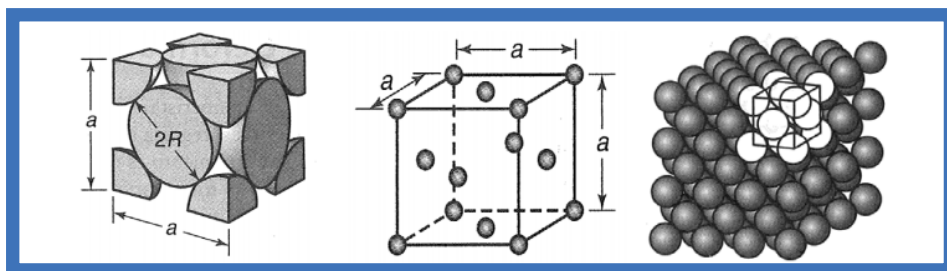
Mint már fent is írtuk, a fémek megszilárdulása során az atomok összerendeződnek és kristályszerkezetek alakulnak ki.

4.1. ábra. Térben középpontos köbös rácsszerkezet



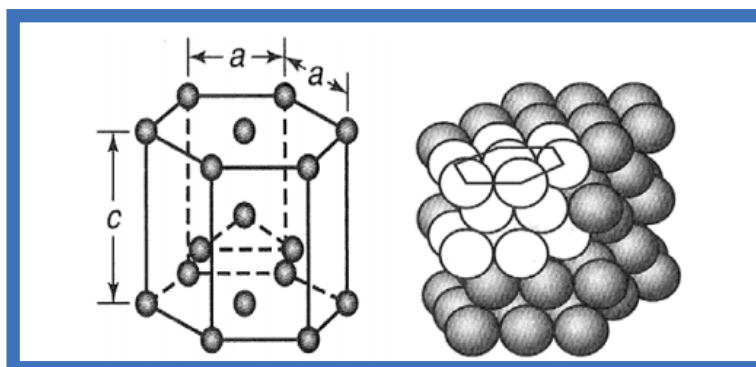
Térben köbös szerkezetű az  $\alpha$ -vas (ferrit), a króm, a molibdén, a volfrám (W), a vanádium (V), stb.

4.2. ábra. Lapközepes köbös rácsszerkezet



Lapközepes köbös rácsszerkezetű fém a  $\gamma$ -vas (ausztenit), a nikkelt, az ólom (Pb), az ezüst (Ag), stb.

4.3. ábra. Szoros illeszkedésű hexagonális rács

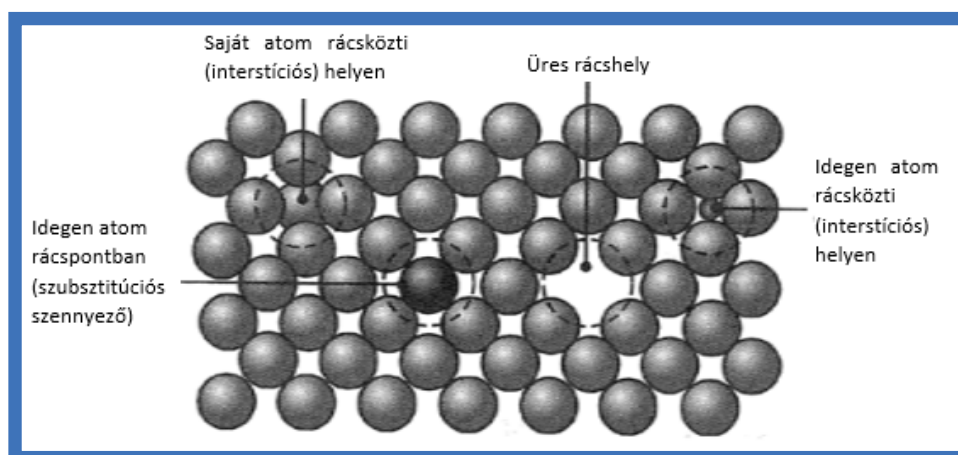


Ilyen rácsszerkezetű fémek a berillium (Be), kadmium (Cd), kobalt (Co), magnézium (Mg), titán (Ti), cink (Zn) és cirkónium (Zr).

#### 4.1.2.2 RÁCSHIBÁK A FÉMEK SZERKEZETÉBEN

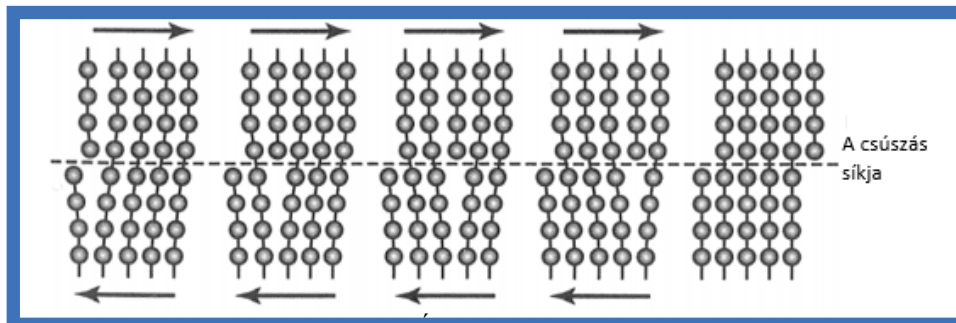
Ponthibák, amelyek a fémet alkotó kristály egyes atomjait érintik:

4.4. ábra. Pontszerű rácshibák



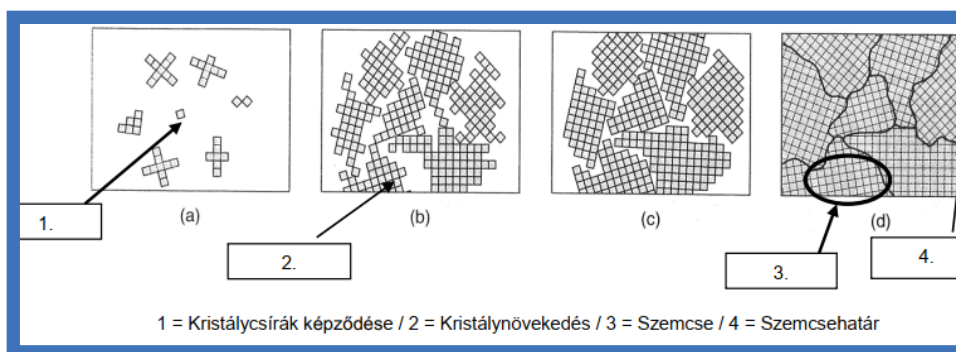
Vonalszerű hibák (diszlokációk):

4.5. ábra. (É)diszlokáció mozgása



Felületi hibák (szemcsék és szemcsehatárok):

4.6. ábra. A fém megszilárdulási folyamata



#### 4.1.3 AZ ANYAGOK MECHANIKAI TULAJDONSÁGAI

A mechanikai jellemzőkkel írható le az, hogy a fémek hogyan viselik el a külső erőhatásokat (húzás, nyomás, csavarás, ütés, fárasztás, stb.), illetve hogyan reagálnak ezekre az erőhatásokra.

##### 4.1.3.1 DEFINÍCIÓK

**Keménység:** Az anyag külső behatolással szembeni ellenállása.

**Ridegedés:** Az alakváltozó-képesség csökkenése. Hidegalakítás hatására egyes fémek keménysége, ridegsége és szilárdsága nő.

**Rugalmasság:** Szilárd anyagok azon tulajdonsága, hogy a rájuk kifejtett erőhatás megszűnését követően visszanyerik eredeti alakjukat és méretüket.





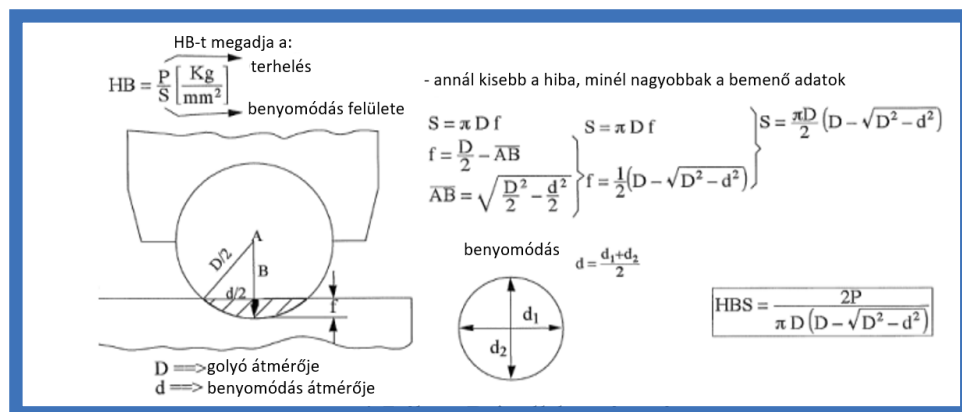
- Képlékenység:** Egyes szilárd anyagok azon képessége, hogy alakjuk az alkalmazott, külső feszültség hatására maradandóan megváltozik anélkül, hogy közben elszakadnának vagy eltörnének.
- Ütőmunka:** Az anyag által nyúlás és törés során elnyelt energia. A dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállás mértéke.
- Szívósság:** Egyes anyagok azon tulajdonsága, hogy hirtelen erőhatásra nyúlás és törés nélkül képesek reagálni.
- Nyújthatóság:** A képlékenység egyik változata, egyes anyagok azon tulajdonsága, hogy finom huzalokká húzhatók. (Mértéke az anyagnak a törésig elért plasztikus nyúlása.)
- Alakíthatóság:** Az anyag azon tulajdonsága, hogy vékony szalagokká hengerelhető.
- Törékenység:** Egy anyag akkor törékeny, ha ütés hatására maradó deformáció nélkül könnyen eltörik.
- Kifáradás:** Anyagtörés, ami a törési terhelésnél lényegesen kisebb, sokszor ismétlődő, változó terhelés hatására alakul ki.
- Kúszás:** Magas hőmérsékletnek és folyamatos, állandó nagyságú terhelésnek kitett anyagok jellemzője. Az anyag lassan, folyamatosan deformálódik a ráterhelés pillanatától kezdve.

#### 4.1.3.2 BRINELL-KEMÉNYSÉG

A fémek behatolással szembeni ellenállásának egyik mértéke. Az eljárás során egy meghatározott átmérőjű, igen kemény anyagú golyót préselnek a vizsgálandó anyag felületébe, adott terheléssel (P), adott ideig. A golyó volfrámkarbidból készül. Az alkalmazott terhelés  $P=KD^2$ , ahol K a mérendő anyagtól függő állandó, D pedig a golyóátmérő.

Acél és öntöttvas esetében  $K=30$ , értékét a vonatkozó szabvány – MSZ EN ISO 6506 – tartalmazza. A golyóátmérő 1 mm, 2 mm, 2,5 mm, 5 mm és 10 mm lehet.

4.7. ábra. Brinell-keménység



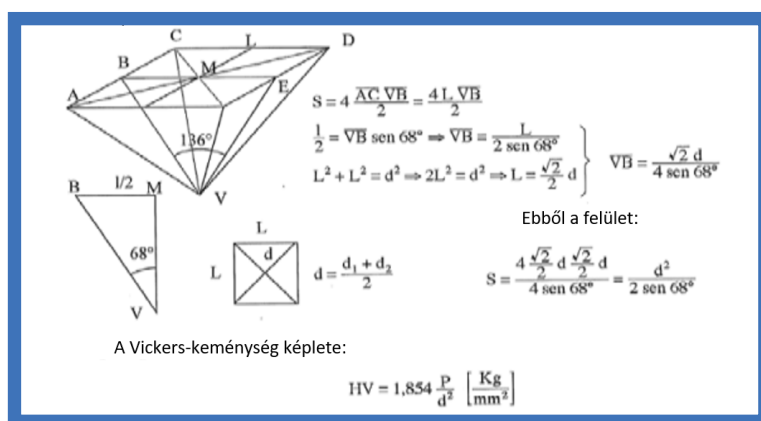
A teszt elvégzését követően megméri az anyagon és átlagolják a benyomódás két, egymásra merőleges átmérőjét ( $d$ ), majd a golyó átmérőjének ( $D$ ) és az alkalmazott terhelésnek ( $P$ ) az ismeretében, kiszámítják a Brinell-keménységet. A lenyomat és a terhelés ismeretében gyakran táblázatból keresik ki a keménység értékét.

#### 4.1.3.3 VICKERS-KEMÉNYSÉG

Az anyag behatolással szembeni ellenállásának másik mértéke. Ez az eljárás a Brinell-féléből ered, az a különbség, hogy ennél egy  $136^\circ$ -os lapszögű gyémánt gúlát nyomnak a felületbe (4.8. ábra). A mérést az MSZ EN ISO 6507 jelű szabvány szabályozza.

A Brinell-eljáráshoz hasonlóan, a lenyomat átlójának ( $d$ ), valamint az alkalmazott terhelés ( $P$ ) értékének ismeretében egy egyszerű képlet adja meg a Vickers-keménységet:

4.8. ábra. Vickers-keménység



#### 4.1.3.4 ROCKWELL-KEMÉNYSÉG

Szemben a Brinell- és Vickers-eljárásokkal, ezt a keménységet a behatolás mélysége és nem a lenyomat nagysága alapján határozzák meg. A vonatkozó szabvány: MSZ EN ISO 6508.

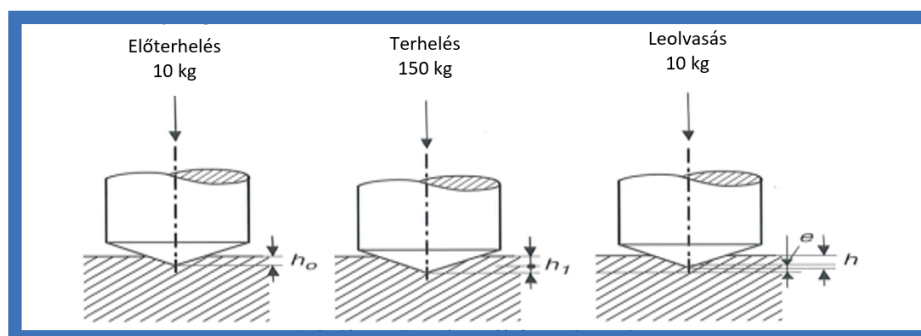
Kétfajta behatoló testet használnak:

- ◆ 0,2 mm sugárral lekerekített hegyű,  $120^\circ$ -os gyémánt kúpot vagy
- ◆  $1/8''$  vagy  $1/16''$  átmérőjű volfrámkarbid golyót.

A terhelőerőt két fokozatban fejtik ki: először 10 kg előterheléssel állítják be a rendszert majd a főterhelést adják rá (4.9 ábra). A főterhelés levétele után a gépen elhelyezett mérőóráról leolvasható a keménység.



4.9. ábra. Rockwell-keménység

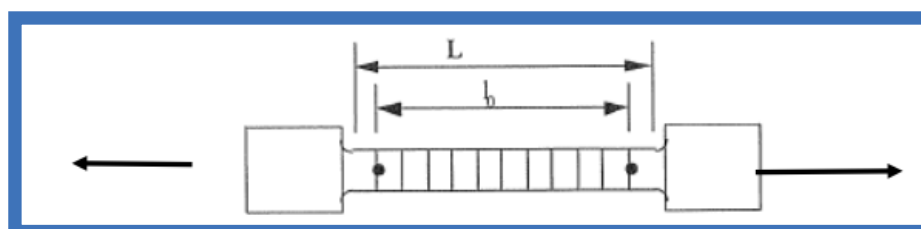


#### 4.1.3.5 SZAKÍTÓVIZSGÁLAT

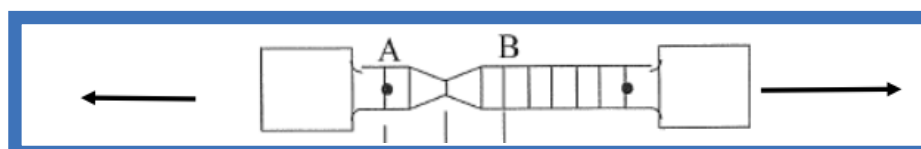
Ez olyan roncsolásos vizsgálat, amelynek során szabványos alakú próbatestet a hossz tengelyének irányában kifejlesztett, fokozatosan növelt terheléssel, állandó sebességgel megnyújtanak, egészen addig, amíg az el nem szakad.

A próbatestek három szakaszból állnak: a vizsgálati szakaszból (melynek keresztmetszete állandó), a befogásra szolgáló fejrészből és a kettő közötti – megfelelő lekerekítéssel elkészített – átmenetből. A próbatestek méreteit a vonatkozó szabvány írja elő.

4.10. ábra. Szabványos próbatest a kiinduló állapotban

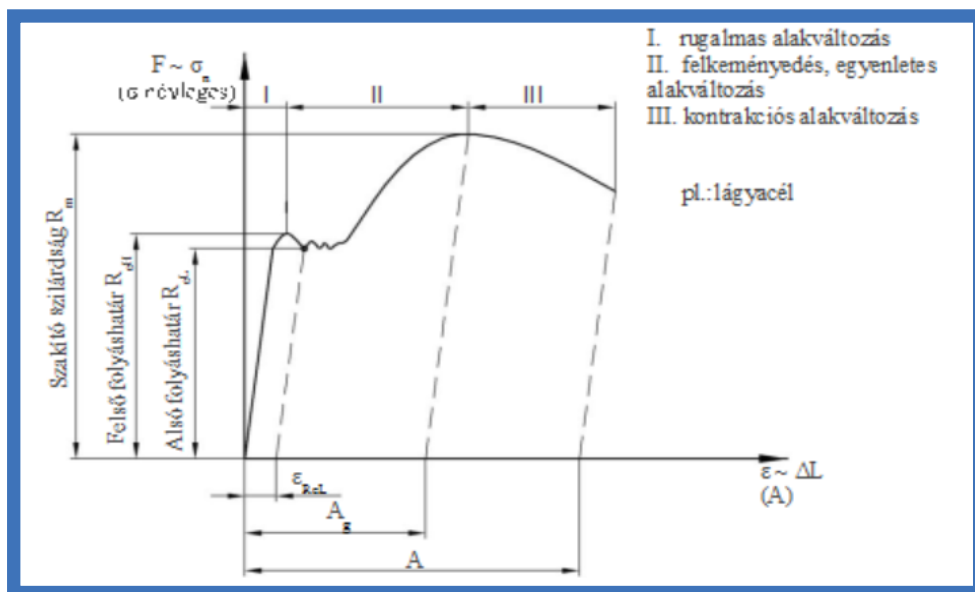


4.11. ábra. A próbatest deformálódik a húzófeszültség hatására



A szakítóvizsgálat eredményét, azaz a próbatest által felvett erőt a megnyúlás függvényében az úgynevezett szakítódiagramon jelenítik meg. Az erő és megnyúlás értékeiből származtatható a feszültség–nyúlás-diagram, amelyen a 4.12. ábrán is látható.

4.12. ábra. Feszültség-nyúlás-görbe



A szakítóvizsgálatból az MSZ EN ISO 6892-1 jelű szabvány szerint meghatározható anyagjellemzők és jelöléseik a következők:

- ◆ Folyáshatár, azaz a maradó alakváltozás kezdetét jelentő feszültség:  
 $R_{p0,2} = F_{p0,2}/S_0$ , ahol a számlálóban a maradó alakváltozás kezdetéhez szükséges erő, a nevezőben pedig a próbatest eredeti keresztmetszete szerepel.
- ◆ Szakítószilárdság, azaz a maximális erőhöz tartozó feszültség:  
 $R_m = F_m/S_0$ , ahol a számlálóban a vizsgálat során mérhető legnagyobb erő, a nevezőben a próbatest eredeti keresztmetszete áll.
- ◆ Szakadási nyúlás, azaz a próbatest relatív hosszváltozása a szakadásig:  
 $A = (L_u - L_0)/L_0 [\%]$ , ahol  $L_u$  az elszakadás után összeillesztett próbatesten mért jeltávolság mm-ben és  $L_0$  a jeltávolság eredeti hossza mm-ben.
- ◆ Kontrakció, azaz a relatív keresztmetszet-csökkenés elszakadáskor:  
 $Z = (S_0 - S_u)/S_0 [\%]$ , ahol  $S_u$  az elszakadás után összeillesztett próbatesten, a szakadás helyén mért átmérőből meghatározható keresztmetszet mm<sup>2</sup>-ben és  $S_0$  a próbatest eredeti keresztmetszete mm<sup>2</sup>-ben

#### 4.1.3.6 RUGALMASSÁGI VAGY YOUNG-MODULUSZ

A rugalmassági modulusz vagy Young-modulusz a feszültség-nyúlás görbe lineáris részének meredeksége, az anyag merevségének mértéke.

A rugalmassági, avagy Young-modulusz ( $E$ ) a rugalmas alakváltozás tartományában alkalmazott feszültség ( $\sigma$ ) és a fajlagos nyúlás ( $e$ ) hányadosa:

$$E = \sigma/e$$



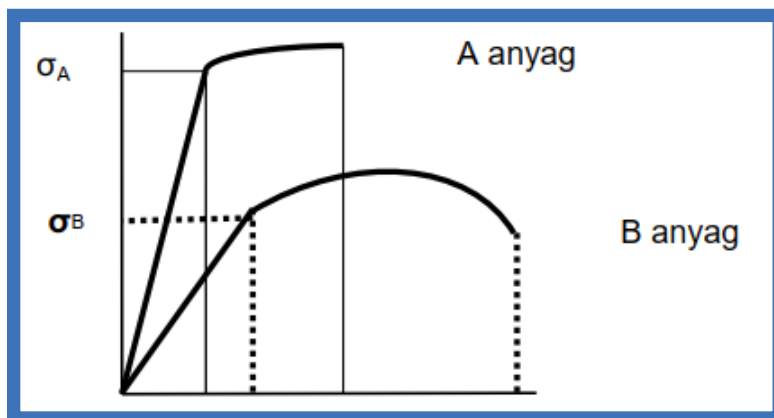
A rugalmassági modulusz ugyanígy értelmezendő és számítandó, és értéke azonos lesz, akkor is, ha egytengelyű nyomófeszültséget alkalmazunk és a test azzal egyező irányú zsugorodását mérjük.

#### 4.1.3.7 SZÍVÓSSÁG

Az anyag dinamikus erőhatásokkal szembeni ellenálló képessége, a törés nélküli nyúlás képessége. Az anyag azon kapacitása, hogy a képlékeny zónában energiát nyeljen el, ami energia visszaalakulás nélkül meg is marad az anyagban.

Minél nagyobb egy anyag rugalmassági határa, szilárdsági határa és teljes (szakadási) nyúlása, annál nagyobb a képlékeny alakváltozáshoz tartozó görbe alatti terület, azaz az anyag szívóssága.

4.13. ábra. Szívósság



Amint azt a 4.13. ábra mutatja, az A anyag rugalmas zónáját meghatározó egyenes vonal nagyobb magasságot ér el, ugyanakkor a képlékeny zónát meghatározó görberész rövidebb, kisebb a görbe alatti terület, ami azt jelenti, hogy az anyag rugalmassági határa nagy, és nagyobb a szilárdsága, de kisebb az alakváltozó képessége. Ezzel szemben, a B anyagnak szélesebb a képlékeny zónája, nagyobb terület van a görbe alatt, tehát az anyag szívósabb.

#### 4.1.3.8 NYOMÓFESZÜLTÉG

Nyomóvizsgálat során az anyagot két párhuzamos lap (nyomószerszám) közé helyezve, megfelelő hőmérsékleten összenyomják, így szereztve információt arról, hogyan viselkedik az anyag bizonyos alakítási folyamatokban. A mért feszültségek jellemzőek lehetnek sajtolásnál, kovácsolásnál, hengerlésnél, stb.

#### 4.1.3.9 CSAVARÁSI SZILÁRDSÁG

A csavarási szilárdság olyan test deformációjával kapcsolatos, amely két, azonos nagyságú, de ellentétes értelmű erő (egy erőpár) hatásának van kitéve.

Csavaró (idegen szóval: torziós) vizsgálatnál a próbatestet csavaró nyomatékkal deformálják. A képlékeny alakváltozás nagyobb, mint a szakítóvizsgálatoknál. A torziós vizsgálat közvetlen információt szolgáltat a nyírás alatt lévő anyag viselkedéséről.

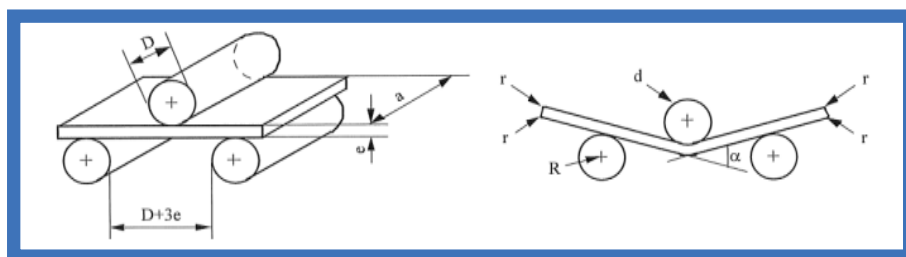
#### 4.1.3.10 HAJLÍTÓVIZSGÁLAT

Fémek képlékeny viselkedésének tanulmányozására szolgáló vizsgálat. Lehetőséget ad szakítóvizsgálattal nehezen vizsgálható, rideg anyagok szilárdságának meghatározására is.

A próbatesteket szabványos feltételek között meghajlítják és figyelik a repedések megjelenését a külső íven, ahol a húzófeszültség nagyobb (4.14. ábra). A vizsgálatok szobahőmérsékleten és magas hőmérsékleten is elvégezhetők.

Ilyen vizsgálatnak vetik alá az acélok hegesztett kötéseit, megállapítandó, hogy a hegesztés hője milyen hatással van az adott anyag deformációs képességére.

4.14. ábra. Hajlítóvizsgálat



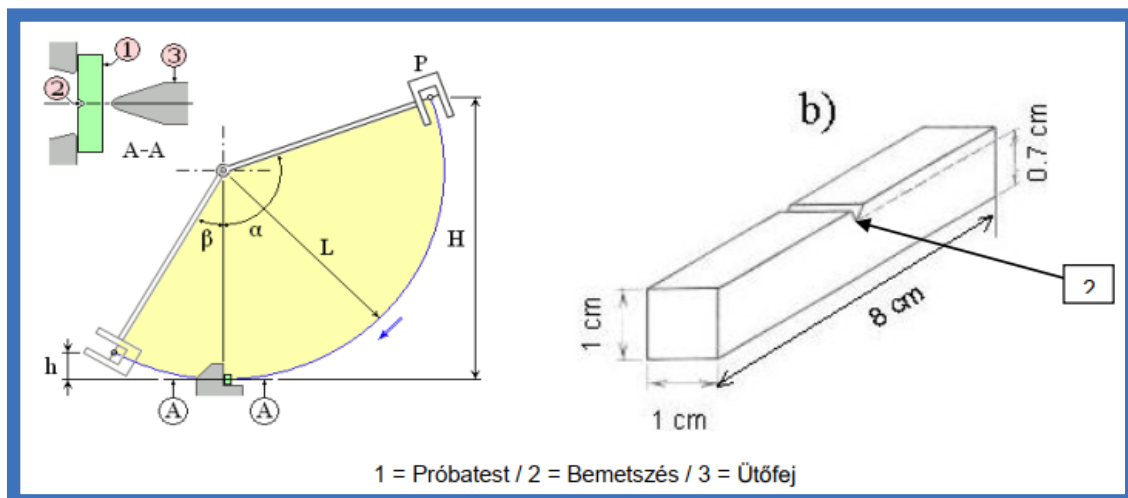
#### 4.1.3.11 ÜTŐMUNKA

Az anyag szívósságának mértéke. Megadja, hogy az anyag mennyire képes ellenállni az ütésnek. A bemetszett és hagyományosan alátámasztott próbatest hajlító- vagy szakítóerővel való eltöréséhez szükséges energiával mérik (ütőmunka).

Az ütőmunkát a Charpy-féle ütővizsgálattal határozzák meg (4.15. ábra). A vizsgálat ötlete onnan ered, hogy tudni akarták, miért következik be fáradásos törés az anyagokban.



4.15. ábra. Charpy-féle ütővizsgálat



Az ábra alsó részén, az inga alsó holtpontjában, az „A” jelzések között van a szabványos próbatétel (ld. b) ábra is), melyet úgy helyeznek el, hogy a  $H$ -magasságból elengedett ütőfej nekiütközzön, mégpedig azon az oldalán, ahol nincs bemetszés. Az ütőfejjel való ütközést követően a próbatétel eltörik, az ütőfej pedig  $h$  magasságig emelkedik fel.

A vizsgálattal mérhető, hogy mennyi energia szükséges a töréshez. Minél nagyobb a szabványos próbatétel anyagának törékenysége, és minél kisebb a szívóssága, annál könnyebben töri el az inga a próbatételt, és annál magasabbra ( $h$ ) lendül az ütőfej az ütközés után. A nagyon képlékeny és szívós anyagok nagy mennyiségű energiát képesek elnyelni, az ütközésnek akár törés nélkül is ellen tudnak állni. Ez utóbbi esetben az ütőmunka értékét nem határozzák meg.

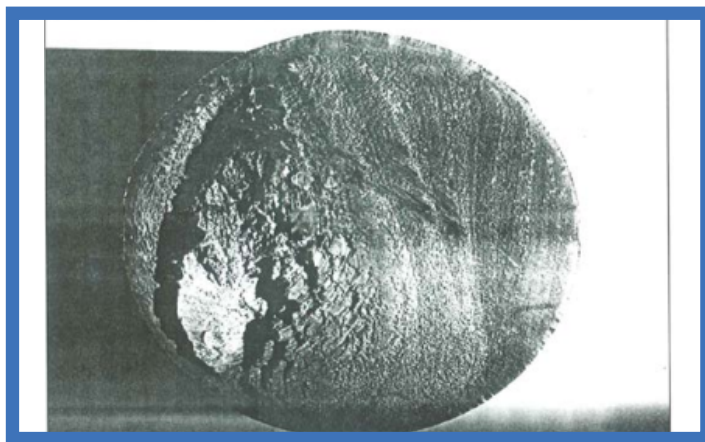
#### 4.1.3.12 TÖRÉS

Törés során egy tömör test kettő vagy több darabra esik szét, külső erő (feszültség) hatására. A törés két részfolyamat – repedések megjelenése, illetve repedések terjedése – eredményeként jön létre.

A ridegtörés esetén a törés az anyag rugalmas és nem a képlékeny deformációjának tartományában következik be, azaz ridegtörés esetén az anyag nem deformálódik képlékenyen.

A szívós törés viszont maradó alakváltozással jár együtt, tehát a képlékeny zónában következik be. A szívós törést megelőzően minden esetben jelentős mértékű képlékeny alakváltozás tapasztalható, amelynek nagy a keresztirányú kiterjedése, a töretfelület görbült és érdes (tésztazerű, matt).

4.16. ábra. Szívós, majd ridegtöréssel eltört anyagrész



Törek: ridegtörés szívós törés

#### 4.1.3.13 KIFÁRADÁS

Ha egy fémet időben változó nagyságú és irányú, sokszor ismétlődő feszültségnek teszünk ki, akkor az már az állandó húzófeszültség esetén mérhető szakítószilárdságnál kisebb terhelések mellett is eltörik. A fémek e gyengeségét nevezik kifáradásnak.

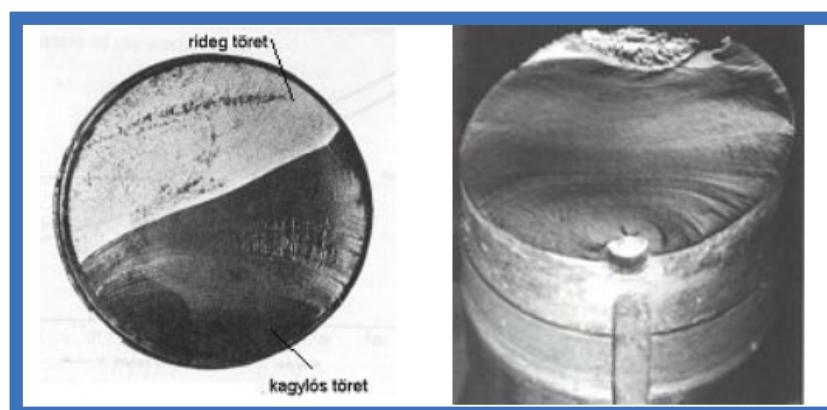
A fáradás alatti viselkedést a következő paraméterek határozzák meg:

- ◆ az alkalmazott terhelés kinetikája,
- ◆ az eredő feszültségtípus,
- ◆ a munkadarab megmunkálásának módja (húzás, hajlítás, csavarás, stb.),
- ◆ a munkadarab felületének minősége.

A fáradási törés kezdetén, annak első jeleként, mikrorepedések jelennek meg (4.17. ábra), majd ezek – a terhelés ismétlődésével – elkezdnek lassan növekedni, és anyagrészek csúsznak el egymáshoz képest (kagylós repedésterjedés zónája, finoman barázdált és szürke felület). Közben a nem repedt anyagrészekben a feszültség állandóan nő, egészen addig, amíg az anyag el nem veszíti ellenálló képességét (ridegtörési zóna, fényes és durva felület).



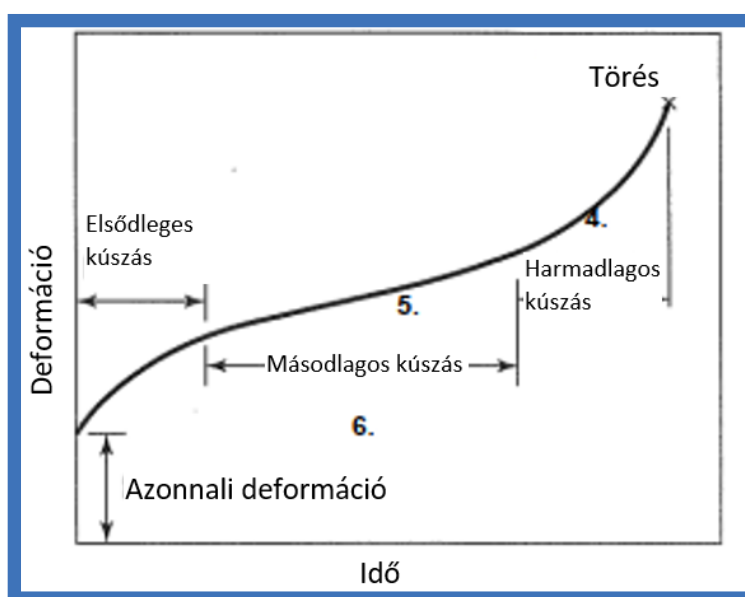
4.17. ábra. A kagylós repedésterjedés és a ridegtörés zónája fárasztott próbatesteken



#### 4.1.3.14 KÚSZÁS

A magas hőmérsékleten tartós terhelésnek kitett anyagok folyamatosan, képlékenyen deformálódnak. Ezt a fontos jelenséget – amit kúszásnak neveznek – figyelembe kell venni a különböző berendezések tervezésekor, mivel meghatározza a magas hőmérsékleten üzemelő anyagok hasznos élettartamát. Az úgynevezett kúszási görbék segítségével tanulmányozható, hogyan változik az anyag deformációjának sebessége, és – ismerve az anyag viselkedését egy bizonyos időpontig – megjósolható, mi fog történni hosszabb távon (4.18. ábra).

4.18. ábra. Kúszási görbe



Az elsődleges és másodlagos kúszás időben mindig hasonlóan zajlik le, ami azt jelenti, hogy előrevetíthető a harmadlagos kúszás kezdete, amikor az anyagot már cserélni kell, mert – az adott terhelés és hőmérséklet mellett – rövid idő maradt hátra a törés bekövetkezéséig.

#### 4.1.4 VASÖTVÖZETEK

Az iparban használt legtöbb terméket fémekből és ötvözeteikből, főleg acélból állítják elő, ezért fontos ismerni ezen anyagok szilárdságát, de belső szerkezetüket és kémiai összetételüket is, hiszen a gyártott darabok, szerkezetek üzem közbeni viselkedése ezeken múlik.

Az acél vas–szén ötvözet, melyben legfeljebb 2%-os a szénttartalom, és kis mértékben más ötvöző elemek is vannak. Ezek az ötvöző elemek speciális tulajdonságokat kölcsönözhetnek az acélnek, mégpedig függően attól, hogy milyen arányban keverik ezeket a vashoz. Más elemek, mint a kén és a foszfor, viszont szennyezők, melyek acélbeli mennyiségét majd minden esetben csökkenteni kell.

Az ötvözés célja általában az, hogy valamilyen speciális tulajdonságú acélt állítsanak elő, mint például:

- ◆ nagyobb mechanikai szilárdságút
- ◆ alacsony vagy magas hőmérsékleten kémiai ellenállót
- ◆ nagyobb keménységűt (jobban edzhető).

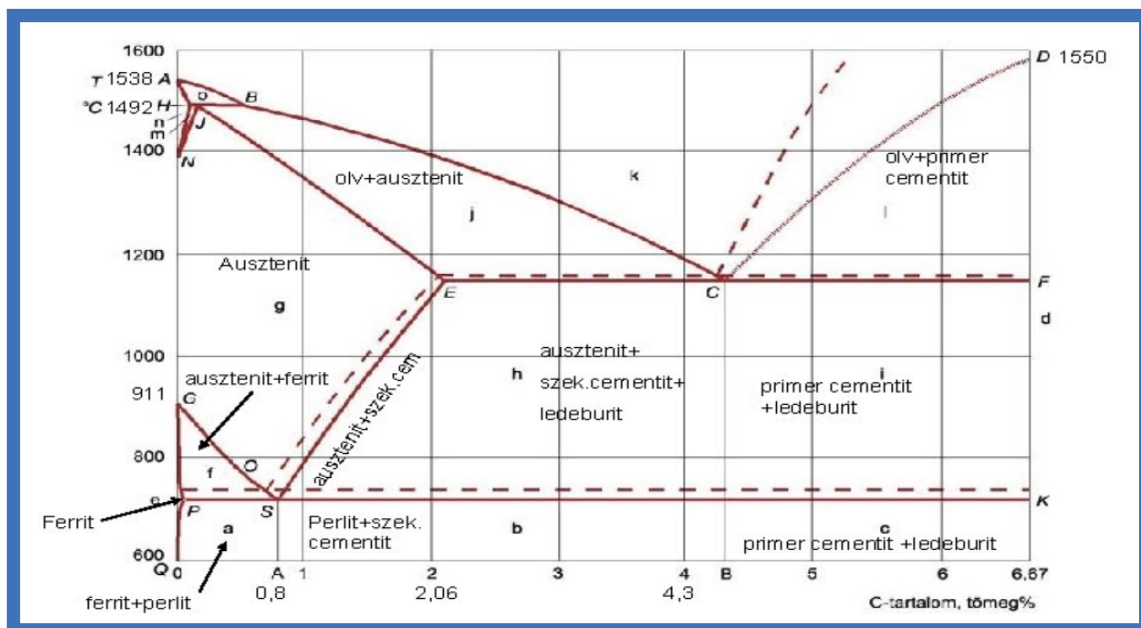
Ötvözött acélnak vagy különleges minőségű acélnek nevezik azokat az acélokat, amelyek bizonyos tulajdonságait ötvöző anyagok hozzáadásával érik el.

##### 4.1.4.1 A VAS–SZÉN-ÁLLAPOTÁBRA

Az acélok tulajdonságainak megismeréséhez a vas–szén-állapotábra (lásd 4.19. ábra) tanulmányozásán keresztül vezet az út. Az állapotábra egy úgynevezett fázisdiagram, melynek X-tengelyén a százalékos szénttartalmat ábrázolják, az Y-tengelyén pedig a hőmérsékletet. A diagram vonalai a különböző fázisokat és azok keverékeit választják el egymástól. A fázisok és keverékek – melyek csak vasat és szenet tartalmaznak alkotóelemként – közötti különbség az, hogy milyen hőmérsékleten és milyen szénttartalom mellett létezhetnek önmagukban, illetve más fázissal egyensúlyban.



4.19. ábra. Vas-szén állapotábra



**Ferrit:** A vas  $\alpha$ -val jelölt, térközepes köbös rácsszerkezetben, a benne oldott szénrel együtt megszilárduló módosulata, amelyben a vasatomok (voltaképpen ionok) a kockarács csúcsait és a kockák középpontjait foglalják el, a szénatomok pedig a szabadon hagyott, rácsközi pontokban helyezkednek el. A ferrit-fázis vas-szén szilárd oldat.

Nagyon kis területet foglal el a vas-szén állapotábrán. A legtöbb szenet  $723^\circ\text{C}$  fokon oldja a ferrit, de az sem haladja meg a  $0,028\%$ -ot. A legpuhább és legképlékenyebb acélféleség.

**Ausztenit:** A szilárd vas  $\gamma$ -val jelölt módosulata, melyben a vasatomok (ionok) a kockarács csúcsait és a kockák oldallapjainak középpontjait foglalják el (lapközepes köbös rácsszerkezet). Ez az elrendezés több (rácsközi) teret enged a beoldódó szénatomoknak. Ez a fázis is szilárd oldat.

Amint az az állapotábráról leolvasható, az oldott szén koncentrációja  $0,8\%$ -tól  $2,06\%$ -ig változhat. Az oldékonyság  $723^\circ\text{C}$ -on a legkisebb, míg  $1130^\circ\text{C}$ -on a legnagyobb. Mivel az ausztenites szerkezet széles hőmérséklet-tartományban több szén oldására képes, így nagyobb helyet is foglal el a diagramon.

Szobahőmérsékleten nem stabil fázis, azonban a krómmal és nikkellel erősen ötvözött acélok ekkor is megtartják ausztenites szerkezetüket. Ezek az acélok nem mágnesezhetők és az ötvözők mennyiségétől függően hő-, illetve korrózióállóak.

**Cementit:** A vaskarbid ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) fázis neve. Keménnyé és rideggé teszi az acélt.

Fontos megjegyezni, hogy ezek a fázisok vagy szerkezetek lassú lehűlés esetén alakulnak ki.

**Perlit:** Váltakozva elhelyezkedő ferrit és cementit lemezkék alkotta eutektoidos ötvözet. (Az eutektoid szilárd fázisból egy bizonyos hőmérsékleten – az úgynevezett eutektoidos hőmérsékleten – létrejövő, ugyancsak szilárd, kétfázisú szövet.) Perlit ausztenitből keletkezik  $723^\circ\text{C}$  fokon,  $0,8\%$  széntartalom mellett, fázisai a ferrit és a cementit.

A 0,8%-osnál kisebb, illetve nagyobb széntartalmú ötvözeteket hipo-, illetve hipereutektoidos ötvözeteknek nevezik. A perlit a lágyabb ferritből és a keményebb cementitből áll, keménysége a ferrit és a cementit közé esik. Mechanikai tulajdonságai a lemezek méreteitől függenek.

**Ledeburit:** Olvadékból 1147°C fokon, 4,3% széntartalom mellett keletkező, szilárd, ausztenitből és cementitből álló eutektikum. (Az eutektikum abban különbözik az eutektoidtól, hogy közvetlenül olvadékból keletkezik, nem szilárd fázisból. Az átalakulást és hőmérsékletét eutektikus átalakulásként, illetve eutektikus hőmérsékletként emlegetik.) A 4,3%-osnál kisebb, illetve nagyobb széntartalmú ötvözeteket hipo-, illetve hipereutektikus ötvözeteknek nevezik.

**Martenzit:** Nem egyensúlyi szerkezetű – ezért az állapotábrán nem szereplő – szövet, a gyorshűtött acélok egyik komponense. Magas hőmérsékletű ausztenit fázis gyors lehűtésével (amit edzésnek, idegen eredetű szóval kvencselésnek neveznek) állítják elő.

A magas hőmérsékletről (>900°C), ahol az ausztenit stabil fázis, történő gyors lehűtés következtében a szén- és vasatomok egy nagyon kemény és rideg, torzult tetragonális szerkezetbe rendeződnek át; ez a martenzit. Szénben túltelített szilárd oldat, ami annak köszönhetően alakul ki, hogy a szénatomok nem tudnak kidiffundálni a vasrácsból.

#### 4.1.4.2 HŐKEZELÉSEK

Hőkezelésnek nevezik azokat a szabályozott hevítési és hűtési folyamatokat, amelyek következtében a fémek és ötvözetek szerkezeti változásokon mennek keresztül.

Típusai:

##### Gyorshűtés (edzés)

Olyan hőkezelés, amelynek célja az acél keménységének és szilárdságának növelése. Három szakaszban hajtják végre:

- ◆ *A fém hevítése:* A munkadarabot kemencébe helyezik, majd lassan 500°C-ra, ezt követően pedig gyorsan az edzési hőmérsékletre (860–950°C-ra) melegítik fel, hogy létrejöjjön az ausztenites fázis (végbe-menjen az ausztenitesítés).
- ◆ *Hőntartás (a hőmérséklet homogenizálása):* Az edzési hőmérsékletet addig tartják fenn, amíg a munkadarab egésze teljesen át nem veszi azt.
- ◆ *Gyorshűtés:* A munkadarabot kivesszük a kemencéből és alkalmas közegben (víz, olaj, emulzió, nagynyomású gáz, stb.) gyorsan lehűtik.

A lassú hűtéssel ellentétben, gyorshűtés során nincs széndiffúzió, ami nélkül az ausztenit nem alakul át ferrit és perlit vagy cementit és perlit.

A folyamat eredménye egy szénben túltelített, tetragonális szerkezet, a martenzit, ami nagyon torzult és abnormálisan kemény.



### Megeresztés (temperálás)

A gyorsított acélok a martenzites fázisba beszorult szénatomok miatt nagy belső feszültséggel terheltek, emiatt ridegek és ebben az állapotban felhasználásra alkalmatlanok. Ezért célszerű elvégezni egy második hőkezelési műveletet is, a megeresztést vagy temperálást.

A megeresztés célja az, hogy a keménység számottevő csökkentése nélkül csökkentsék az acélban lévő belső feszültségeket, és ezáltal javítsák az anyag mechanikai jellemzőit:

- ◆ csökkentsék a ridegséget, a törékenységet és a rugalmassági határt,
- ◆ növeljék az anyag szívósságát.

A megeresztő hőkezelés abból áll, hogy a gyorsított acélt felhevítik egy viszonylag alacsony, a kritikus hőmérsékletnél kisebb hőmérsékletre (170–220°C), és megfelelő időtartamú hőntartás után hagyják lehűlni – általában levegőben, olykor vízben vagy olajban.

Minél magasabb a megeresztés hőmérséklete, annál kisebb lesz az anyag keménysége.

### Lágyító hőkezelés

Ennek a hőkezelésnek a céljai az alábbiak:

- ◆ az anyag lágyítása
- ◆ az anyag képlékenységének, alakíthatóságának, megmunkálhatóságának és szívósságának a növelése
- ◆ a mikroszerkezet regenerálása.

A gyorsítás ellentéte, segítségével visszaállítható az anyag alapszerkezete.

A teljes átkristályosodással járó lágyító hőkezelés alkalmával az anyagot valamivel alacsonyabb hőmérsékletre melegítik fel, mint edzésnél (ausztenítés, 800–925°C), majd ezen a hőmérsékleten tartják addig, amíg a teljes anyag ausztenitessé nem válik, végül ugyanabban a kemencében hagyják kihűlni.

### Normalizálás

A hidegalakított acélok szerkezete perlites, viszonylag nagyméretű és igen szabálytalan alakú szemcsékkel. Normalizálással a szemcséket finomítják, csökkentik átlagos méretüket, valamint egységesítik a szemcsék méretét. A normalizálást gyakran alkalmazzák melegen alakított acélok, öntvények vagy hegesztett kötések szövetszerkezetének feszültségmentesítésére, homogenizálására is.

A folyamat során 30–50°C-kal a felső kritikus hőmérséklet fölé hevítik az anyagot, majd levegőben közepes sebességgel lehűtik. Acélok esetében ez azt jelenti, hogy a munkadarabot előbb ausztenitessé teszik, aztán perlitté alakítják.



#### 4.1.4.3 TERMOKÉMIAI KEZELÉSEK

Ezeknek a kezeléseknak a segítségével a fémek felületének állapotát módosítják, javítják úgy, hogy azok a későbbiekben az elvárt üzemi követelmények szerint viselkedjenek. Elsősorban a kopásnak vagy más, nagy felületi igénybevételnek kitett munkadarabokon alkalmazzák, amelyeknél követelmény a kemény, kopásálló felület (kéreg) és a szívós mag.

Az előbbieken tárgyalt hőkezelésekhez képest – amelyek során a fémet ausztenitesítési hőmérsékletre (800–900°C) kell hevíteni, majd ezen a hőmérsékleten kell tartani, hogy a külső és belső hőmérséklete azonos legyen – a termokémiai kezelés célja csak a felület keménységének a megnövelése, megtartva a munkadarab belsejének szívósságát. A termokémiai kezeléseknél kémiai elemek is részt vehetnek, amelyek a felhevített fém felületén megtapadnak és diffúzió révén a felület alatti rétegbe jutnak.

A leggyakrabban alkalmazott eljárások:

- ◆ Cementálás.
- ◆ Nitridálás.
- ◆ Karbonitridálás.
- ◆ Nitrocementálás.
- ◆ Szulfidálás.

#### 4.1.4.4 ÖNTÖTTVASAK

Öntöttvasnak olyan vasötvözeteket neveznek, amelyek vasból, 2–4,5% szénből és legfeljebb 3,5% szilíciumból állnak.

Mechanikai tulajdonságaik és nagy széntartalmuk miatt alkalmazásuk korlátozott. Kemények, de ugyanakkor ridegek is, nem alakíthatók sem kovácsolással, sem hengerléssel.

Fajtái:

- ◆ Szürkeöntvény.
- ◆ Gömbgrafitos öntvény.
- ◆ Fehérvas öntvény.

#### 4.1.4.5 AZ ACÉLOK TÍPUSAI

##### Szerkezeti acélok

Ezeket az acélokat krómmal és nikkellel vagy krómmal és molibdénal ötvözik, gyorsított hűtéssel és temperálással kezelik, majd finoman megmunkálják.

A nikkellel nagy szívósságot kölcsönöz az acélnek, a mangán és a molibdén az edzhetőséget javítja, a króm pedig a kopásállóságát növeli. A 0,3% és 0,4% közötti széntartalom elegendő keménységet biztosít, és nem csökkenti a szívósságot.



A szerkezeti acélok között szerepelnek a kis (0,1%–0,25%) szénttartalmú, betétben edzhető (cementálható) acélok.

### Kis szénttartalmú acélok

Ezek az acélok kevesebb, mint 0,25% szenet tartalmaznak, gyorsítással nem növekszik érdemben a keménységük. A legtöbb esetben az acélműből érkező formájában használják fel ezeket, hőkezelés alkalmazása nélkül.

A 0,25% és 0,79% közötti szénttartalmú acélokat általában előkovácsolt vagy durvahengerelt állapotban dolgozzák fel, és gépalkatrészeket gyártanak belőlük.

### Szerszámacélok

Ebben a csoportban szerepelnek azok az acélok, amelyekből általában szerszámokat – anyagok alakjának, méretének vágással, sajtolással, forgácsolással történő módosítására szolgáló eszközöket – gyártanak.

Szénttartalmuk 0,3% fölötti, bár bizonyos esetekben kisebb, 0,1%–0,3% szénttartalmú acélokból is készítenek szerszámokat.

A szerszámacélok csoportjának legfontosabb képviselői az alábbiak:

- ◆ Szénacélok.
- ◆ Gyorsacélok.
- ◆ Nem vetemedő acélok.
- ◆ Ötvözött szerszámacélok (krómmal és volfrámmal ötvözöttek).

### Hőálló acélok

Magas hőmérsékletet elviselő acélok. A krómmal, nikkellel és szilíciummal ötvözött, ausztenites hőálló acélokból 1200°C-ig használható munkadarabokat gyártanak.

Az oxidációval szembeni ellenállás növelésére bizonyos mennyiségű nikkelt, nitrogént és ritka földfémeket adnak hozzájuk, amelyek elősegítik a krómatomok diffúzióját és az ausztenit tágulását, ezzel növelve az ötvözött acél termikus szilárdságát.

Motorok szelepeihez és lapátjaihoz, kemencék falaihoz, rácsaihoz és egyéb alkatrészeihez, üvegöntés öntőformáihoz, vezetőcsövekhez használják ezeket az acélokat, tartósságukat az üzemi nyomáshoz igazítják.

### Ötvözött acélok

Ötvözött acéloknak nevezik azokat, amelyek a szénen, szilíciumon, mangánon, foszforon és kénen kívül viszonylag jelentős mennyiségben tartalmaznak olyan más elemeket, melyekkel javíthatók egyes, fontos tulajdonságok. Ilyen további ötvözőelem a nikkel, a króm, a vanádium, a volfrám, a molibdén, a kobalt, a titán, a cirkónium, az ólom, a szelén, a bór és a nióbium.



### Korrózióálló acélok

A korrózióálló acélok olyan ötvözetek, amelyekben legalább 11% Cr található. A króm az acél felületén egy nagyon vékony, folyamatos és stabil passzíváló réteget alkot. Ennek köszönhető a korrózióálló viselkedés. Azon kívül, hogy ellenállnak a korróziónak, nagy a mechanikai szilárdságuk (a szénacélok szilárdságának legalább a kétszerese), valamint egyaránt ellenállnak a magas és a nagyon alacsony (kriogén) hőmérsékleteknek. Termékek széles választéka alakítható ki belőlük könnyen, melyek különféle felületi kezelésekkel esztétikussá tehetők.

#### 4.1.5 VIZSGÁLTATÍPUSOK

A vizsgálat eredménye bizonyíték arra, hogy az anyag, munkadarab vagy szerelvény megfelel vagy nem felel meg a korábban megállapított feltételeknek. A vizsgálatok, céljuk és kivitelezésük módja szerint, a következőképpen osztályozhatók:

- ◆ méretellenőrzések.
- ◆ funkcionális vizsgálatok.
- ◆ roncsolásos vizsgálatok.
- ◆ roncsolásmentes vizsgálatok.

##### 4.1.5.1 MÉRETELLENŐRZÉSEK

Ezekkel a vizsgálatokkal megállapítható, hogy az adott objektum méretei a meghatározott tűréseken belül vannak-e. A közvetlen méretellenőrzéseket mechanikus eszközökkel (például mikrométerrel) vagy optikai úton végzik.

E vizsgálatok jellemzője, hogy nem okoznak sérülést a munkadarab felületén vagy belsejében. Alkalmazásuk, amennyiben a méretek a vizsgált objektum lényeges tulajdonságai, a minőségellenőrzés tipikus eszköze.

A deduktív módszerekkel végzett, indirekt méretellenőrzések célja ugyanaz, mint a direkt méréseké, megvalósításukhoz általában a roncsolásmentes vizsgálati repertoárt veszik igénybe. Például anodizált (eloxált) bevonat örvényáramos vastagságmérése ilyen indirekt vizsgálat.

Fontos megjegyezni, hogy a mérésekhez kalibrált vagy hitelesített eszközöket kell használni. Ez a biztosítéka annak, hogy a különböző helyeken és időpontokban elvégzett (azonos típusú mennyiségre vonatkozó) mérési eredmények egymással és szabványok, előírások által megadott értékekkel összehasonlíthatók legyenek. Ez a követelmény az említett indirekt mérésekre és általában bármilyen roncsolásos vagy roncsolásmentes vizsgálatnál felhasznált mérőeszközökre is érvényes.





#### 4.1.5.2 FUNKCIONÁLIS VIZSGÁLATOK

Ezek olyan vizsgálatok, amelyek során a normál üzemi feltételeknél szigorúbb körülmények között vizsgálják a munkadarabot vagy szerkezeteket. A vizsgálat során mutatott viselkedésükből megtudható, hogy üzem közben meghibásodnak-e majd vagy sem. Például tartályok és csővezetékek nyomáspróbája ilyen vizsgálat.

#### 4.1.5.3 RONCSOLÁSOS VIZSGÁLATOK

Ezeket a vizsgálatokat általában a vizsgálandó munkadarabokból kivett mintákon végzik, azzal a következménnyel, hogy e minták a vizsgálat során megsérülnek, sőt használhatatlanná válnak.

Az így nyert információ pontos, viszont a módszer nem használható a végtermékeken, csak a termékeket reprezentáló, kiválasztott mintadarabokon, melyek a jellemző információkat szolgáltató vizsgálat során tönkremennek. A mintavételt statisztikai elvekre alapozzák.

Ha valamely vizsgálatot egy teljes munkadarabon vagy berendezésen végzik, akkor azt funkcionálisként sorolják be, ha a munkadarab vagy berendezés egy kivágott részén végzik, akkor – az előző gondolatmenetet követve – roncsolásosként.

### 4.2 GYÁRTÁS- ÉS TERMÉKISMERET (ÖNTÉS, ALAKÍTÁSOK, FORGÁCSOLÓ MEGMUNKÁLÁSOK, HEGESZTÉSI ELJÁRÁSOK)

#### 4.2.1 ÖNTÉS

##### 4.2.1.1 ÁLTALÁNOS TUDNIVALÓK

Öntéskor az olvadt állapotú fémet egy öntőforma üregébe töltik, melynek alakja megfelel a gyártandó munkadarab tervezett alakjának. A megszilárdulás során a fém felveszi az öntőforma alakját, így összetett formájú, belső üregekkel, üreges keresztmetszetekkel rendelkező vagy nagyméretű, egyedi elemek is önthetők.

A munkadarabot elő lehet állítani egyetlen művelettel, de úgy is, hogy az első lépésben kapott öntecset később további gyártási műveleteknek vetik alá, amíg létre nem jön a kívánt forma. A különböző termékek és darabok gazdaságosabban állíthatók elő így, mint más eljárásokkal. Minden felhevíthető és megolvasztható fém esetében alkalmazható.

Öntéskor, a folyékony és szilárd állapot közötti fajtérfogat- (sűrűség) különbség, továbbá a hőtágulás jelensége miatt, a megszilárduló fémek általában összehúzódnak. A zsugorodás mértéke akkor a legnagyobb, ha az anyagot szobahőmérsékletre hűtik le.



Következésképpen, az öntéskor keletkező folytonossági hiányokat, hibákat főleg

- ◆ az öntési művelet,
- ◆ a különböző alkotórészek eltérő dermedési sebessége és
- ◆ a folyamat során fellépő hőmérséklet-gradiens határozza meg.

Nagyon fontos az öntőforma kivitele és geometriája.

Az öntési folyamatban az öntőforma gyártása az első lépés. Az öntőforma egy üreget tartalmaz, ami megadja az öntött munkadarab alakját.

Minden egyes fém más-más százalékos mértékben húzódik össze lehűléskor, így az öntőformát az öntendő speciális anyag figyelembevételével kell megtervezni. Az üreget kissé túl kell méretezni, számolva a megszilárdulásból és a művelet során bekövetkező lehűlésből adódó zsugorodással. Az öntőforma ürege az öntvény külsejét szabja meg. Lehetnek azonban a munkadarabnak belső felületei, melyeket az öntőforma belsőjében elhelyezett úgynevezett magok segítségével alakítanak ki. Az öntőformát minta segítségével készítik el, ami legalább két részből áll.

Az öntőformákat különböző anyagokból, például homokból, gipszből, kerámiából és fémekből készítik. Az öntési folyamatokat gyakran az alkalmazott öntőformák típusa szerint osztályozzák. Az öntőforma anyaga és feltöltésének módja alapján a következő fő típusokról, illetve eljárásokról beszélhetünk:

- ◆ egyszer használatos öntőformák,
- ◆ többször használatos öntőformák,
- ◆ kompozit öntőformák.

#### 4.2.1.2 FŐ ÖNTÉSI ELJÁRÁSOK EGYSZERHASZNÁLATOS ÖNTŐFORMÁKKAL

##### Homokformázás

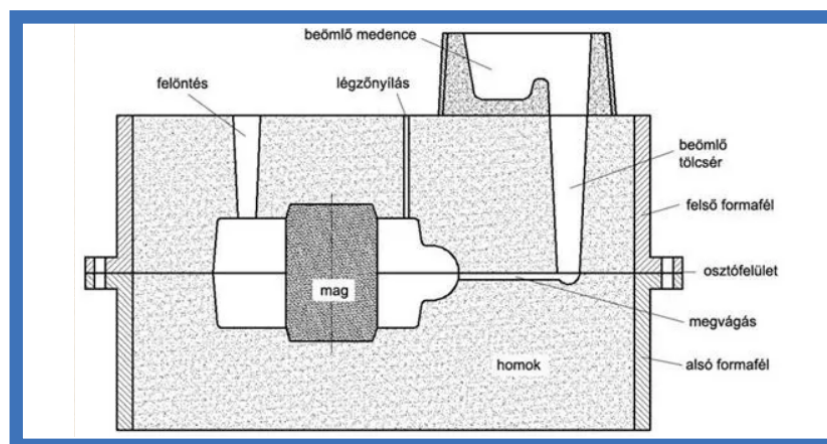
A homokformázás a leggyakrabban használt eljárás, ezzel állítják elő az öntvények össztömegének a nagyobbik részét. Szinte minden öntés végezhető homokformázással, alkalmazható magas olvadáspontú fémekre, például acélra, nikkelre és titánra.

Homokformázás során az olvasztott fémet homokból készült öntőformába öntik, hagyják megszilárdulni, majd összetörik az öntőformát és kiveszik a munkadarabot. Általában szilícium-oxid tartalmú homokot használnak, mely lehet:

- ◆ természetes kötésű (agyagkötés) vagy
- ◆ szintetikus (tómederből nyert homok, kedvelt a szabályozhatóbb összetétele miatt).



4.20. ábra. Homok öntőforma metszete

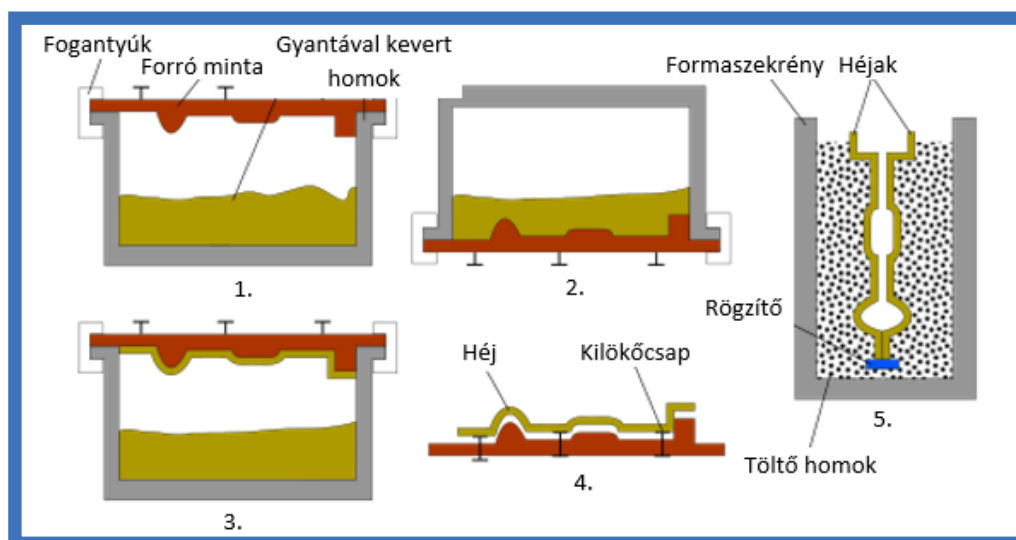


A magokat az öntvény belső felületeinek kialakítására használják. A magok a belső felületek (illetve üregek) természetes méretű makettjei. A magot az öntés előtt helyezik be az öntőforma belsejébe, így amikor a folyékony fém befolyik, az öntőforma üregének felülete és a mag között dermed meg, egyszerre formázva meg az öntvény külső és belső felületeit.

### Héjformába öntés

A héjöntés a homoköntéshez hasonló öntési eljárás, amely során az olvadt fémet egy egyszer használható öntőformába öntik. A forma egy vékony falú héj, amelyet homok-gyanta keveréknek a minta köré történő felhordásával hoznak létre. A fémből készült mintát több héjformához újra felhasználik. Az újrafelhasználható minta nagyobb gyártási sebességet, míg az eldobható formák összetett geometriák öntését teszik lehetővé.

4.21. ábra. A héjöntés műveleti sorrendje



### Gipszformázás

Az öntés ezen típusa hasonló a homokformázáshoz, azzal a különbséggel, hogy az öntőforma gipszből és nem homokból készül. A gipszhez zsírkövet és szilíciumoxid homokot kevernek, így szabályozzák a zsugorodást és a keményedés idejét, csökkentik a repedések kialakulásának esélyét és növelik a szilárdságot. Az öntőforma úgy készül, hogy a gipszet vízzel összekeverik, majd a keveréket műanyag vagy fém mintába öntik és hagyják megkeményedni.

A gipsz öntőformák nem viselik el az olyan magas hőmérsékleteket, mint amilyeneket a homokformák ezért csak alacsony olvadáspontú fémek – mint alumínium, magnézium, cink és egyes rézötvözetek – öntésére korlátozódik az alkalmazásuk.

Gipsz öntőformákkal általában kis darabokat öntenek. Ezeknek a formáknak nagy előnyük az, hogy jó végső felületi állapotot és méretpontosságot biztosítanak, valamint az, hogy vékony öntvények is készíthetők a segítségükkel.

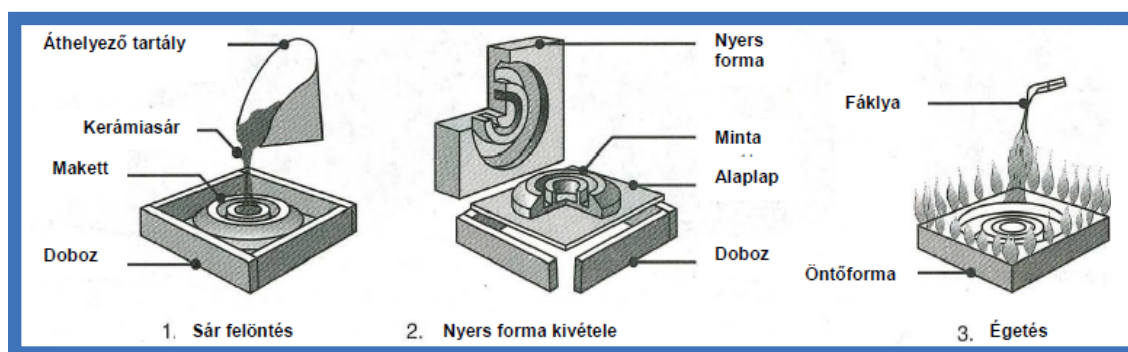
### Keramikus formázás

A keramikus formázás hasonló a gipszformázáshoz. Az öntőformák precíziósak tekinthetők, kiváló méretpontosságot és végső felületi állapotot biztosítanak.

A mintát többször tűzálló habarcsba (gipsz elefántcsontporral keverve) mártják, és minden egyes bemerítéskor egy kerámiasár-réteg kerül rá a mintára. Később a mintát kivesszük, az öntőformát pedig kemencében kiégetik, így a tűzálló anyag megkeményedik.

Ezzel az eljárással vastartalmú fémeket öntenek és más, magas hőmérsékletű öntésekhez használják, például rozsdamentes acélok és szerszámacélok készítése.

4.22. ábra. A keramikus öntés munkafázisai



### Precíziós öntés

Ennek az eljárásnak a lényege az, hogy viaszból készítenek mintát a kívánt munkadarabról. A mintának pontosan vissza kell adnia a gyártandó munkadarab minden jellemzőjét.

A mintákat öntéssel készítik el: a forró viaszt a megfelelő tűrésekkel rendelkező mester-öntőformába öntik vagy fecskendezik. A tűrések megállapításánál figyelembe veszik a viasz és az öntőfém zsugorodását.

Ezután a mintára bevonatot visznek fel: többször szilíciumdioxid-sárba vagy más, finomszemcsés, tűzálló



anyagba merítik, és így hozzák létre az öntőformát. A tűzálló anyag finom szemcséi sima felületet adnak, ami felveszi a viaszminta felületének részleteit. Végül az öntőformát körülbelül nyolc órán át levegőn megszárítják, és megvárják, amíg megkeményedik.

A kész öntőformát fejre állítják és felhevítik, hogy a viasz megolvadjon és kifolyjon az üregből. Ezután az öntőformát magas hőmérsékletre hevítik, biztosítandó, hogy minden szennyezőanyag eltávozzon belőle, mert ezzel is segítik az olvadék áramlását az üregben.

Az utolsó lépések: a fém betöltése és megszilárdulása, majd az öntőforma szétbontása és leválasztása a kész öntvényről, valamint az egyes részek leválasztása a beömlő rendszerről.

Ezzel az öntési eljárással nagy pontosságú és összetett felépítésű öntvények hozhatók létre. Az eljárást azért hívják viaszveszejtősnek, mert a viaszminta elvész a kiolvasztás során, és minden öntvényhez új mintát kell készíteni.

#### 4.2.1.3 FŐ ÖNTÉSI ELJÁRÁSOK TÖBBSZÖR HASZNÁLTOS ÖNTŐFORMÁKKAL, KOKILLÁKKAL

Két részből álló, könnyen nyitható és zárható, acél öntőformát használnak. Az üreget és a beömlő rendszert az öntőforma két részének forgácsolásával alakítják ki, hogy nagy méretpontosságot és jó végső felületi állapotot érjenek el.

Ezzel az eljárással általában alumíniumot, magnéziumot, rézötvözeteket és – ritkán – szürke vasöntvényt készítenek. A szürke vasöntvény öntési hőmérséklete azonban magas – 1250°C és 1500°C közötti – ami jelentősen lerövidíti az öntőforma élettartamát. Ilyen hőmérsékleteken tűzálló anyagból készült formákra van szükség.

Az öntvény belső felületeinek kialakításához magok elhelyezésére van szükség. Ezek a magok készülhetnek fémből, de alakjuknak lehetővé kell tenni az öntvény eltávolítását a formából, vagy mechanikusan kiserelhetőknek kell lenniük. Ha ez nem valósítható meg, akkor homokmag is használható.

#### Centrifugális öntés

A centrifugális öntés számos, nagy sebességgel forgó öntőformával végzett öntési módszer neve, melynek során az olvadt anyagot a centrifugális erő juttatja el az öntőforma külső részeibe. A csoport tartalmazza a valódi centrifugális öntést, a fél-centrifugális öntést, és a centrifugált öntést.

#### Kisnyomású öntés

Kisnyomású öntéskor a folyékony fémet kis, megközelítőleg 0,1 MPa nyomással préselik be az öntőforma üregébe. Ennél az eljárásnál a fém egy, az öntőforma üregéhez függőlegesen illeszkedő, tűzálló csövön folyik át. Ennek a hagyományos öntéssel szembeni előnye az, hogy az öntőformába nem levegővel érintkező folyékony fémet, hanem az olvasztótégelyben (öntőüstben) lévő olvadék közepéből vett, tiszta fémet nyomnak be. Így a felszíni porozitás és az oxidáció lehetősége csökken, ami jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkező munkadarabot eredményez, továbbá nyomás hatására tömörebb lesz az öntvény.



### Nyomásos öntés öntőszerszámba (kokillába)

Ez többször használatos, fémből készült öntőformával végrehajtható öntési eljárás, melynek során az olvadt fémet nagy nyomással préselik be az öntőüregbe. A nyomást a megszilárdulás alatt fenn kell tartani, majd később, az öntvény kivételéhez az öntőformát ki kell nyitni.

Ezeknek az öntőgépeknek két fő típusa létezik: melegkamrás és hidegkamrás gép. A két típus a fém injektálásának módjában és az alkalmazott nyomásban különbözik egymástól.

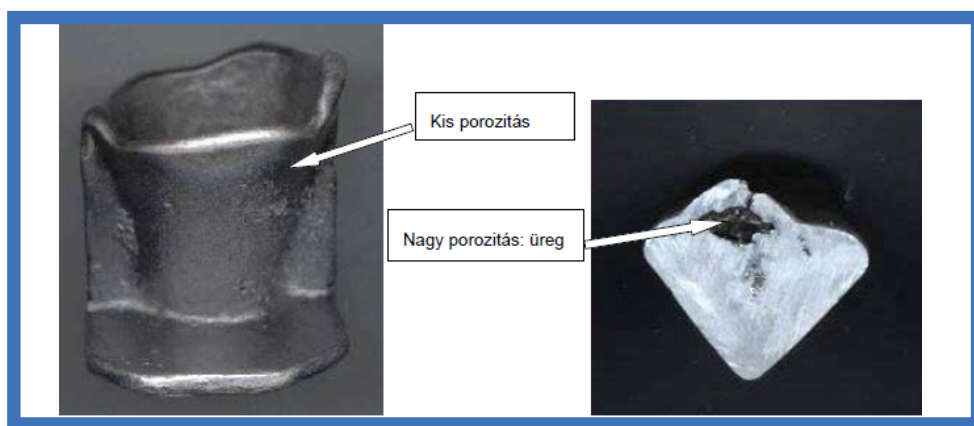
## 4.2.2 ÖNTÉS SORÁN KELETKEZŐ FOLYTONOSSÁGI HIÁNYOK

### 4.2.2.1 ÜREGEK

Az üregek változó méretű, észrevehetően háromdimenziós kiterjedésű, vagy a felületre nyitott, vagy a külső tér felé kapcsolattal nem rendelkező, zárt folytonossági hiányok. Az üregek az alábbiak szerint csoportosíthatók:

1. Zsugorodási üregek vagy lyukak
2. Gázzárványok: pórusok és buborékok

4.23. ábra. Pórusok és azokból képződött üreg



### 4.2.2.2 AZ ÖNTECS ZSUGORODÁSI REPEDÉSEI

Ezek a – felszíni vagy belső – repedések a hűlési folyamat alatti, akadályozott zsugorodás miatt keletkeznek az öntvényekben. Létrejöttük végső soron a túl magas hőmérséklet, a nagy öntési sebesség vagy a túl gyors hűlés okozta belső feszültségre vezethető vissza.

Melegrepedés akkor következik be, amikor a megszilárdulás utolsó vagy a hűtés első fázisában a „nyomásnak nem engedő” öntőforma korlátozza az öntvény megszilárdulás utáni zsugorodását. Ez a folytonossági hiány a fémnek egy olyan pontban bekövetkező szétválása, ahol a természetes zsugorodás pótlásához szükséges olvadék hiánya miatt nagy erők koncentrálnak.



#### 4.2.2.3 KIVÁLÁSOK

A kiválások a fémek bizonyos ötvözőinek helyi feldúsulásai. Jellemzően olvadékok megszilárdulásakor alakulnak ki ott, ahol az ötvöző koncentrációja meghaladja a helyi hőmérsékletnek megfelelő, szilárd fázisbeli oldékonysági küszöböt. Minél magasabb a hőmérséklet, annál nagyobb ez a küszöbérték, azaz annál több ötvözőelem tud a szilárd fémbe – a rácspontokban vagy a rácsközi helyeken eloszolva – feloldódni. (Egyébként ez az összefüggés az olvadékokra is igaz.) A magasabb hőmérsékleten oldódó ötvözőknek lehűléskor ki kell válniuk. Ez a jelenség a szegregáció.

#### 4.2.2.4 ZÁRVÁNYOK

A zárványok nem fémes anyagok – például salakok, oxidok vagy idegen részecskék –, melyek olvadáspontja nagyobb, mint az alapanyagé. Előfordulhatnak mind a felszínen – akár kérget alkotva is –, mind az öntvényen belül.

A nemfémes zárványok nagy hányadát az olvasztott acélhoz a kemencébe, az öntőüstbe vagy az öntőformába adagolt dezoxidáló anyagok (alumínium, szilícium, mangán, stb.) oxidjai és szulfidjai alkotják.

#### 4.2.2.5 HIDEGKÖTÉS

Ha két adag fémolvadékot úgy töltenek be egy öntőformába, hogy az egyik adag túl gyorsan hűl le és nem lesz elegendően forró a másik adaggal való összeolvadáshoz, akkor úgynevezett hidegkötés jön létre. Változó görbületű, sima és kerek peremű folytonossági hiányként jelenik meg. Akkor várható, ha az öntés nem kellően folyamatos, illetve valamilyen okból megszakítják azt.

#### 4.2.2.6 FELÜLETI TÖBBLET VAGY HIÁNY

Ezek az eltérések az öntőforma hibáinak, töréseinek, repedéseinek vagy a két öntőforma fél egymáshoz képesti elmozdulásának a következményei.

1. Dudor.
2. Anyaghiány.
3. Felületi eltérések, hibák.





#### 4.2.2.7 NEM MEGFELELŐ MÉRET ÉS ALAK

Rosszul tervezett vagy hibásan összeállított minta, egyenetlen zsugorodás, torzult öntőforma vagy az öntőforma részeinek pontatlan összeillesztése – például a két öntőforma-fél eltolódása – miatti geometriai eltérések. (Az eltérés azt jelenti, hogy a kész munkadarab mérete és alakja nem egyezik meg a specifikációban előírtakkal.)

Hasonló eltérés származik a mag eltolódásából is. Ez esetben azonban az eltolódás függőleges, mert az olvadék felhajtó ereje felemeli a magot az öntőformához képest

#### 4.2.3 ALAKÍTÁSOK

Az alakítás – pontosabban szólva: a képlékeny alakítás – a fémek és ötvözetek alakjának és méretének megváltoztatására irányuló művelet, amit az anyag képlékeny folyását és deformálódását kiváltó külső erők alkalmazásával valósítanak meg.

##### 4.2.3.1 HIDEG- ÉS MELEGALAKÍTÁS

Melegalakítást az újrakristályosodási hőmérsékletnél nagyobb, de ahhoz közeli hőmérsékleten végeznek. Olyan esetekben alkalmazzák, amikor az anyag nagymértékű alakváltozást eredményező, képlékeny megmunkálására van szükség.

A melegalakítás fő hatásai az alábbiak:

- ◆ Az alakításhoz szükséges erők kisebbek.
- ◆ Az alakítás és az újrakristályosodás egyidejű hatása elősegíti a finomabb szemcseszerkezet létrejöttét.
- ◆ Az anyagban nem lesznek maradó feszültségek.
- ◆ Az anyagszerkezet egységesebb lesz.

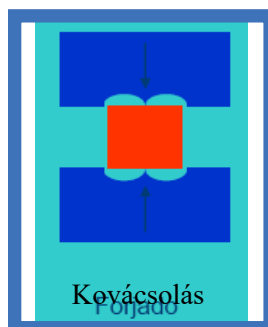
A hidegalakítás jóval az újrakristályosodási hőmérséklet alatt történik. Csak kisebb alakváltozást igénylő esetekben alkalmazandó, ha jobbítani kell az anyag mechanikai jellemzőit és/vagy a kész munkadarab felületének minőségét. Az egymást követő alakítási lépésekben bevitt károsodások összegződnek, a fém felkeményedik.



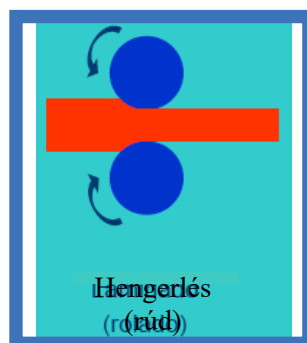


#### 4.2.3.2 FŐ KÉPLÉKENYALKÍTÁSI ELJÁRÁSOK

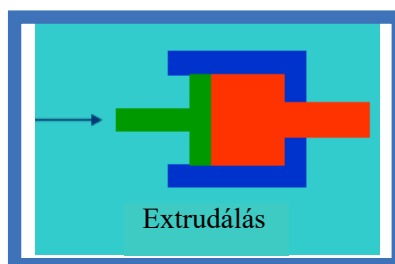
**Kovácsolás és sajtolás** – a kezdeti forma kialakítása kalapáccsal, sajtoló szerszámmal.



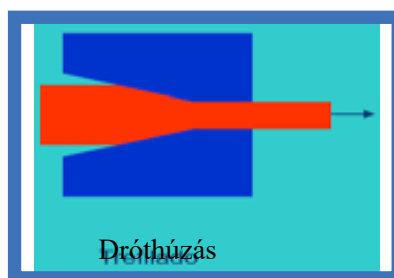
**Hengerlés** – lemezek, rudak, csövek, zártszelvények és más profilok kialakítása



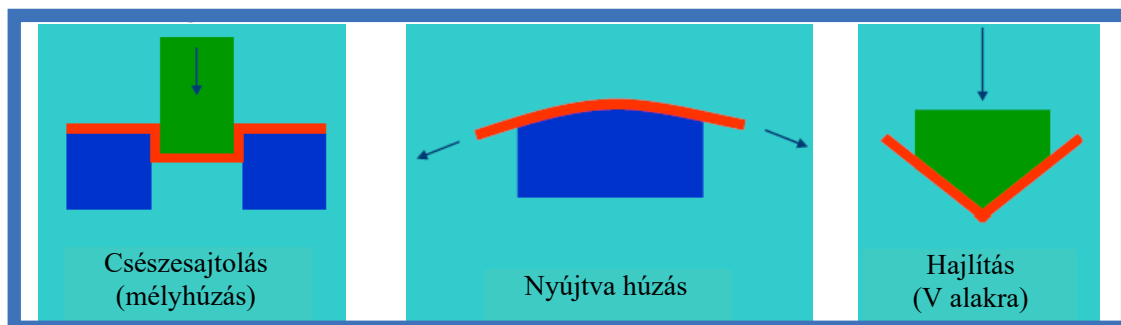
**Extrudálás** – az anyagot meghatározott nyíláson préselik át



**Dróthúzás** – kis átmérőjű rudak, illetve huzalok átmérőjének csökkentése



### Lemezfeldolgozás – lemezek továbbalakítása



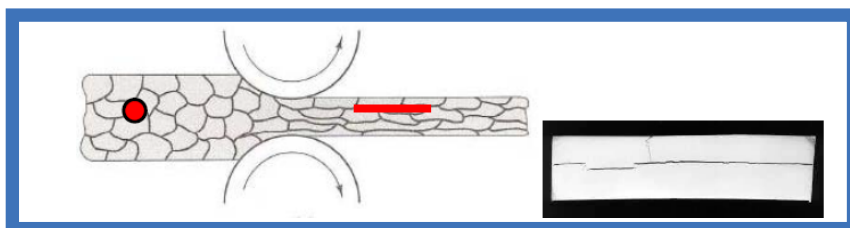
Az ilyen műveletek során általában úgynevezett elsődleges alakítási folytonossági hiányok jönnek létre.

#### 4.2.4 ALAKÍTÁSOK SORÁN KELETKEZŐ FOLYTONOSSÁGI HIÁNYOK

##### 4.2.4.1 RÉTEGZÖDÉSEK, RÉTEG ELVÁLÁSOK ÉS GYŰRŐDÉSEK

Ezek akkor keletkeznek, ha a bugában, tuskóban lévő, belső folytonossági hiányok – például gáz-zárványok, nemfémes zárványok, zsugorodás miatti üregek (lunkerek), belső repedések – a hengerlési folyamat alatt nem hegednek össze, hanem megnyúlnak és ellapulnak és így általában a lemezek vagy bugák felületével párhuzamos folytonossági hiányokhoz vezetnek.

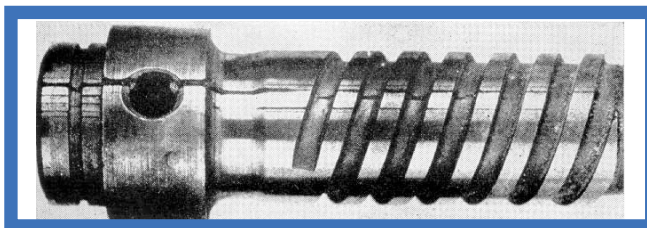
4.24. ábra. Hengerelt lemez rétegződési hibája (rétegeessége)



##### 4.2.4.2 ERESEDÉS

Eresedés az öntés során keletkező fémes zárványokból a hengerlés folyamán alakul ki. Ezek jellemzően felszíni, a hengerlés irányára merőleges vagy azzal párhuzamos folytonossági hiányok.

4.25. ábra. Képlékeny alakítás nyomán a felszínen megjelenő ér



#### 4.2.4.3 RÚDANYAGOKBAN KELETKEZŐ GYŰRŐDÉSEK

Gyűrődések akkor keletkeznek, amikor a felületi anyagfelesleget a hengerek nagy erővel préselik és ezzel kitüremkedést vagy önmagába záródó bemélyedést okoznak, amelyek általában egyenes vagy enyhén ívelt vonalú, a felülettel párhuzamosan futó vagy azzal kis szöget bezáró folytonossági hiányok. Az anyagfeleslegből gyűrődés alakulhat ki, de kevés fém esetén, amikor nincs elegendő anyag a hengersor által megmunkált tér kitöltésére, az anyaghiány melletti tartományt a henger nyomása tömöríti, és így a kész rúdanyagban barázda jön létre.

#### 4.2.4.4 KOVÁCSOLÁSI GYŰRŐDÉSEK

Ezek akkor keletkeznek, amikor valamennyi anyag ráhajlik a felületre, ahhoz erősen hozzátapad, de nem heged össze vele. Az ilyen jellegű hibák nem megfelelő kovácsbélyeg használatára, túlzott mennyiségű kovácsolandó anyagra, vagy az anyag szerszámon belüli rossz elhelyezésére vezethetők vissza. A kovácsolási gyűrődések általában felületre nyitottak és a felszínnel párhuzamosak vagy azzal kis szöget zárnak be.

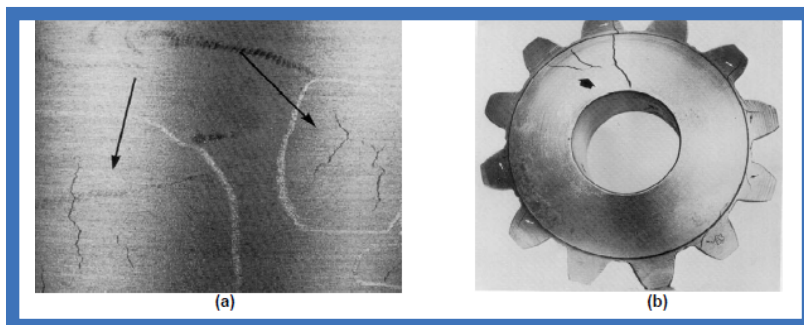
4.26. ábra. Gyűrődések kovácsdarabon



#### 4.2.4.5 HŰLÉS OKOZTA REPEDÉSEK

A munkadarab különböző tartományainak – belső feszültséget és ennek következtében repedést okozó – egyenetlen hűlése miatti folytonossági hiányok (4.27. (a) ábra). Ilyenek különösen könnyen alakulnak ki edzéskor (4.27. (b) ábra).

4.27. ábra. Hűlési (a) és edzési (b) repedések indikációi



#### 4.2.4.6 KOVÁCSOLÁS OKOZTA REPEDÉSEK

Olyan kovácsolási eljárásokra jellemző folytonossági hiányok, melyek során az anyag teljes tömegében, dinamikus módon inhomogén feszültségek keletkeznek, amelyek az anyagot felrepezstik.

A repedések általában a munkadarabnak az alakító szerszámmal viszonyított mozgásirányára merőlegesek. Ha ez a hatás az alakítás közben forgó munkadarabokban érvényesül, akkor torziós repedésekről beszélünk.

4.28. ábra. Kovácsolás okozta repedések

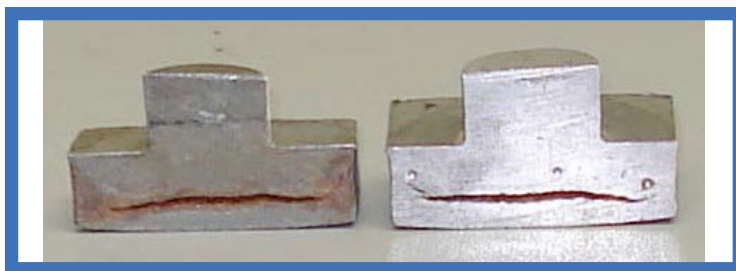


#### 4.2.4.7 SZAKADÁSOK

Ezek olyan képlékeny alakításokra jellemző hibák, melyek során a munkadarabra az anyag állapotához és típusához mérten rendkívül nagy erők hatnak (kovácsolás, sajtolás, stb.). A szakadások az alkalmazott erőre merőleges irányban alakulnak ki, nyitott végű, különböző mélységű folytonossági hiányok formájában.



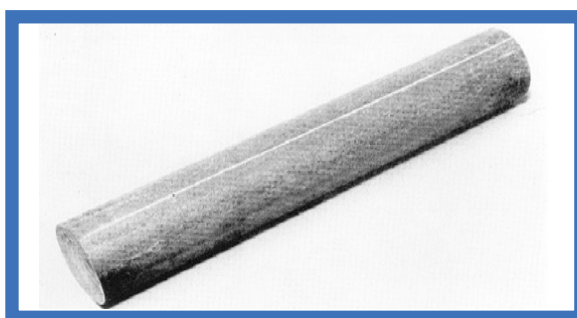
4.29. ábra. Kovácsolásból származó szakadás



#### 4.2.4.8 BARÁZDÁK

Felszíni repedésekből, gyűrődésekből vagy az öntecs felszínéhez közeli gázzárványokból eredő, hengerlés közben kialakuló, felszíni, hosszirányú folytonossági hiányok. Extrudált munkadarabokon a barázdák a szemcsék megnyúlásának irányát követik.

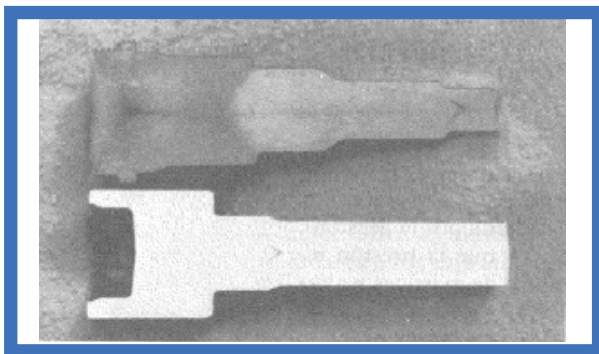
4.30. ábra. Hosszirányú barázda



#### 4.2.4.9 BELSŐ REPEDÉSEK

A belső repedések a deformációs övezet tengelyében kialakuló erőviszonyok miatt keletkeznek akkor, amikor az anyag az alakító szerszámon áthalad. Ebben az övezetben az anyag nagymértékű képlékeny alakváltozáson megy át, ami a középvonal mentén szakadásokhoz vagy belső repedésekhez vezethet.

4.31. ábra. Belső repedés hidegfolyatott csavarokban



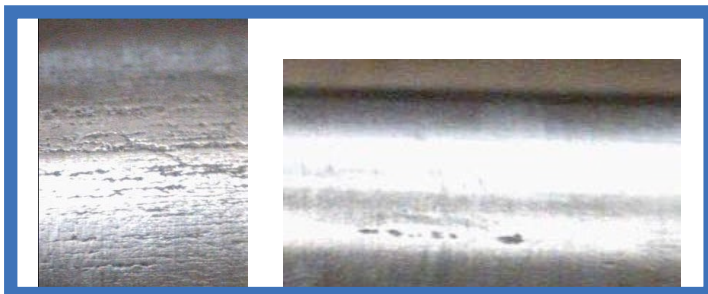
#### 4.2.4.10 BELSŐ SZAKADÁSOK

Ilyenek akkor keletkeznek, amikor az anyagra ható erő tengelyirányú és meghaladja azt az értéket, amit az anyag képlékeny alakváltozással még követni tud. A belső szakadás megjelenése nagyon gyakran másféle belső folytonossági hiányokkal, például salak zárványokkal, hozható összefüggésbe. Az alapanyagtól eltérő összetételű és nagyobb keménységű zárványok jelenléte miatt ugyanis képlékeny alakításkor az anyagban nagy, helyi belső feszültségek keletkezhetnek.

#### 4.2.4.11 DRÓTHÚZÁS ÉS HAJLÍTÁS SORÁN KELETKEZŐ REPEDÉSEK

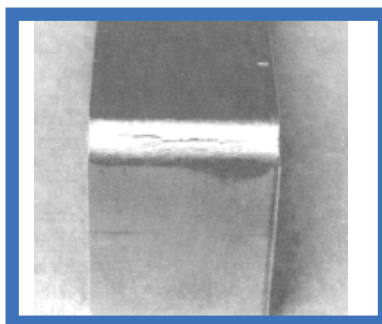
Dróthúzás közben több okból keletkezhetnek repedések a felületen, ha a húzószerszámon való áthaladáskor az anyag szorul és a szerszám felületéhez tapad. Az ilyen repedések – hibás húzószerszám, elégtelen kenés, vagy a huzal felületére tapadt és a szerszám alá kerülő, kemény részecskék miatt – hosszirányú csíkok formájában jelennek meg.

4.32. ábra. Dróthúzásból származó felületi repedések



Hajlítás során, az anyag által elszenvedett deformáció következtében, bizonyos hajlítási szög túllépése esetén a hajlított zóna legnagyobb húzófeszültségnek kitett, külső részén repedések jelenhetnek meg.

4.33. ábra. Hajlítás közben keletkező repedések



#### 4.2.5 FORGÁCSOLÓ MEGMUNKÁLÁSOK

Az öntési vagy képlékeny alakítási eljárásokkal gyártott termékeket a használatba vétel előtt gyakran további megmunkálásnak – a végső formát megadó forgácsolásnak és csiszolásnak – kell alávetni. A forgácsolás és csiszolás célja a fölösleges felületi anyagrétegek eltávolítása, a termék tervezett alakjának és előírt felületi minőségének pontos elérése. A forgácsoló megmunkálásokat ezért másodlagos műveleteknek tekintik.

Az anyagleválasztást különféle forgácsoló szerszámgépekkel – esztergagéppel, marógéppel, fűrőgéppel, köszörűgéppel, stb. – végzik. A forgácsoló megmunkálásoknak sok típusa létezik, de ezek általában a következőképpen csoportosíthatók:

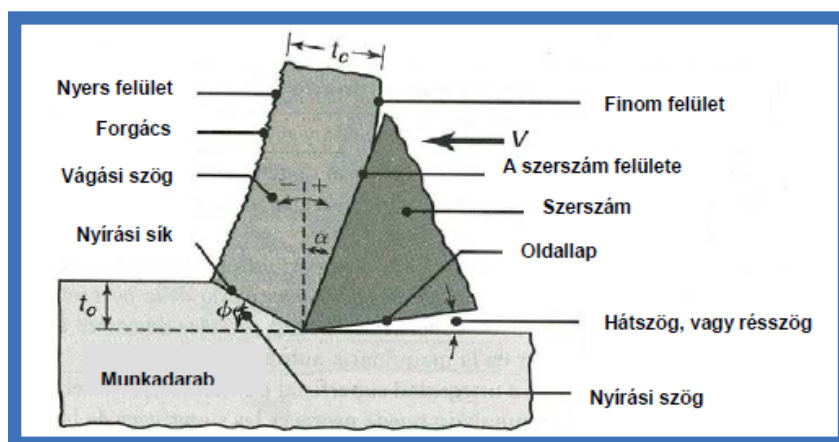
- ◆ **Vágások** (folyamatos forgácsolás késsel): Olyan eljárások, melyek során a leválasztott anyag forgácsnak nevezett, többé-kevésbé folyamatos csíkok formájában távozik. Ezekhez egy vagy több, meghatározott formájú éllel rendelkező megmunkáló szerszámot alkalmaznak.
- ◆ **Abrazív eljárások** (csiszolások): Ezen megmunkálások közben a fölösleges anyag kis részecskék formájában válik le, mint például köszörüléskor és hasonló műveleteknél.

Fejlett megmunkálási eljárások is léteznek, melyekhez elektromos, vegyi, termikus, hidrodinamikai és lézeres technikákat használnak fel.

##### 4.2.5.1 A FORGÁCSOLÁSI FOLYAMAT JELLEMZŐI

Forgácsolással anyagot távolítanak el a munkadarabról, forgácsok formájában. A forgácsok nyírás révén keletkeznek, és úgy válnak le, ahogy egy kártyapakli legfelső lapját szökták lehúzni (felgörbítve a lap szélét).

4.34. ábra. Forgácsolás nyírással és a forgács leválasztásával



Mint minden képlékeny alakváltozással járó folyamatban, a forgácsolás közben disszipált energia is hővé alakul és növeli a forgácsolási zóna hőmérsékletét. A magas hőmérséklet csökkenti a szerszám szilárdságát, keménységét, merevségét és kopásállóságát, és emiatt a szerszám deformálódhat és kilágylhat. A hőmérséklet emelkedése méretváltozásokat von maga után, ami nehezíti a méretpontosság, illetve a tűrések tartását.

A súrlódás és a kopás csökkentése és ezzel a szerszám élettartamának növelése, valamint a munkadarab felületi minőségének javítása érdekében úgynevezett hűtő-kenő folyadékot kell használni. A folyadékellátás, fecskendezés vagy porlasztás útján jut a forgácsolási területre.

#### 4.2.5.2 MEGMUNKÁLÁSI ELJÁRÁSOK

##### Marás

A marás marógéppel, illetve annak marófejébe befogott, számos vágóélet tartalmazó, forgó szerszámmal – a marószerszámmal – végrehajtott forgácsolás.

A marás fontos paramétere a vágási sebesség ( $v$ ), az egy fogra jutó előtolás ( $f$ ) és a vágási mélység ( $d$ ), melyeket minden munkadarab esetében pontosan meg kell határozni.

##### Gyalulás

Gépi forgácsolás, melyet gyalugépnek nevezett berendezéssel végeznek. A megmunkálendő darabot gépsatuba fogják be vagy csavarokkal szorítják le. A gyalulás célja vízszintes, függőleges vagy ferde, sík felületek előállítás a munkadarabon, anyagleválasztással.

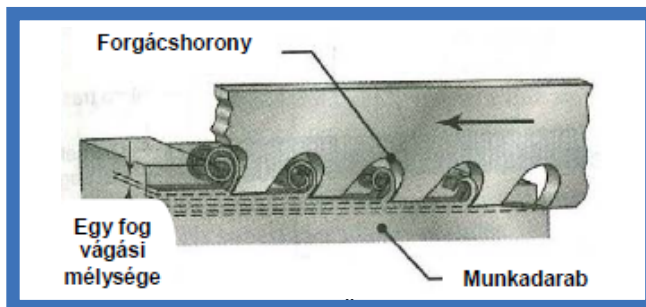
##### Üregelés

Az üregelés bonyolult geometriájú üregek, lyukak vagy nyílások és külső felületek kialakítására szolgáló forgácsolási módszer. A szerszám egy fokozatosan növekvő méretű, sokfogú húzómaró, amit egyenes vonalban áttolnak vagy áthúznak az előkészített furaton, üregen.





4.35. ábra. Üregelés



### Darabolás

A darabolás célja a munkadarab egy részének levágása, illetve több részre vágása. A levágott részeket rendszerint további megmunkálásnak, esetleg alakításnak vetik alá. A darabolás általános eszköze a fűrészgép, a kisebb átmérőjű rudakat és csöveket azonban gyakran esztergagépen darabolják.

### Fúrás

Olyan forgácsolási művelet, melynek során egy forgó szerszám – a fúró – előtolás közben furatot vág az anyagba. A fúró szárát a fúrógép tokmányába fogják be. A furatból kimunkálandó anyagot a fúróhegy élei választják le, és a forgácsot a fúró spirális hornyai hordják ki a furatból. A fúrószár nem vesz részt a forgácsolásban, csak a fúró megtámasztását, a fúróhegy megvezetését és a forgács eltávolítását biztosítja.

### Csiszolószerszámmal végzett megmunkálások

Ilyen megmunkálások a köszörülés, a hónolás és a polírozás. A csiszolószerszámok felületén vagy teljes térfogatában kemény, éles, szabálytalan alakú, kisméretű részecskék vannak, melyek a főleges anyagot apró forgácsok vagy por formájában választják le a munkadarab felületéről. Ilyen csiszolószerszámok, például, a csiszolótárcsák, a köszörűkövek, valamint a csiszolópapírok és -vásznak.

Az abrazív anyag lehet alumíniumoxid, szilíciumkarbid, bórnitrid és gyémánt.

A csiszolóanyag szemcseméretét, illetve a csiszolás finomságát a szemcseszámmal adják meg. Minél nagyobb a szemcseszám, annál kisebb a szemcseméret.

### Durvább felületeket eredményező megmunkálások

Szemcseszórás (abrazív levegősugárral végzett kezelés):

Az eljárás lényege az, hogy csiszoló hatású részecskéket fúvatnak száraz levegővel vagy nitrogén-sugárral a munkadarabra. A felület tisztítására, elsősorban revétlenítésére használják.

### Sörétszórás:

A szemcseszórással azonos módszer, azzal a különbséggel, hogy a munkadarabra fúvott részecskék változó (0,1–0,8 mm) méretű fémszemcsék.



**Vágó eljárások**

- ◆ Lézeres vágás.
- ◆ Elektronsugaras vágás.
- ◆ Plazmasugaras vágás.
- ◆ Vízugaras vágás.
- ◆ Lángvágás.

**4.2.6 FORGÁCSOLÁS SORÁN KELETKEZŐ FOLYTONOSSÁGI HIÁNYOK**

A forgácsoló megmunkálások során keletkező folytonossági hiányok a megmunkáló szerszámok nem megfelelő teljesítményével, helyi túlmelegedéssel és a nem kellő hűtéssel függnek össze.

**4.2.6.1 HASADÁSOK**

Nem megfelelő teljesítményű szerszámmal végzett megmunkálás miatt keletkező kis anyagszétválások. Ezek általában rövidек, fogazottak és a megmunkálás irányára merőlegesek.

**4.2.6.2 KÖSZÖRÜLÉS OKOZTA REPEDÉSEK**

Kemény, fémes felületeken helyi túlmelegedés, túl nagy fogásmélység vagy túlzott köszörülési sebesség miatt képződő finom repedések. A túlmelegedést a nem kielégítő mértékben hűtött szerszámmal végzett megmunkálás okozza.

**4.2.6.3 FORGÁCSOLÁSI REPEDÉSEK**

Olyan folytonossági hiányok, amelyek rosszul beállított – az anyag leválasztása közben az anyag keményedéséhez vezető – megmunkálás esetén jönnek létre. A keménység növekedése a forgácsolási mélységtől, a megmunkáló szerszám élének minőségétől, a megmunkálandó anyag jellemzőitől és a szerszám geometriájától függ.

A megmunkálás után visszamaradó nyomok feszültséggyűjtő helyek és hozzájárulhatnak az alkatrész idő előtti meghibásodásához. Az indikációk általában nagyon finom és nagyon kontúros vonalakból álló háló formájában jelennek meg.



#### 4.2.6.4 HÓNOLÁSI REPEDÉSEK

Hónoló megmunkálás során (például belső égésű motorok hengereinek felületén) keletkező csekély mélységű, éles, felületi folytonossági hiányok, amelyek az abrazív megmunkáláskor a nem megfelelő hűtés, a túl nagy forgácsolási sebesség, vagy a túl sok egy menetben leválasztott anyagmennyiség és az ezekből következő túlmelegedés számlájára írhatók. Irányuk a hónolás irányára merőleges.

#### 4.2.7 HEGESZTÉSI ELJÁRÁSOK

##### 4.2.7.1 BEVEZETŐ

A hegesztés olyan gyártási eljárás, mellyel két anyag – általában fémek vagy hőre lágyuló műanyagok – között hővel vagy hővel és erőhatással oldhatatlan kötést, tehát kohéziós kapcsolatot hoznak létre. Leggyakrabban úgynevezett ömlesztő hegesztést végeznek, amelynél az összekötendő anyagokat megolvasztják. A művelet során megolvad a hozaganyagnak nevezett hegesztőanyag is, és az olvadékok összekeverednek, majd együtt megszilárdulva létrehozzák a kötést – azaz a varratot. Az olvadékok keveréke az ún. hegfürdő.

Esetenként egyidejű nyomással és hővel, vagy önmagában nyomással hegesztenek. Ez különbözik a lágy- és keményforrasztástól, melynek során két munkadarabot alacsony olvadáspontú, megolvasztott forrasztóanyaggal rögzítenek egymáshoz, a munkadarabok megömlesztése nélkül.

A hegesztéshez számos különböző energiaforrás alkalmazható, mely lehet gázláng, villamos ív, lézernyaláb, elektronsugár, súrlódás és ultrahang. Az ömlesztő hegesztések közül a legelterjedtebb az, amelynél a két fém egyesítéséhez szükséges energiát villamos ívből nyerik (ívhegesztés). Hőre lágyuló anyagok ömlesztő hegesztéséhez valamilyen szerszámmal vagy forró gázzal való közvetlen érintkezés révén biztosítják a szükséges hőt.

##### 4.2.7.2 A HEGESZTÉSI ELJÁRÁSOK OSZTÁLYOZÁSA AZ MSZ EN ISO 4063:2016 JELŰ SZABVÁNY SZERINT

A hegesztési eljárásokat az MSZ EN ISO 4063:2016 jelű, nemzetközi szabvány tartalmazza. Meghatározza a hegesztések nevét és a hozzájuk tartozó eljárásokat; valamint minden egyes eljárást hivatkozási számmal azonosít.

A fő eljárások a következők:

- ◆ 111. Kézi ívhegesztés bevonatos elektródával.
- ◆ 114. Ívhegesztés porbeles huzalelektrodával.
- ◆ 121. Fedett ívű hegesztés tömör huzalelektrodával.
- ◆ 122. Fedett ívű hegesztés szalagelektrodával.
- ◆ 131. Ívhegesztés tömör huzalelektrodával és védőgázzal (MIG-hegesztés).
- ◆ 135. Ívhegesztés tömör huzalelektrodával és aktív gázzal (MAG-hegesztés).

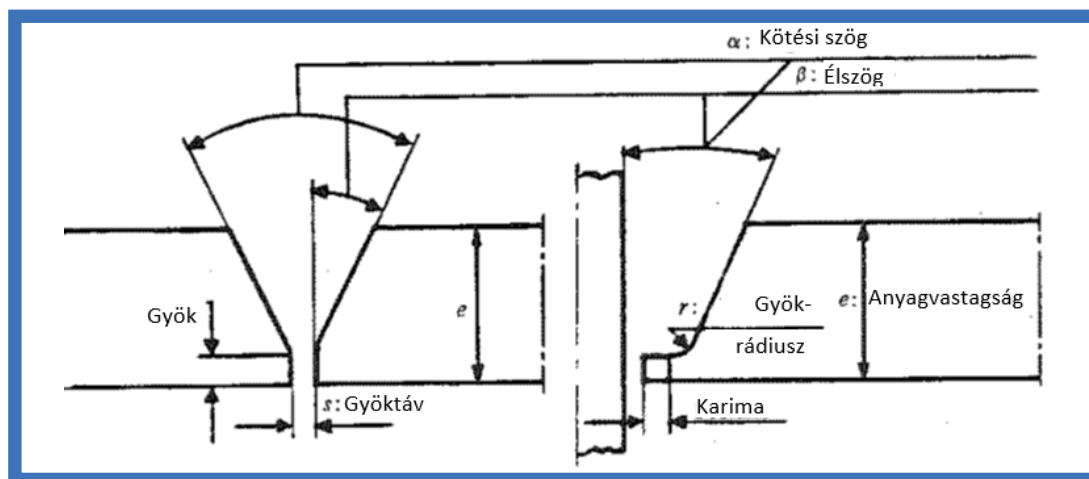


- ◆ 136. Ívhegesztés porbeles huzalelektrodával és aktív védőgázzal (MAG-hegesztés).
- ◆ 138. Ívhegesztés fémpor beles huzalelektrodával és aktív védőgázzal (MAG-hegesztés).
- ◆ 141. Nem fogyóelektrodás ívhegesztés semleges gázzal (TIG-hegesztés).
- ◆ 311. Autogén hegesztés (gázhegesztés/lánghegesztés).

#### 4.2.7.3 HEGESZTETT KÖTÉSEK TERVEZÉSE ÉS GEOMETRIÁJA

A hegesztés végrehajtása előtt vágásra és élőkészítésre van szükség. A jó kötés érdekében a megfelelően elvégzett vágás és előkészített él alapvető fontosságú.

4.36. ábra. A hegesztett kötések tervezésében használt terminológia



A hegesztendő felületek (élek) előkészítésének módjától függően öt különböző kötéstípust különböztetnek meg: tompakötés, sarokkötés, átlapolt kötés, L-kötés (külső sarokkötés) és homlokkötés. Tompakötések élőkészítései

| Tompakötések élőkészítései |                                                                                                                                   |  |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Derékszögű                 | 6 mm vastagságig és 3 mm gyöktávig alkalmazható, kétoldali hozzáférés mellett.                                                    |  |
| V alakú                    | 4 – 15 mm az ajánlott anyagvastagság<br>A nyílásszög csökkentésével akár 30 mm vastagságú anyag is hegeszthető                    |  |
| X vagy kettős V alakú      | 15 – 100 mm vastagságú anyagokhoz ajánlható, mivel a hegesztés által létrehozott feszültségeket a kétoldali hegesztés kompenzálja |  |



|                |                                                                                                                           |  |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| U alakú        | akkor alkalmazzák, amikor a munkadarab csak egy oldalról hozzáférhető a V alakút helyettesítheti nagy anyagvastagságoknál |  |
| Kettős-U alakú | hasonlóan a kettős-V alakhoz – csak mindkét oldaluk felől hegeszthető munkadarabokon szabad létrehozni                    |  |

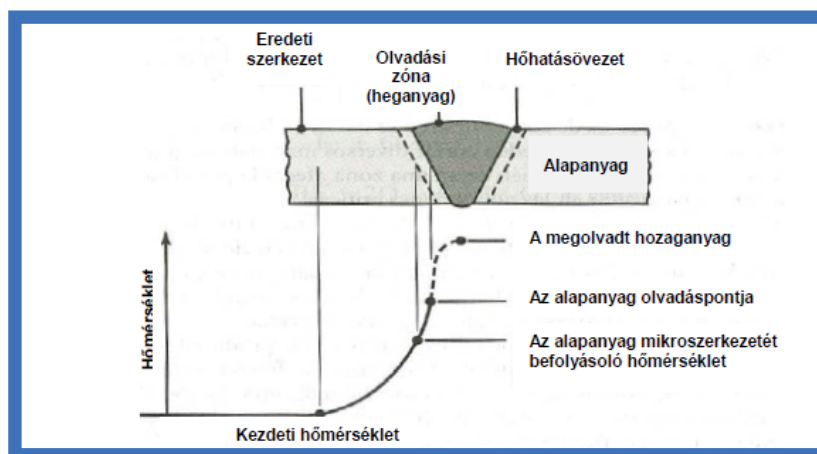
| Sarokkötések élelkészítései |                                                                                                                             |  |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Derékszögű                  | Akkor alkalmazható, ha nincs szükség teljes átolvadásra                                                                     |  |
| Fél-K alakú                 | Akkor készítenek ilyen, ha teljes átolvadást kell elérni, és a kötéshez csak egy oldalról lehet hozzáférni.                 |  |
| K alakú                     | Akkor alkalmazzák, ha a kötés mindkét oldalról hozzáférhető, és a munkadarab vastagsága meghaladja a 15 mm-t.               |  |
| Fél-U vagy J alakú          | Ilyen élt nagyon vastag alapanyag esetében célszerű kialakítani, ha a lerakandó hozaganyag mennyiségét csökkenteni akarjuk. |  |

### Hegesztési zónák

A hegesztés folyamata alatt az alapanyag és a hozaganyag igen magas hőmérsékletre hevül fel, ami hatással van azok kémiai összetételére, valamint a hegesztett kötés és környezete lehűlés utáni metallurgiai szerkezetére és mechanikai tulajdonságaira.

A hegesztés kapcsán a következő zónákat különböztetik meg:

4.37 ábra. A normál zónás ömlesztő hegesztések jellemzői

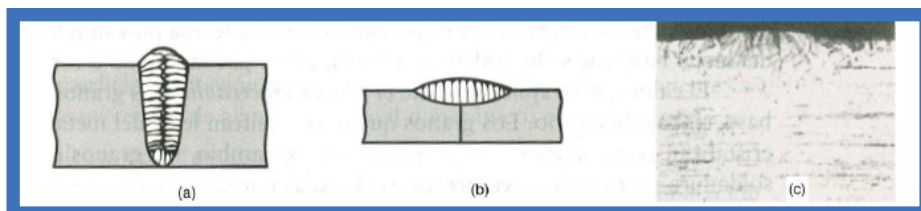


#### A heganyag megszilárdulása

A folyamat az öntéshez hasonló, mivel az anyag környezeti hőmérsékleten szilárdul meg, és a hőáram mentén hosszú oszlopokból álló – dendrites – szemcseszerkezet jön létre. A szemcsék normál esetben párhuzamosak a hegesztett lemezek síkjával. A varrat szerkezetét, a szemcsék alakját befolyásolja a hegesztés módja és paraméterei, az alapanyag és a hozaganyag minősége, továbbá az, hogy történt-e előmelegítés.

A szemcsék nagyok (alacsony hőmérséklet), így a heganyag kis szilárdsággal, szívóssággal és képlékenységgel rendelkezik. Ezek a paraméterek a hozaganyag helyes megválasztásával és/vagy hőkezeléssel javíthatók. Az előmelegítés is hasznos lehet, sőt jó hővezetőképességű anyagok (például alumínium és réz) esetében kimondottan fontos, mert ennek hiányában a hegesztés alatt keletkező hő gyorsan disszipálódik és eloszlik az alapanyagban.

4.38. ábra Szemcseszerkezet teljes (a) és sekély (b) mélységű áthegesztés után. Hidegen hengerelt nikkelszalagon lézersugárral készített varrat csiszolati képe (c).

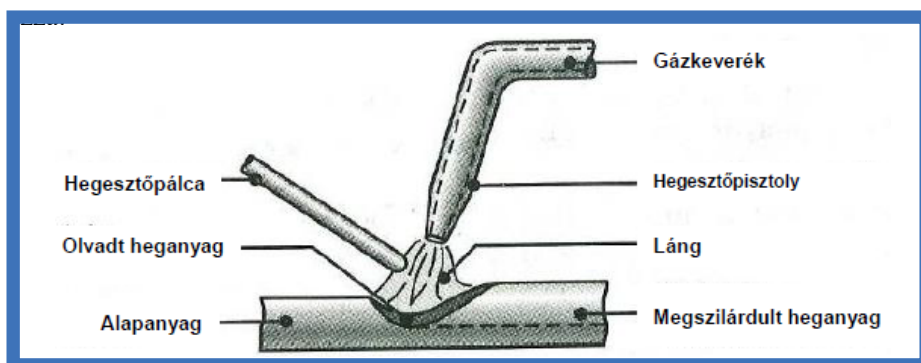


#### 4.2.7.4 GÁZHEGESZTÉS (LÁNGHEGESZTÉS)

Ezt az eljárást az MSZ EN ISO 4063:2016 szabvány a 311-es számmal, míg az AWS-kód, ha az éghető gázacetilén (más néven: disszugáz), akkor oxi-acetilén hegesztésként (OAW) azonosítja. A szakmában régóta elterjedt elnevezése: autogén hegesztés.

Az eljárás lényege az, hogy egy gázkeverék – normál esetben acetilén (éghető komponens) és oxigén (égést tápláló komponens) – elégetésével fejlesztik az olvasztáshoz szükséges hőt. A hozaganyagot csupasz vagy az összeolvadást elősegítő szerrel bevont hegesztőpálca tartalmazza.

4.39. ábra Oxigénnel és éghető gázzal végzett hegesztés elve

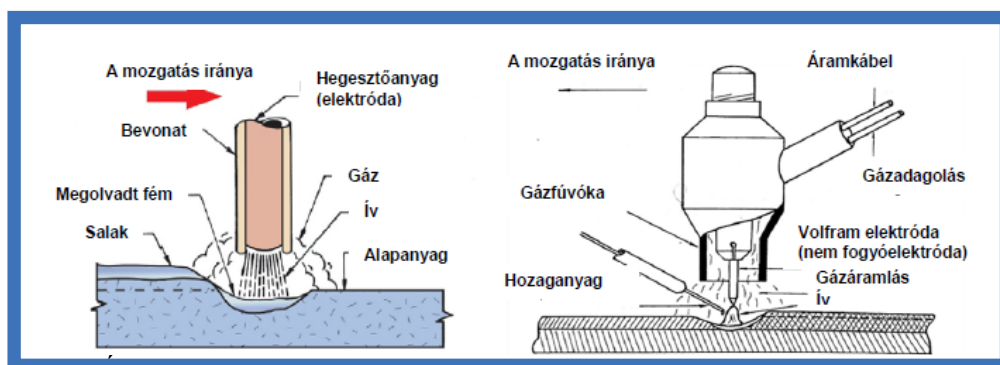


Az eljárás lassú, kis termelékenyséű és csak 6 mm-nél vékonyabb anyagoknál célszerű használni, mert bár vastagabb anyagok is hegeszthetők így, de azok ívhegesztéssel gazdaságosabban.

#### 4.2.7.5 ÍVHEGESZTÉS

Az eljárás a hegesztendő munkadarab és az elektróda közötti villamos ív létrehozásán alapul. Az akár 10.000°C hőmérsékletű ív szolgáltatja a hegesztéshez szükséges hőt. Az elektróda lehet fogyó- és nem fogyóelektróda. Az előbbi anyaga megolvad és a megolvadt alapanyaggal együtt képezi a varratot, míg az utóbbi használatakor külön hozaganyagra van szükség.

4.40. ábra Ívhegesztés bevonatos fogyóelektródával (balra), illetve semleges gázzal és nem fogyó volfrám elektródával (jobbra)



#### Ívhegesztési eljárások:

**SMAW** (Shielded Metal Arc Welding): Kézi ívhegesztés bevonatos elektródával

Az eljárás jele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 111

**GMAW** (Gas Metal Arc Welding): Védőgázos ívhegesztés huzalelektródával, MIG/MAG

Az eljárás jele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban, a gáz fajtájától függően, 131 (inert – azaz semleges – gáz, MIG) vagy 135 (aktív gáz, MAG)

**FCAW** (Flux-Cored Arc Welding): Ívhegesztés porbeles leolvadó elektródával

Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 114 (gáz nélkül) vagy 136 (gázzal)

**MCAW** (Metal-Cored Arc Welding): Ívhegesztés fémporbeles huzalelektródával

Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 138

**SAW** (Submerged Arc Welding): Fedett ívű hegesztés

Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 121 (tömör huzalelektróda) vagy 122 (szalagelektróda)

**TIG** (Tungsten Inert Gas Arc Welding): Volfrám elektródás, inert gázos ívhegesztés

Az eljárás számjele és rövidítése az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 141, illetve TIG

**PAW** (Plasma Arc Welding): Nem fogyóelektródás, plazmaíves hegesztés

Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 15





## Elektrogáz hegesztés

Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 73

### 4.2.7.6 ELLENÁLLÁS-HEGESZTÉSEK

Az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 2-es számú eljárasként jelölt ellenállás-hegesztés során a szükséges hőenergiát a hegesztendő munkadarabok felületei közötti, viszonylag nagy átmeneti ellenálláson átfolyó, nagy intenzitású elektromos áram kelti. Az átmeneti ellenállás függ a kötés konfigurációjától és az anyagok elektromos vezetőképességétől. Ellenállás-hegesztésnél hozaganyagot nem alkalmaznak.

Az áram átfolyása közben és után össze kell nyomni a hegesztendő felületeket. Az ellenállás-hegesztés alatt keletkező hőmennyiséget a Joule-törvényből számíthatjuk ki:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

ahol

$Q$  = a keletkező hőenergia (W),

$I$  = áramerősség (váltóáram esetén effektív áramerősség) (A),

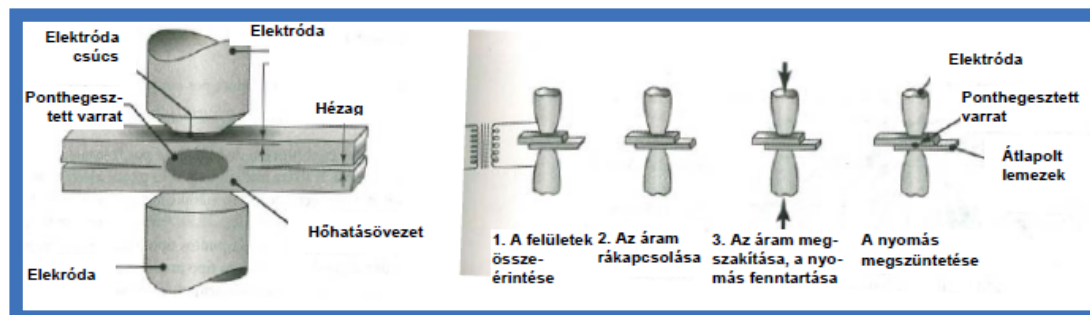
$R$  = az átmeneti ellenállás ( $\Omega$ )

$t$  = az áram átfolyásának időtartama (s).

Az ellenállás-hegesztések körébe tartoznak az alábbi módszerek:

- ◆ ponthegesztés (21, RSW = Resistance Spot Welding).
- ◆ vonalhegesztés (22, RSEW = Resistance Seam Welding).
- ◆ dudorhegesztés (23, RPW = Resistance Projection Welding).
- ◆ leolvasztó tompahegesztés vagy szikrahegesztés (24, FW = Flash Welding).
- ◆ zömítő tompahegesztés (25).
- ◆ nagyfrekvenciás hegesztés (29, HFRW = High-Frequency Resistance Welding).

4.41. ábra. A ponthegesztés elve (balra) és lépései (jobbra)





#### 4.2.7.7 ELEKTROSALAKOS HEGESZTÉS

Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 72, AWS-kódja ESW (Electroslag Welding).

Az alapanyag és a hozaganyag megömlesztésére ennél az eljárásnál is elektromos ívet használnak. A megolvadt fémbe juttatott fedőpor ugyancsak megolvad és egyre mélyebb salakfürdőt alkot, ami vezeti az elektromos áramot. Amint a salak hőmérséklete és vezetőképessége növekszik, az ív kialszik, és az olvadt salakon átfolyó hegesztő áram – az ellenállás-hegesztésekhez hasonlóan – Joule-hőt kelt. A salak ellenállása elég nagy a szükséges hőenergia előállításához. Mindeközben a salaknak egy másik, fontos szerepe is van: védi a hegfürdőt az atmoszférikus hatásoktól.

Ezzel az eljárással 50–900 mm vastagságú lemezek hegeszthetők, függőleges vagy ahhoz nagyon közeli pozícióban.

A lerakási sebesség nagy, ugyanakkor a varratfém és a hőhatásövezetbeli anyag szívóssága nem elég nagy, ami a durva szemcseszerkezetnek köszönhető. Emiatt a hegesztés után még hőkezelní kell a munkadarabot.

#### 4.2.7.8 LÉZER- ÉS ELEKTRONSUGARAS HEGESZTÉS

A lézersugaras eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 52, AWS-kódja LBW (Laser Beam Welding).

A lézersugaras hegesztés olyan ömlesztő eljárás, melynek során lézersugár által szállított energia olvasztja meg a hegesztendő anyagokat, majd az olvadt fémek megszilárdulásával jön létre a munkadarabok között a megfelelő kötés. Az energiaforrás tehát elektromágneses sugárzás. A lézerberendezés monokromatikus (egyszínű, azaz jól meghatározott hullámhosszúságú), alapvetően párhuzamos sugarakból álló nyalábot állít elő, aminek igen csekély a széttartása, ezért nagy távolságokon sem csökken számottevően az intenzitása. A lézersugár kis területekre fókuszálható, ami nagy energiasűrűséget eredményez.

Lézersugaras hegesztés esetén nincs szükség hozaganyagra, a kötés a hegesztendő zóna felhevítése révén alakul ki. Nagyon jó eredménnyel alkalmazható alumínium-, titán- és szuperötvözetek esetében.

A fő előnyök a következők:

- ◆ Vastag munkadaraboknál is alkalmazható.
- ◆ Nagyon keskeny varratok készíthetők.
- ◆ Nagyon kicsi a hőhatásövezet kiterjedése.

Az elektronsugaras eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 51, AWS-kódja EBW (Electron Beam Welding).

Ennél az eljárásnál az anyag megömlesztéséhez szükséges hő nagy energiasűrűségű elektronsugár szolgáltatja. Az elektronnyaláb szóródásának elkerülése érdekében a nyaláb forrását és a mun-



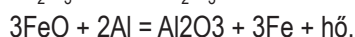
kadarabokat általában (közös) vákuumkamrába helyezik, ami növeli a költséget és – a hegesztendő munkadarab geometriájától függően – bizonyos nehézségeket jelent.

Az elektronsugaras hegesztés egyfelől előnyös, mert nagy anyagvastagságok esetén is használható, valamint nagyon keskeny varratot és hőhatásövezetet eredményez. Másfelől hátrányos, mert drága, mert a vákuumkamra korlátozza az alkalmazhatóságát, és mert a művelet közben röntgensugárzás keletkezik, ami külön védőintézkedéseket igényel.

#### 4.2.7.9 TERMITHEGESZTÉS

Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2011 szabványban 71, AWS-kódja TW (Thermite Welding).

Ez az – egyik legrégebbi – eljárás azon alapul, hogy az alumínium tiszta vassá redukálja a vas oxidjait. Ezeket az erősen exoterm (hőfejlődéssel járó) kémiai folyamatokat a következő reakcióegyenletek írják le:



4.42. ábra. Termithegesztés – a termitpor égése és így módon összekötött sínvégek



Manapság leggyakrabban vasúti sínek és csövek kötésére, valamint hibás vagy törött öntvények javítására alkalmazzák. Az összehegesztendő élekre tűzálló tartályt illesztenek, és az abba beletöltött – vasoxid és alumínium por keverékéből álló – termitport begyújtják. A begyújtás után a reakció nagyon gyors. A hőfejlődés hatására a redukált vas (termitacél) megolvad és mintegy hozaganyagként az élek közé folyik. Van olyan eset, amikor csak a képződött salak hőtartalmát használják fel a hegesztés céljára, a termitacélt nem.

#### 4.2.7.10 ÖMLESZTÉS NÉLKÜLI HEGESZTÉSEK

Hideghegesztés – az egyesítendő felületeket szobahőmérsékleten a folyáshatáruknál lényegesen nagyobb feszültséggel egymáshoz nyomják. AWS-kódja CW (Cold Welding).

Dörzshegesztés – az egyik hegesztendő munkadarabot rögzítik, a másikat pedig, állandó összenyomó erő alkalmazása mellett, forgatják, majd – a kellő hőmérséklet elérésekor – a forgást leállítják és a nyomóerőt jelentősen megnövelik. AWS-kódja FRW (Friction Welding).

Ütvehegesztés – töcsavarok, csapszegek egyidejű intenzív nyomással és nagy áramú ívvel való hegesztésére szolgál. Ív az előzetesen egymáshoz nyomott és árammal átjárt felületek széthúzásakor keletkezik. A kötés robbanásszerűen, ezredmásodpercek alatt jön létre, amikor a felizzott felületeket nagy sebességgel ismét összenyomják. AWS-kódja PEW (Percussion Welding).

Diffúziós hegesztés – szorosan érintkező felületek között, mérsékelt nyomással, magas hőmérsékleten (az olvadáspont 50–70%-án) hoznak létre kötéseket. AWS-kódja DFW (Diffusion Welding).

Ultrahangos hegesztés – a hegesztett kötés a munkadarab felületén lokálisan keltett, nagyfrekvenciájú rezgés energiája révén jön létre. A művelet közben a munkadarabok érintkeznek egymással és mérsékelt, izosztikus nyomásnak vannak kitéve. AWS-kódja USW (Ultrasonic Welding).

Robbantásos hegesztés – az egyik vagy mindkét munkadarabra felvitt robbanóanyag (például lőpor) réteget felrobbantják, és a detonáció a két felületet összepréseli, mechanikailag egymáshoz köti.

#### 4.2.7.11 KEMÉNY- ÉS LÁGYFORRASZTÁS

Kemény- vagy lágyforrasztás estén az összekötendő munkadarabok anyagától eltérő kötőanyagot – forrasztanyagot – használnak. A forrasztanyag a művelet során megolvad, az olvadáspontja alacsonyabb az alapanyagok olvadáspontjánál. A kapilláris hatás miatt a folyékony állapotú forrasztanyag beszívárog az összekötendő két munkadarab közé, ott szétterjed és kitölti a hézagot. Általában metalurgiai kötés jön létre az alapanyag és a közbeiktatott forrasztanyag között.

Attól függően nevezik kemény-, illetve lágyforrasztásnak a műveletet, hogy a forrasztanyag olvadáspontja 450°C felett vagy alatt van-e.

A szükséges hő többféleképpen lehet előállítani: lánggal, kemencében, elektromos árammal (páka), indukciós hevítéssel, stb. A forrasztanyagnak ellenállónak kell lennie a galvanikus kapcsolat vagy a diffúzió miatti korrózióval szemben.

#### 4.2.7.12 MECHANIKAI KÖTÉSEK

A mechanikai kötéseket kötőelemekkel vagy azok alkalmazása nélkül valósítják meg. A kötőelem nélküli változatokat szokás alakokkal záróknak is nevezni, míg a kötőelemesek elsősorban erővel, illetve anyaggal zárnak. Az ilyen típusú kötések létesítése során az alkatrészek között vagy oldható, vagy oldhatatlan kapcsolat jön létre.



Oldható kötés esetén az alkatrészek roncsolás, károsodás nélkül szétválaszthatók. Az előbbire példa a csavaros kötés, az utóbbira a szegecselés.

Tipikus kötőelemek a csavarok, anyák, szegecsek, csapok és reteszek, melyekhez előzetesen furatokat, illetve hornyokat kell kialakítani a munkadarabokban.

#### 4.2.7.13 HEGESZTÉSKOR ELŐFORDULÓ, GYAKORIBB TECHNOLÓGIAI HIBÁK

A különböző hegesztési eljárások során elkövetett technológiai hibák következményeként alakulhatnak ki a hegesztett kötések eltérései, folytonossági hiányai.

A szokásos technológiai hibák a következők:

- ◆ hibásan megválasztott áramerősség és/vagy feszültség,
- ◆ nagyon kicsi vagy nagyon nagy sebességek,
- ◆ nem megfelelő távolságok az elektród és a munkadarab között (rövid vagy hosszú ív),
- ◆ túlságosan gyors lehűlés,
- ◆ nem megfelelő tisztaság a varratsorok között,
- ◆ nem megfelelő típusú elektródák,
- ◆ hibás vagy rosszul konzervált elektródák,
- ◆ védőgázzal kapcsolatos hiányosságok,
- ◆ nem megfelelő kötés-előkészítés,
- ◆ nem kellően tiszta felületek,
- ◆ nem megfelelő környezeti feltételek.

#### 4.2.8 ÖMLESZTŐ HEGESZTÉS SORÁN KELETKEZŐ ELTÉRÉSEK

Az ömlesztő hegesztés során keletkező eltérések – melyekbe definíció szerint beletartoznak a folytonossági hiányok is – osztályozásához és precíz leírásához az MSZ EN ISO 6520-1 szabvány szolgál alapul. A tévedések elkerülése érdekében az eltéréseket magyarázatok vagy, ha szükséges, képek segítségével definiálja.

*Eltérés:* folytonossági hiány a varratban vagy különbség a tervezett geometriához képest.

*Hiba:* nem megengedett (mértékű, típusú) eltérés.

A szabvány az eltéréseket hat fő csoportba sorolja be:

- ◆ repedések,
- ◆ üregek,
- ◆ szilárd zárványok,
- ◆ összeolvadási hiány és hiányos átolvadás,
- ◆ alak- és méret eltérések,
- ◆ egyéb eltérések.

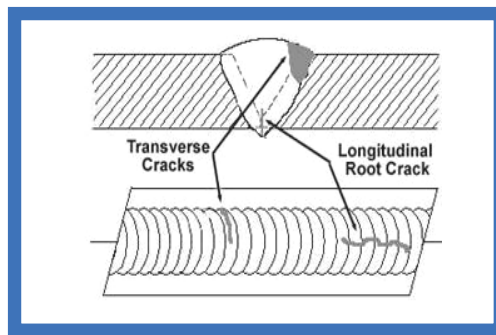


#### 4.2.8.1 REPEDÉSEK

Repedések – illetve az azokat kiváltó feszültségek – elsősorban az alábbi okok miatt jelennek meg:

- ◆ túl nagy áramintenzitás,
- ◆ gyors lehűtés,
- ◆ túlzott mértékű megfogás,
- ◆ helytelen hegesztési sorrend,
- ◆ nem elegendő mértékű előmelegítés,
- ◆ varratok találkozása (csomópontok).

4.43. ábra. Példa varratbeli repedésekre: keresztirányú a varratdudorban (balra) és hosszirányú a gyökben (jobbra)



Előforduló repedéstípusok:

- ◆ Melegrepedés.
- ◆ Hidegrepedés.
- ◆ Réteges tépődés (elsősorban sarokvarratoknál fordul elő).
- ◆ Hőkezelés okozta repedés.

#### 4.2.8.2 ÜREGEK

Minden üreg a megolvadt fém belsejében kialakuló anyagihiányra vezethető vissza. A hiányzó olvadék helyét gázok foglalják el.

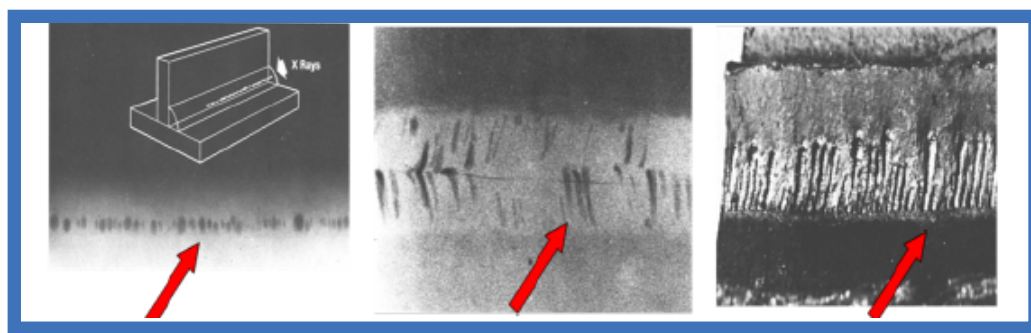
Az üregek megjelenésének fő okai a következők:

- ◆ nem tiszta kötési élek,
- ◆ festék vagy zsír jelenléte,
- ◆ nedves elektróda-bevonat vagy bevonat nélküli vég.

A különböző üregtípusok alakjuktól, helyüktől, csoportos voltuktól és a kiváltó októl függően osztályozhatók:

- ◆ Gázzárványok, gázpórusok.
- ◆ Tömlő alakú gázzárványok.
- ◆ Egyenletes gázporozitás.
- ◆ Kezdeti pórusok.
- ◆ Felületi porozitás.
- ◆ Mikroporozitás.
- ◆ Zsugorodási üregek,

4.44. ábra. Tömlő alakú gázzárványok röntgenfelvételeken (balra és középen) és egy varrat metszetének mikroszkópos képén (jobbra)

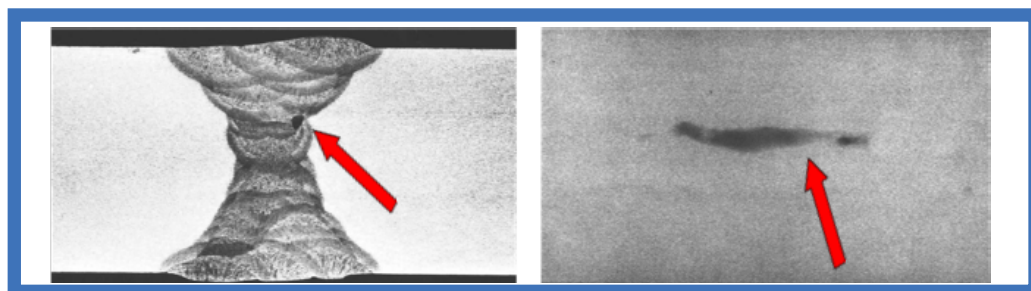


#### 4.2.8.3 SZILÁRD ZÁRVÁNYOK

##### Salakzárványok, folyósítószer zárványok

A varratokban akkor keletkeznek zárványok, ha a megolvadt fémben végbemenő reakciók következményeként az elektróda-bevonatból vagy a hegesztéskor képződő salakból szilárd részecskék – általában oxidok és szilikátok – maradnak benn a varratban.

4.45. ábra. Különálló zárvány makrofelvétele (balra) és soros zárványok radográfiai felvétele (jobbra)



### Fémes zárványok

A TIG (gyakran AWI-ként emlegetett) hegesztési eljárással – azaz semleges (argon) védőgáz atmoszférában, nem fogyó volfrámelektrodával – készített varratok igen tiszták, salakmentesek, de előfordulhat, hogy zárványokként volfrám részecskék kerülhetnek a varratba.

#### 4.2.8.4 ÖSSZEOLVADÁSI HIÁNY ÉS HIÁNYOS ÁTOLVADÁS

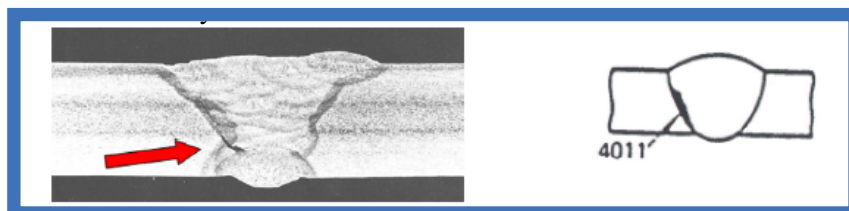
### Összeolvadási hiány

Összeolvadási hiány alatt a lerakott heganyag és az alapanyag vagy a varrat két, egymást követő rétege között hiányzó kötést értik. Létrejön egyfajta tapadás, de az összeolvadás nem teljes, tehát valódi kötés nem alakul ki.

Az összeolvadási hiány főbb okai az alábbiak:

- ◆ hibás hegesztési technika,
- ◆ túl hosszú ív,
- ◆ kis áramintenzitás,
- ◆ túlzott mértékű hegesztési sebesség,
- ◆ rossz elektróda-pozíció,
- ◆ nem megfelelő élőkészítés (összeolvadási hiány az élnél),
- ◆ szennyeződés a varratéleknél.

4.46. ábra. Alapanyag és heganyag közötti hiányos összeolvadás – makrofelvétel és az MSZ EN ISO 6520-1 szabványbeli vázlat.



### Hiányos gyökátolvadás

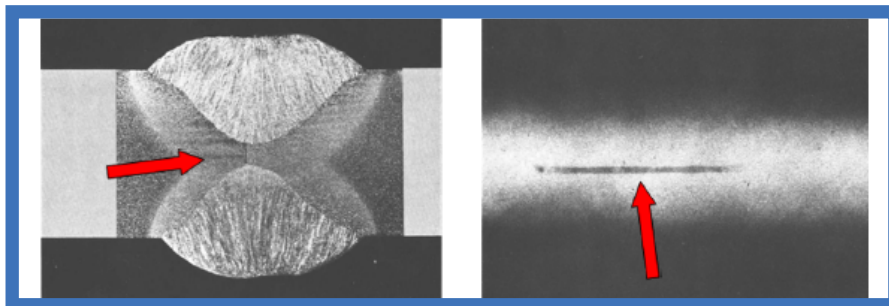
Hiányos gyökátolvadás akkor jön létre, amikor a varratgyökben nem olvad meg teljesen az alapanyag és hiányzik belőle a heganyag. Ez nagyon veszélyes varrathiba, mivel nagy helyi feszültségeket és kis kifáradási szilárdságot eredményező árokként funkcionál, ráadásul lokális korróziós folyamatok elindulására is alkalmas hely.

A hiányos gyökátolvadás okai lehetnek:

- ◆ túl hegyes leélezési szög,
- ◆ elégtelen hőbevitel kis áramerősség miatt,
- ◆ túlságosan hosszú ív,
- ◆ túl nagy élmagasság,
- ◆ túl kicsi éltávolság.



4.47. ábra. Hiányos gyökátolvadást mutató makro- és radiográfiai felvétel



#### 4.2.8.5 ALAK- ÉS MÉRETELTÉRÉSEK

##### Szélkiolvadás

Helytelen hegesztés okozta, egyenetlen, hosszanti árok az alapanyagban, a fedővarratsor szélénél, vagy az előzetesen lerakott heganyagban. Dinamikus terhelések esetén veszélyes folytonossági hiány, mert az árok feszültséggyűjtő hely lesz a varrat szélén.

A megjelenéséhez kedveznek az alábbi feltételek:

- ◆ túlzott mértékű áramintenzitás,
- ◆ nagy hegesztési sebesség,
- ◆ az elektróda rossz pozicionálása.

##### Éleltolódás, szögeltérés

Ezek a geometriai eltérések arra vezethetők vissza, hogy rosszul állítják össze a munkadarabokat a hegesztéshez, illetve elmozdulnak vagy deformálódnak azok a hegesztés során. A nem megfelelő összeállítás azt jelenti, hogy a lemezeket vagy csöveket nem azonos síkban fektetik fel és illesztik egymáshoz, illetve nem megfelelően rögzítik azokat. Az ebből adódó eltérést párhuzamos éleltolódásnak nevezik. Ha a gyártás során deformációk lépnek fel, akkor a kötés szöge fog eltérni a tervezettől, ezt szögeltérésnek nevezik.

4.48. ábra. Párhuzamos éleltolódás és összeolvadási hiány a varratgyökben egy hegesztett kötés metszeti képen





**Túlzott méretű varratdudor**

Ez az eltérés túl nagy merevséget ad a kötésnek és így feszültséggyűjtő hatású az üzemelés során jelentkező dinamikus igénybevételek esetén.

Az eltérés kialakulásának oka lehet:

- ◆ a nem megfelelő élelőkészítés,
- ◆ a nagy áramintenzitás és a kis hegesztési sebesség,
- ◆ a túlzott elektródaméret.

**Túlzott sarokvarrat-domborúság**

Túl nagy mennyiségű heganyag van a sarokvarrat fedőrétegében.

**Ráfolyás**

Ráfolyásról akkor beszélünk, ha a heganyag a kötési élen túl ráfolyik az alapanyag felületére. Mivel az alapanyag itt nem olvad meg, összeolvadás sincs. Ezért a ráfolyás (amit gyakran hideg ráfolyásnak neveznek) kritikus feszültséggyűjtő zóna lehet üzemelés közben fellépő terhelések esetén. Keletkezhet mind a fedőrétegben, mind a gyökoldalon.

Ráfolyásokat eredményez:

- ◆ a nem megfelelő hegesztési technika,
- ◆ a kis hőbevitel (kis áramintenzitás vagy feszültség),
- ◆ vastag fedőrétegek felrakása sarokvarratoknál, nehéz hegesztési pozícióban.

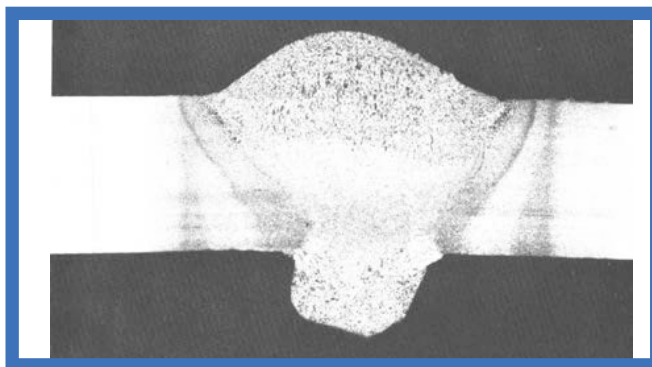
**Túlzott gyökátfolyás**

Lényegében arról van szó, hogy túl sok hozagnyagot rak le a hegesztő a varratgyökben (is), ami túlzott mértékű átolvadással és a gyökoldalon kifolyó és ott megdermedő heganyaggal jár együtt. Egy oldalról végzett hegesztéseknél előforduló eltérés.

A túlzott gyökátfolyás főbb okai az alábbiak:

- ◆ túlzott mértékű éltávolság,
- ◆ nagy áramintenzitás,
- ◆ csökkentett hegesztési sebesség és rövid ív.

4.49. ábra. Túlzott gyökátfolyás metszeti képe

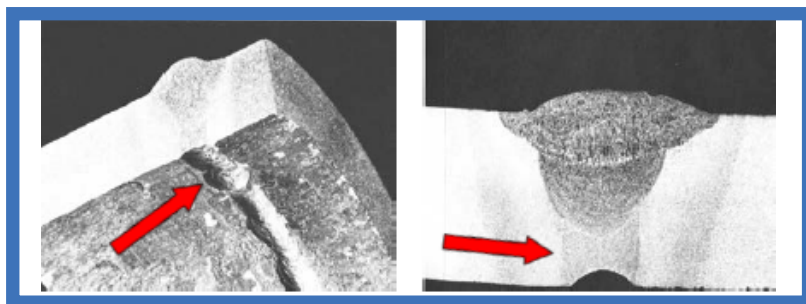


**Gyökoldali beszívódás**

Ilyen jellegű eltérés a heganyag zsugorodásakor jön létre, ha:

- ◆ nem megfelelő az élélőkészítés,
- ◆ kevés a hozaganyag,
- ◆ nem elegendő a bevitt hő,
- ◆ alkalmatlan a hegesztési technika,
- ◆ a gyökoldali gáz nyomása túl nagy.

4.50. ábra. Beszívódott, homorú varratgyökről készült felvételek

**További alak- és méreteltérések**

- ◆ Sarokvarrat aszimmetria.
- ◆ Ömledék-megfolyás.
- ◆ Átlyukadás.
- ◆ Újrakezdési hiba.

**4.2.8.6 EGYÉB ELTÉRÉSEK**

Ez a pont az MSZ EN ISO 6520-1 jelű szabvány szerinti 1–5. csoportba nem tartozó – a szabványban a 6. csoportba besorolt – eltéréseket ismerteti, a teljesség igénye nélkül. Az itt nem tárgyalt egyéb eltérések a szabványban olvashatók.

**Ívgyújtási nyom**

Az alapanyag felszínén, beégés miatt létrejövő elváltozás, amit az ívgyújtás vagy hegesztés közben a varrat szélén kívülre kerülő ív okoz. Az égési nyomokból olyan folytonossági hiányok fejlődnek ki, melyek dinamikus terhelések hatására növekedni fognak.

**Fröcskölések**

Fémcseppek, melyek a hegesztés során – olvadt állapotban – az ömledékből kifröccsentek vagy a hozaganyagból lecseppentek, és az alapanyaghoz vagy a már megdermedt varrathoz tapadtak és azon megszilárdultak.



Megjelenésük visszavezethető:

- ◆ a túlzott mértékű hegesztő áramra,
- ◆ a szennyezett fogyóelektródára, ami robbanásokat kelt az ívben,
- ◆ a helytelenül megválasztott védőgázra.

#### **Volfrám-fröcskölések**

Volfrám elektródából leváló, az alapanyag felületére vagy a megdermedt heganyagra rátapadó fémrészecskék.

#### **Letörési nyom**

A hegfütdő megtámasztásához használt alátét(lemez) letörésekor keletkező sérülés.

#### **Köszörülési, vésési nyom**

Köszörűvel, vésővel vagy más szerszámmal okozott helyi sérülés.

#### **Aláköszörülés**

Túlzott mértékű köszörüléssel előidézett anyagvastagság csökkenés.

#### **Rézszenyeződés**

Az elektromos paraméterek helytelen megválasztása miatt MIG/MAG-eljárásnál (fogyó-elektródás védőgázos ívhegesztésnél) a réz érintkezőcső megolvadhat, és ez által réz juthat a heganyagba.

#### **SAW-eljárásnál keletkező felületi eltérések**

SAW-eljárás, azaz fedett ívű hegesztés, során megjelenő felszíni nyomok, melyek a rosszul megszáritott vagy kevés dezoxidálószeret tartalmazó folyósítószernek köszönhetők.

### **4.3 ÜZEMELŐ BERENDEZÉSEK KÁROSODÁSAI (KORRÓZIÓS FOLYAMATOK, MECHANIKAI ÉS TERMIKUS EREDETŰ KÁROSODÁSOK)**

#### **4.3.1 ÜZEMELÉS ÉS ANNAK SORÁN KIALAKULÓ FOLYTONOSSÁGI HIÁNYOK**

Miután egy terméket különböző gyártási eljárásokkal elkészítettek, és elvégezték rajta a befejező felületi műveleteket és hőkezelést is, a termék előbb-utóbb valamilyen szerkezet, berendezés alkatrészévé válik, és annak működése, üzemelése közben különböző igénybevételek – mechanikai feszültségek, környezeti hatások (tengervíz, atmoszféra, stb.) – érik. Ha bármelyik igénybevétel túlzott mértékű, meghaladja a tervezett – aminek oka lehet a szerkezeti elemre jutó terhelés nem megfelelő eloszlása, anyagának gyengesége, többletmechanikai feszültség, folytonossági hiány véletlen vagy nem véletlen megjelenése, korrozív közeg jelenléte – akkor a szerkezeti elemben (további) folytonossági hiányok keletkeznek.



Az üzemelő alkatrészek, szerkezeti elemek épsége, stabilitása szempontjából nemcsak az igénybevétel pillanatnyi vagy átlagos mértéke, hanem az időtartama is számít. Ezt feltétlenül figyelembe kell venni akkor, ha a működési körülmények például kúszást, fáradást vagy korróziót tesznek lehetővé. Természetesen nagyon fontos tényező a hőmérséklet is, ami befolyásolja az anyagok mechanikai tulajdonságait és egyes károsodási folyamatok előre haladásának sebességét.

Az üzemelés közben létrejövő folytonossági hiányok – röviden összefoglalva – az alábbiakra vezethetők vissza:

- ◆ a szerkezetet és annak elemeit, anyagait illető tervezési eltérések,
- ◆ a beépített anyagok, alkatrészek hibái,
- ◆ a gyártási folyamat hiányosságai,
- ◆ szerelési, összeállítási hibák,
- ◆ mechanikai sérülések,
- ◆ nem megfelelő üzemeltetési feltételek,
- ◆ az igénybevételek (figyelmen kívül hagyott) lokális halmozódása,
- ◆ a rendszeres ellenőrzés, karbantartás elmulasztása.

A folytonossági hiányok mindenképpen lerontják az elem szilárdságát és sok esetben a berendezés üzemi hatásfokát is. A különféle eredetű repedések, üregek és egyéb anyaghiányok számának, sűrűségének és méreteinek növekedése pedig az elem tönkremenetelét és a szerkezet integritásának megszűnését vonja maga után, végső soron akár katasztrófához is vezethet. Az ezekből adódó gazdasági, környezeti és közvetlen egészségügyi kárt, illetve annak veszélyét mindenképpen hangsúlyozni kell.

Ma már egyfelől a megalapozott elméleti háttér (fizika, kémia, törésmechanika), másfelől a számítástechnikai kapacitások lehetővé teszik, hogy szakemberek modellezzék a károsodási folyamatokat: meghatározzák azok sebességét, megbecsülik a berendezés várható, hasznos élettartamát és kiszámítsák a folytonossági hiányok kritikus – az adott berendezés további működtetéséhez még elfogadható – méreteit. Ez segítheti az üzemeltetőket abban, hogy a lehető leggazdaságosabb döntéseket hozzák meg (karbantartási stratégia, a berendezés felújítása, cseréje, stb.). A döntésekhez természetesen szükség van roncsolásmentes vizsgálati eredményekre is. Az egyre megbízhatóbb számítások tehát közvetve azt az igényt támasztják az anyagvizsgálati technológiákkal és magukkal az anyagvizsgálókkal szemben, hogy egyre megbízhatóbb eredményeket szolgáltatassanak a detektált folytonossági hiányok méreteiről.



### 4.3.2 KORRÓZIÓS FOLYAMATOK

#### 4.3.2.1 BEVEZETŐ

A korrózió a fémek által elszenvedett olyan kémiai- vagy elektrokémiai hatás, amelyet a környező közeg (atmoszféra, tengervíz, talaj, stb.) fejt ki a fémtestre, és amely rendszerint a fém sérüléséhez, károsodásához – elvékonyodásához, kilyukadásához, stb. – vezet. A közeg fajtájától függően gáz-, folyadék- vagy talajkorrózióról szoktak beszélni.

A korrózió legismertebb példája az acéltermékek, -alkatrészek rozsdásodása, ami kezdetben csak a felületi réteget érinti, de végül képes teljesen tönkretenni a szerkezeteket (például karosszériákat, tengeri sétány korlátokat, vízmelegítőket). (Ráadásul a rozsdaképződés térfogat-növekedéssel jár, ami számottevő mechanikai feszültséget kelthet és jelentős többletkárt okozhat bizonyos szerkezetekben, lásd vasalt betonelemek megrepedése, törése.)

A fémek termodinamikailag stabil vegyületeket – tipikusan oxidokat, szulfidokat és hasonlókat – „igyekeznek” létrehozni. Ezért például – a nemesfémek kivételével – reakcióba lépnek a levegő oxigénjével. (Megjegyzés: A termodinamikailag stabil állapot – ami egyébként minden kémiai elem, így a korróziós folyamatokban gyakran fő szerepet játszó oxigén, kén és halogén elemek számára is kedvező – több körülménytől, például hőmérséklet, nyomás, a kémiai reakcióban részt vevő elemek fajtái, elektromos feszültség jelenléte, függ.)

#### 4.3.2.2 KÉMIAI ÉS ELEKTROKÉMIAI KORRÓZIÓ

A károsodási folyamat mechanizmusa szerint két típust szoktak egymástól megkülönböztetni: kémiai és elektrokémiai korróziót.

A kémiai korrózió lényege az, hogy a fém és a korrozív közeg között – a fémfelületen keresztül – nincs elektromos töltésátmenet (elektronáram). A fématomok persze ekkor is adnak át elektron(oka)t a közeg atomjainak, de ez mindig 1–2 atomátmérőnyi térrészben történik meg. Kémiai korrózió például fémek oldódása savban vagy oxidálódása levegőben, nedvesség kizárása mellett (száraz oxidáció). Az utóbbi változatnál a korróziós sebesség általában csak magas hőmérsékleten jelentős, ezért közönséges hőmérsékleten a levegőn történő oxidációval szemben már a nedvesség eltávolítása is hatásos védekezés.

Az elektrokémiai korrózióhoz egyidejűleg három tényező megléte szükséges: anódként, illetve katódként viselkedő fém, valamit elektrolit. Két, fontos mellékfeltételnek is teljesülnie kell: az anód és a katód között legyen – az elektronok áramlását biztosító – fémes kapcsolat, továbbá az elektrolitnak legyen olyan alkotóeleme, amely felveszi a katódból kilépő elektronokat. Anód és katód lehet ugyanazon fémtest két, eltérő minőségű (ötvözetű, hőmérsékletű, stb.) tartománya. Az elektrolit általában sók, savak vagy lúgok vizes oldata.

Az elektrokémiai korróziót szokták galvanikus korrózióként is emlegetni, mivel a két, különböző minőségű fém és az elektrolit voltaképpen egy galvánelemet alkot, melyben a kisebb normálpotenciálú



– azaz az aktívabb – fém anódként működik és korrodálódik, míg a nemesebb fém katódként viselkedik és változatlan marad. Acél és réz alkotta cella esetében, például, az acél az aktívabb – a korrodálódó – fém, a réz pedig a nemesebb – a változatlanul maradó.

A 4.51. ábrán az elektrokémiai korrózió következménye látható, különböző normálpotenciálú fémek érintkezése esetén. A – Cr- és Ni-tartalmának köszönhetően – nemesebb, korrózióálló acélalkatrészek épen maradtak, míg a szénacél elemek korrodálódtak. (Megjegyzés: Ilyen fémpárosításnál számolni kell azzal, hogy idővel a korrózióálló acél is károsodik.)

4.51. ábra. Rozsdásodó szénacél anyák és alátétek korrózióálló acélfülön



#### 4.3.2.3 EGYENLETES ÉS HELYI KORRÓZIÓ

A károsodás felületi eloszlása alapján is csoportosíthatók a korróziós folyamatok. Az egyenletes vagy általános korrózió a fém teljes felületére kiterjed, míg a helyi vagy lokális folyamat csak kicsiny, olykor mikroszkopikus méretű területeket érint.

Az egyenletes korrózió egy fémtest egészének fokozatos feloldódása, tönkremenetele, amit valamilyen agresszív közeg idéz elő. Még mikroszkopikus léptékben sincsenek kitüntetett támadási pontok a felületen. Példaként említhető egy cinkdarab savas közegben lejátszódó korróziója, melynek során a teljes felület nagyon hasonló módon károsodik.

Ez a legkedvezőbb korróziótípus, mivel a korrózió egyenletes, és az idő múlásával növekvő anyagvesztés (vastagságcsökkenés) mértéke kiszámítható, a korrodálódó szerkezeti elem hasznos élettartama megbecsülhető. Továbbá, ki lehet számítani azt, hogy milyen mértékben kell túlméretezni a komponens ahhoz, hogy egy bizonyos, korlátozott ideig üzemben tudjon maradni.

A helyi korróziós folyamatok főbb típusai:

- ◆ Atmoszférikus réskorrózió.
- ◆ Lyukkorrózió.
- ◆ Kristályközi korrózió.
- ◆ Szelektív korrózió (nagyon eltérő normálpotenciálú ötvözők).



#### 4.3.2.4 MECHANIKAI HATÁSOKKAL EGYÜTT JÁRÓ KORRÓZIÓS FOLYAMATOK

A különféle berendezéseket, szerkezeteket üzemelésük közben nem ritkán nemcsak valamilyen agresszív közeg támadja, de egyidejűleg mechanikai igénybevétel is éri. A tartós mechanikai hatás – például fárasztás, koptatás – sokszor önmagában is tönkreteszi a szerkezeti elemeket, a korrózió pedig rendszerint felgyorsítja ezt a folyamatot. Hangsúlyozni kell, hogy bizonyos esetekben éppen a mechanikai hatás következtében indul be a korrózió, mert megreped vagy erodálódik a fémen lévő védőréteg. (De önmagában a repedések keletkezése vagy a kopás nem tekintendő korróziónak.)

Mivel a mechanikai igénybevétel nem egyenletes az érintett elem egészén, a hozzá kapcsolódó korróziós jelenség is helyi jellegű, bár nagyobb felületekre is kiterjedhet, mint például kavitációnál.

Főbb típusok:

- ◆ Feszültségkorrózió.
- ◆ Korróziós kifáradás.
- ◆ Eróziós korrózió.
- ◆ Súrlódási korrózió.
- ◆ Kavitációs korrózió.
- ◆ Hidrogén-ridegedés.

#### 4.3.2.5 KORRÓZIÓVÉDELEM

A korrózió elleni védekezés érdekében mindenekelőtt néhány, alapvető tervezési szempontot – féanyag, közeg anyaga és konstrukció – kell átgondolni. Ha ezek alapján mégsem lehet kedvező korróziós tulajdonságokkal rendelkező rendszert építeni, akkor gondoskodni kell valamilyen aktív (elektrokémiai) vagy passzív (bevonattal biztosított) védelemről.

- ◆ Megfelelő fémes anyagok alkalmazása.
- ◆ Berendezések konstrukciójának módosítása.
- ◆ Az agresszív közeg módosítása.
- ◆ Anódos és katódos védelem.
- ◆ Konverziós kezelések (foszfátózás, kromátozás, anódos oxidáció).
- ◆ Fémes bevonatok.
- ◆ Festékek.



### 4.3.3 MECHANIKAI ÉS TERMIKUS EREDETŰ KÁROSODÁSOK

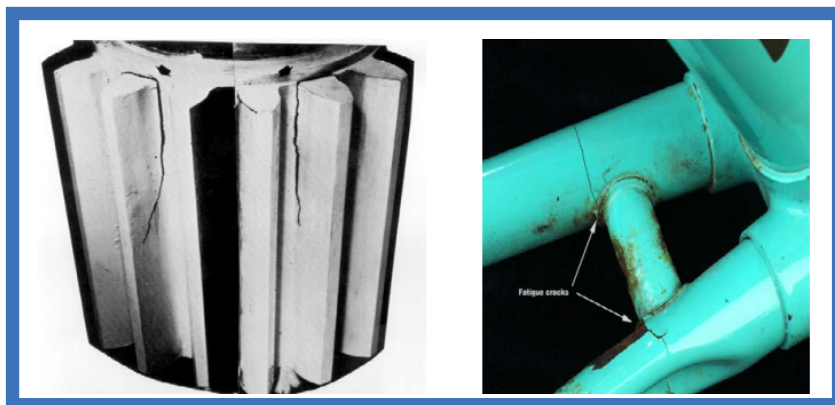
#### 4.3.3.1 FÁRADÁSOS REPEDÉSEK

A kifáradás okozta, rendszerint felületről kiinduló repedések a munkadarab egyes geometriai jellemzőivel, valamint a felületének állapotával kapcsolatosak:

- ◆ keresztmetszet-váltások vagy szinguláris pontok (furatok).
- ◆ peremek, élek, csúcsok rádiusza.
- ◆ felületi érdesség-csúcsok.
- ◆ kötőelemek (hüvelyek) helyzete.
- ◆ gyártási hibák.
- ◆ egyéb, üzemelés közbeni károsodások.

Fáradásos repedések folyáshatár alatti, időben változó/váltakozó terhelések (például rezgésből származó feszültségek) következtében keletkeznek különböző alkatrészekben. Elsősorban feszültséggyűjtő helyeken jelennek meg, például keresztmetszet-átmenetekenél vagy ahol a szomszédos elem éle bizonyos mértékű feszítő hatást fejt ki. A fáradt törések csírai mindig a felületen vannak, ezért a felület durvasága, a felszíni zárványok és repedések számottevően csökkentik a kifáradási határt.

4.52. ábra. Kifáradás okozta repedések/törések



A kifáradáshoz vezető, ciklikus deformációk lehetnek hajlítások, csavarások, húzások és összenyomások, az adott szerkezet és elem működési mechanizmusától vagy az igénybevételt jelentő környezettől függően.



#### 4.3.3.2 TÖRÉSEK MAGAS HŐMÉRSÉKLETEN

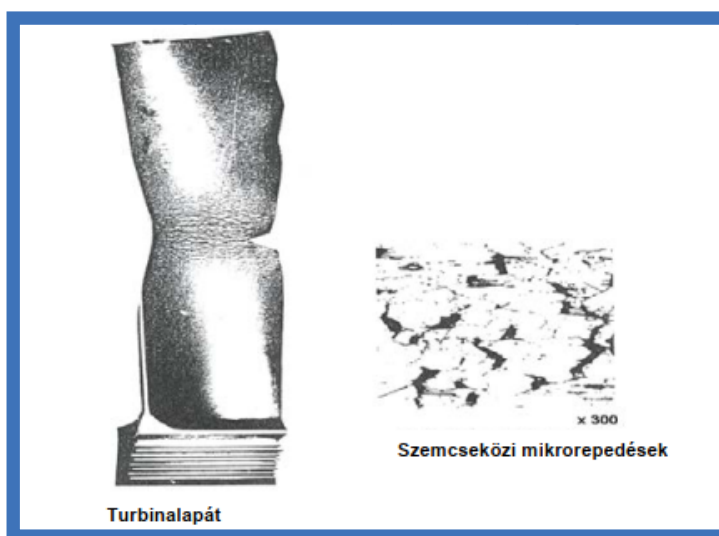
Előfordulhat az, hogy a hőmérséklet változásakor az alkatrész nem tud szabadon tágulni vagy zsugorodni, és ezért jelentős belső feszültség keletkezik, ami termikus kifáradás nélkül is töréshez vagy képlékeny deformációval (például kihajlással) járó károsodáshoz vezet.

Ha egy szerkezeti elemet – nem tervezett – intenzív hőhatás ér (például tüzeset miatt), és hőmérséklete hirtelen, nagymértékben változik meg, akkor is kialakulhatnak nagy belső feszültségek, mert az anyag nem képes kellő sebességgel deformálódni. Ennek nyomán gyorsan terjedő repedések jelenhetnek meg, és az elem eltörhet. Ezt a jelenséget *hősokknak* nevezik.

#### 4.3.3.3 KÚSZÁS ÉS KÚSZÁSI REPEDÉSEK

A kúszás folyamatos, képlékeny alakváltozás, ami akkor jön létre, ha az anyagot magas hőmérsékleten – az olvadáspontjának felénél valamivel nagyobb hőmérsékleten – tartósan, a folyási határánál kisebb húzófeszültséggel terhelik. A folyamatos deformáció, a terhelés mértékétől függően, előbb vagy utóbb töréssel (szakadással) végződik.

4.53. ábra. Kúszás – makroszkópikus és mikroszkópikus megjelenés

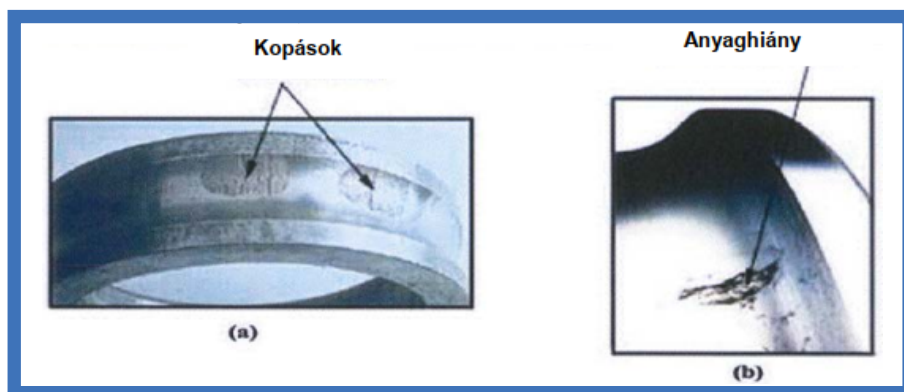


#### 4.3.3.4 KOPÁSOK

A berendezések, gépek és szerszámok mozgó vagy mozgó közeggel érintkező alkatrészeinek hasznos élettartama – a legtöbb esetben – egyrészt felületük állapotától, másrészt pedig az igénybevételek hatására elszenvedett sérülésektől függ. Az egymással érintkező anyagok relatív elmozdulásai során keletkező, elsősorban a köztük fellépő súrlódásra visszavezethető sérülések mindig felületi

anyagveszteségek (anyagfogyások, vastagságcsökkenések). A folyamatot, illetve magát az anyagvesztést kopásnak nevezik. (Megjegyzés: A súrlódással, kopással és kenéssel foglalkozó tudományterület a tribológia. A súrlódás következményeit tribológiai hatásként is emlegetik.)

4.54. ábra. Kopásnyomok csapágygyűrűkön, a görgők nyomvonalában

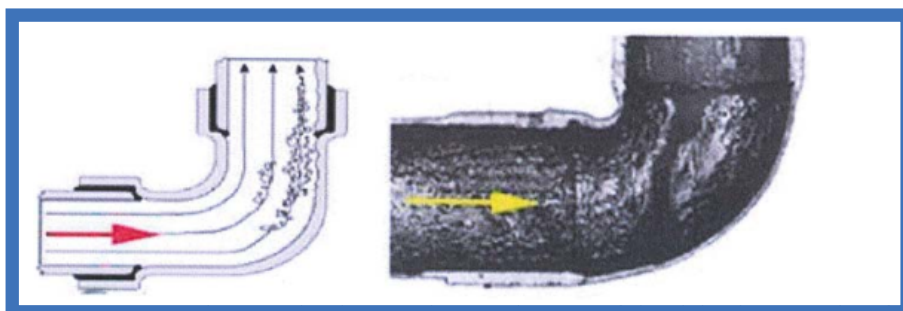


#### 4.3.3.5 ERÓZIÓ

Erózió alatt azt folyamatot értik, melynek során egy – fémes vagy nem fémes – felületről mikroszkopikus méretű szemcsék válnak le a felületen súrlódó, illetve a felületre becsapódó folyadék-részecskék miatt. A kopás mértéke függ attól, hogy a részecskék milyen szögben érkeznek az adott felülethez. Nagymértékben függ attól is, hogy az áramló folyadék szilárd részecskéket is visz-e magával.

Ilyen kopás fémszerkezeteken és fémszerelvényeken várható. Jellemző területek például a centrifugál szivattyúk, a gőzvezetékek, a csomók és fűvókák, stb. A jelenség a károsodás bizonyos részleteiből ismerhető fel, például éles él lekerekedik (propeller kopása). Az eróziós kopás megváltoztathatja lapátkerek, turbinalapátok és terelőlapok alakját és így módon jelentős mértékben csökkentheti az üzemi hatásfokot.

4.55. ábra. Egy sárgaréz cső kanyarulatában, az irányváltás és a folyadéksebesség miatt fellépő erózió



#### 4.3.3.6 KAVITÁCIÓ

A kavitáció nem más, mint gőzbuborékok keletkezése folyadékban. Ennek az a fizikai feltétele, hogy a folyadékban uralkodó nyomás lokálisan a folyadék gőznyomása alá csökkenjen. A buborékképződést mindenféle inhomogenitás – a folyadékban lebegő, apró részecskék, a folyadékot határoló edény falának egyenetlenségei és a már kivált buborékok – elősegíti. Ezeket *kavitációs magoknak* nevezik.

A buborékokat az áramló folyadék tovább sodorja, és ha olyan helyre érnek, ahol a folyadékban a nyomás meghaladja a gőznyomást, akkor a gőzbuborékok robbanásszerűen összeomlanak. A buborékok megszűnése lökéshullámokat indít el, ami akár több tízezer bar nyomásingadozást eredményezhet a folyadékot határoló – többnyire fém – felületeken. Akár 500 m/s sebességű lökéshullám is keletkezhet, ami a fém felületét károsíthatja, létrehozva olyan mikroüregeket, amelyeknél újabb buborék összeomlásokra kerülhet sor. A felületi üregképződés folyamata tehát folyamatosan gyorsul.

4.56. ábra. Kavitációs sérülések egy pillangószelepen (balra) és egy tolózárón (jobbra)



A kavitáció elleni védekezést azzal kell kezdeni, hogy áramlástani szempontból megfelelő konstrukciót kell tervezni, kiiktatva például a szűkületeket, ahol a folyadék felgyorsul, miközben nyomása csökken. Ha a kavitáció elkerülhetetlen, akkor a felületekre gyakorolt hatást kell csökkenteni úgy, hogy a fémet speciális, nagy szilárdságú anyaggal borítjuk be. A kavitáció által okozott sérüléseket pedig jelentős mértékben csökkenti az, ha kis mennyiségű levegőt adunk a vízhez.

#### 4.3.3.7 HIDROGÉN-REPEDÉSEK

Korróziós folyamatok során hidrogénionok (protonok) jelenhetnek meg a fémfelületen, melyek leggyakrabban  $H_2$  hidrogén molekulát alkot. Ugyanakkor, a termodinamikai egyensúly részét képezi az, hogy egy kis hányaduk hidrogénatomként marad fenn, és ezek a nagyon kisméretű atomok – a meglévő koncentráció különbség miatt – bediffundálhatnak a fém kristályrácsába a rácsközi helyeken át (interstíciós diffúzió). A diffundáló hidrogénatomok nem illeszkednek a rácsközi helyekhez és így deformációt okoznak a szerkezetben, melynek következtében növekszik a belső energia. Az adott fém viszont mindent „elkövet”, hogy csökkentse a belső energiáját. (Olyan spontán folyamatok zajlanak le, melyek eredményeként

a fém kisebb energiájú állapotba kerül.) Ennek módja ez esetben az, hogy a hidrogénatomok a fémrács üregeiben gyűlnek össze. Lesz tehát egy üregek felé irányuló diffúzió, és az üregek mintegy megkötik a hidrogénatomokat.

Az üregekben felhalmozódó hidrogénatomok molekulákká egyesülnek, aminek révén nagyon nagy (több ezer bar) nyomás jön létre a rácsban. Ez a lokális nyomás sokkal nagyobb, mint az anyag folyáshatára, ezért képlékeny deformációt okoz. Ha ez a – molekuláris hidrogénhez vezető – folyamat lágyabb acél felületének közelében játszódik le, akkor később felrepedő buborékot (hólyagot) és így felszínre kerülő repedést eredményez, ha viszont a fém belsejében játszódik le, akkor mikrorepedések jelennek meg az üregek mellett, amelyek külső feszültség hatására megnőnek, és végül anyagtörést okoznak.

A hidrogénnek tulajdonítható ridegedés, illetve repedések keletkezése megfigyelhető nagyszilárdságú ferrites és martenzites acélokon (sok hidrogén esetén), titánon, cirkóniumon és ötvözeteiken, valamint galvanikus krómrétegeken. Fontos megemlíteni, hogy hegesztéskor a hegesztő anyag és a környezet nedvességtartalma, valamint az alapanyag-szennyezettség miatt kerülhet hidrogén az ömledékbe, ahonnan tovább diffundál a hőhatásövezetbe. Tehát varratok környékén korróziós folyamat híján is megjelenhetnek a gyártás során hidrogénrepedések, melyek aztán üzemelés közben tovább terjednek. A hidrogénrepedések az anyagfelületen már előzetesen meglévő folytonossági hiányokból indulnak ki, de ha nincsenek ilyen hiányok, akkor a hidrogén – mivel át tud diffundálni a fémeken – belső repedéseket hoz létre.

#### 4.3.3.8 ÖREGEDÉS

Öregedés alatt az anyagokban hosszabb idő alatt lezajló, kedvezőtlen szerkezeti változásokat értik. E folyamatot belső és külső tényezők egyaránt előidézhetik. Belső tényező például a belső feszültségek fokozatos csökkenése (relaxáció), az instabil kémiai összetétel vagy szövetszerkezet. Külső tényező lehet például hőmérsékletváltozás, ultraibolya-sugárzás és nagyenergiájú ionizáló sugárzás.

A szerkezetváltozás bizonyos ötvözetek esetében előnyös is lehet, mert javulhatnak a mechanikai tulajdonságok. Így van ez például a – bennük lévő kiválások módosulása révén – természetesen öregedő alumíniumötvözeteknél, ha hetekig vagy hónapokig hevertetik azokat szobahőmérsékleten, vagy a gyorsan lehűlt lágyacéloknál, melyek keménysége nő meg hevertetés közben (edzési öregedés). Természetesen ezeket a kedvező lehetőségeket az alapanyagok és a termékek gyártása során használják ki, nincs közülük az üzemelő berendezésekben végbemenő, káros folyamatokhoz.



## 4.4 KOMPOZITOK

### 4.4.1 SZÉNSZÁLAS KOMPOZIT ANYAGOK

#### 4.4.1.1 KOMPOZITOK JELLEMZŐI, SZERKEZETEI

A hőre nem lágyuló műanyag kompozitok legelterjedtebben alkalmazott gyártástechnológiái az alábbiak:

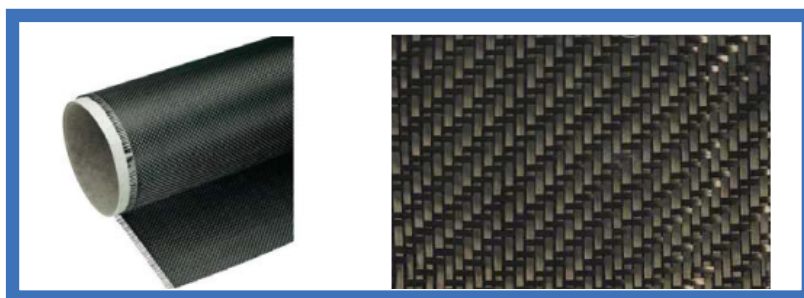
- ◆ kézi laminálás,
- ◆ szálszórás,
- ◆ vákuum-injektálás,
- ◆ pultrúzió (szálfeszítés mellett térhálósodik a gyanta),
- ◆ sajtolásos BMC és SMC technológia.

(Megjegyzés: A két, angol elnevezésből származó rövidítés tömbszerű, illetve lemez formájú kompozit előgyártmányra utal.)

A szénaszál as anyagok főbb jellemzői a következők:

- ◆ nagy mechanikai szilárdság, nagy rugalmassági modulusz,
- ◆ kis sűrűség, más anyagokhoz – például az acélhoz – viszonyítva,
- ◆ vegyi anyagokkal szembeni ellenálló képesség,
- ◆ jó hőszigetelő képesség,
- ◆ alaktartó képesség növelt hőmérsékleten is, ha a beágyazó anyag hőálló,
- ◆ jó tűzállóság.

4.57. ábra. Szénaszál as szövettetekercs és a szövet kinagyított képe

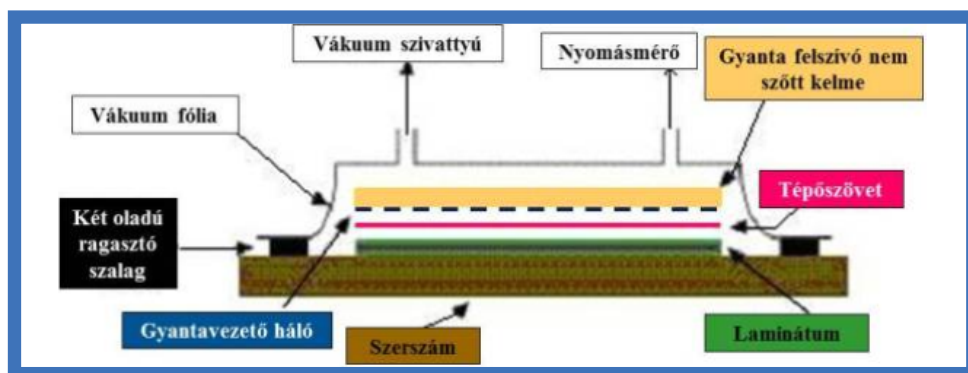


#### 4.4.1.2 KOMPOZITOK GYÁRTÁSA

Az első lépés az elkészítendő munkadarab előállítására alkalmas szerszám kialakítása. Erre helyezik rá – a tervvel és a gyártási utasításokkal összhangban – az előre megtervezett sorrendben (rétegrend) a különböző erősítő struktúrákat (szövetrétegeket és szénaszál as szalagokat), méhsejtpanel magokat, fémes vagy nem fémes elemeket, stb., amíg a kívánt szerkezet össze nem áll.

A vákuumzsákos eljárás hasonlít a kézi lamináláshoz, amelynél az erősítő rétegeket és a folyékony állapotú impregnáló gyantát felváltva rétegezik kézzel. Ez esetben azonban a termék térhálósodása (kikeményedése) nyomás alatt megy végbe, így nagyobb száltartalom és jobb minőség érhető el, mivel megfelelő technológiai paraméterek beállítása mellett gyakorlatilag nincsenek légzárványok. Elsősorban epoxi- és fenolgyanták a mátrixanyagok, erősítőanyagként pedig számos, egyébként nehezen nedvesedő, vastag erősítő szövet alkalmazható.

4.58. ábra. A vákuumos technológia elrendezése



Először az erősítő rétegeket helyezik a szerszámba, majd feltöltik azt folyékony gyantával, és a szerszám felőli oldalról a laminátumot levákuumozzák. A téposzövetet azért alkalmazzák, hogy a laminátum feletti rétegek ne kössenek hozzá a termékhez. E fölött van a gyantavezető háló és a fölösleges gyantát felszívó, nem szőtt réteg (például paplan), majd a vákuumfólia, amelyet a kétoldalú ragasztó rögzít légmentesen körbe a munkafelülethez. A vákuumfólia alól szivattyú szívja ki a levegőt, megfelelő (~0,8 bar) nyomás alatt tartva a laminátumot a térhálósodás ideje alatt.

Végül az egész szerelvényt autoklávba teszik, ahol a gyanta-kötőanyag térhálósodik (polimerizálódik) – a nyomás, az idő és a hőmérséklet szigorú ellenőrzése mellett. A kémiai folyamat befejeztével a szerelvényt kiveszik az autoklávból és a szerszámról leválasztják a kompozit szerkezetet.

#### 4.4.2 KOMPOZIT ANYAGOK FOLYTONOSSÁGI HIÁNYAI

A vizsgálatok szempontjából fontos az, hogy tisztában legyünk a munkadarabokban – a gyártási folyamat során vagy az üzemeltetés időtartama alatt – kialakuló folytonossági hiányok eredetével és típusaival.

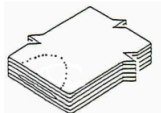
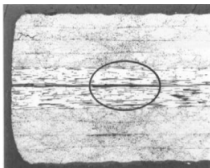
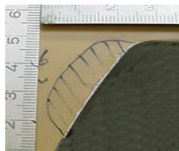
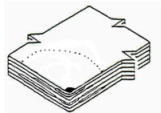
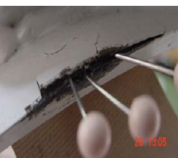
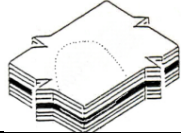
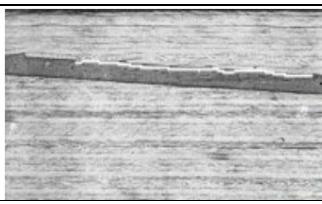
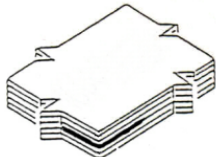
##### 4.4.2.1 A FOLYTONOSSÁGI HIÁNYOK FŐBB FORRÁSAI

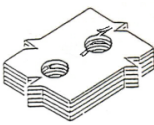
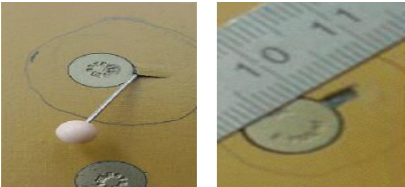
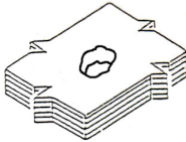
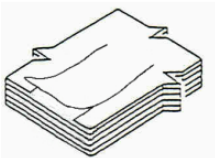
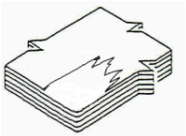
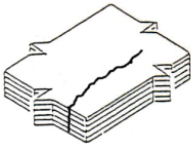
- ◆ Összeállítás.
- ◆ Polimerizáció.
- ◆ Végső megmunkálás.



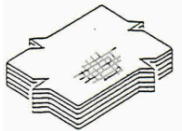
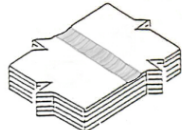
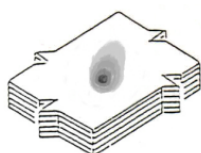
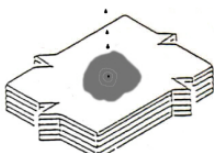
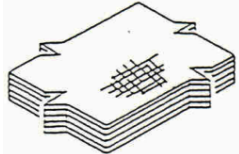
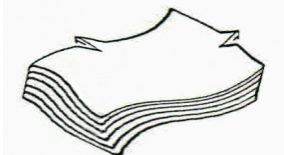


## 4.4.2.2 GYAKORIBB FOLYTONOSSÁGI HIÁNYOK

|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Egyedi rétegszétválás              |    |
| Több rétegre kiterjedő delamináció |     |
| Ragasztási hiba                    |                                                                                      |
| Mag és bevonat szétválása          |                                                                                    |
| Zárvány                            |                                                                                  |
| Mag szétzúzódása                   |                                                                                  |

|                                   |                                                                                                   |                                                                                      |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Porozitás                         | Főleg monolit szerkezetű darabokban vagy méhsejtpanelokban kialakult gázzárványok.<br>(nincs kép) |                                                                                      |
| Kötőelemmel kapcsolatos sérülések |                  |    |
| Fúrással okozott sérülések        |                  |    |
| Laza szálak                       |                 |   |
| Laza felületi rétegek             |                |  |
| Hiányzó vagy törött szálak        |                |  |
| Repedések                         |                |  |



|                            |                                                                                      |                                                                                       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Erózió                     |    |    |
| Súrlódás miatti kopás      |    |    |
| Hőhatás okozta károsodások |    |    |
| Szennyeződés               |  |                                                                                       |
| Általános kopás            |  |  |
| Alakváltozás               |  |                                                                                       |





## 5. Filmkidolgozás, képminőség

### 5.1 FILMKIDOLGOZÁS, ELŐHÍVÁS

#### 5.1.1 Sötétkamra elrendezés

A radiográfiai film kidolgozása az ipari radiográfiai vizsgálat egyik lényeges és meghatározó része. Ha az adott vizsgálatot műszaki szempontból tökéletesen hajtjuk végre, de a radiográfiai filmek kidolgozása nem megfelelő módon történik, az egész vizsgálatunk eredménye kétségesse válhat.

A kidolgozás a vizsgálat azon részei közé tartozik, melyek nagy hatással vannak a végeredményre, ezért – a vizsgálat többi részéhez hasonlóan – a vonatkozó meghatározott eljárásokat és instrukciókat betartva kell végrehajtani.

Miután a filmek besugárzása megtörtént, egy úgynevezett látens kép keletkezik a filmen. A radiográfiai filmkidolgozás célja az, hogy ezt a látens képet valós képpé alakítsuk át.

Ezen túlmenően, a kidolgozást oly módon kell végrehajtani, ami az előírt időtartamokat figyelembe véve garantálja a film és a kapott képek tartósságát.

A kidolgozás elvégezhető manuálisan vagy automata filmkidolgozó berendezés segítségével.

A kidolgozást minden esetben egy sötét területen (sötétkamrában) és megfelelő körülmények között kell végrehajtani.

A sötétkamrát alapvetően olyan területen kell elhelyezni, ahol nem áll fenn az ionizáló sugárzás veszélye, mivel a fixálási eljárás végéig a filmek előhívás közben újra elsötétíthetnek. Ezen kívül, az ott tárolt radiográfiai filmek is nem kívánatos ionizáló sugárzásnak lehetnek kitéve. A radiográfiai filmek érzékenyek a látható fényre, ezért a fixálási fázis végéig nem érheti őket fényhatásra (fényszűrés).

A sötétkamra jellemzői lehetnek például a következők: belső, zárt helyiség; kettős ajtózárs rendszer; forgóajtó vagy labirintus bejárat. A filmek előhívási folyamat során történő megvilágításának elkerülése érdekében – ami növelné a fátolfeketedés mértékét –, a sötétkamrában narancsvörös vagy zöld fény használatos világítási célra.

A sötétkamra teljes konstrukciója a rendelkezésre álló helytől függ. Amikor lehetséges, akkor a sötétkamrát száraz és nedves területre kell osztani. A száraz oldalon történik például az exponált röntgenfilmek kicsomagolása, vagy esetleg az exponálatlan filmek méretre darabolása és becsomagolása, fénymentes lezárása, míg a nedves oldalon történik filmek kémiai kidolgozása, az előhívásra való előkészítésük. Az egész előhívó rendszert a nedves oldalon kell elhelyezni.

Az előhívó vagy automata filmkidolgozó berendezés alkalmazása az adott felhasználástól vagy az elvárt teljesítménytől függ.



### 5.1.2 A SÖTÉTKAMRA MEGVILÁGÍTÁSA

A sötétkamra megvilágítása nagyon fontos. Fluoreszkáló csövek alkalmazása nem javasolt, mivel azok a kikapcsolás után hajlamosak foszforeszkálásra és nem elfogadható mértékű fátolfeketedés létrehozására.

A sötétkamrában – az optimális munkafeltételek biztosítására – négyféle megvilágítás használata ajánlott:

- ◆ teljes fehér fényű;
- ◆ tompított fehér fényű;
- ◆ általános biztonsági és
- ◆ munkahelyi megvilágítás.

A teljes fehér fényű megvilágítást például a sötétkamra takarításánál, az eszközök előkészítésénél és vegyszerkészítésnél használjuk.

A tompított fehér fényű megvilágítást akkor használjuk, ha szeretnénk a szemünk adaptációját megtartani a következő sorozat film előhívásához (és nincs szabadon kicsomagolt röntgenfilm a helyiségben).

Az általános biztonsági megvilágítás – célszerűen a mennyezet felé fordított zöld, vagy vörös fény-szűrővel ellátott lámpatest – általános tájékozódást tesz lehetővé a sötétkamrában, anélkül, hogy a kicsomagolt filmek feketedését lényegesen befolyásolná.

A munkahelyi megvilágítást a fényérzékeny filmekkel végzett munkánál használjuk. A ma általánosan használt röntgenfilmek a narancsvörös, vagy zöld fényre érzéketlenek, ezért ilyen színű fény-szűrőket célszerű alkalmazni. Ha maximum 15W teljesítményű égőket alkalmazunk, akkor azok rövidebb idő alatt nem okoznak fátyolosodást a radiográfiai filmen.

### 5.1.3 KÉZI KIDOLGOZÁS

Ahogy az előzőekben már ismertetésre került, az exponált filmet vegyi kezelésnek kell alávetni annak érdekében, hogy megkapjuk a besugárzás során generálódott látens kép valós képét. A gyártó üzemeltetési instrukcióit – különösen az előhívószert és fixálófürdő regenerálásra vonatkozóan – pontosan kell követni az előhívási eljárás teljes időtartama alatt.

Rendszeresen ellenőrizni kell a vegyszerek aktivitását és a folyadékszintet, dokumentálva az egyes felhasználásokat, a teljes filmteljesítményt és a készítés dátumát. A feketedés fokozatos csökkenésének pl. valószínűleg az lehet az oka, hogy elhasználódott előhívót alkalmaztunk. Ezen túlmenően, a sötétkamra rendszeres tisztítása, takarítása is elengedhetetlen.

A teljes filmkidolgozási folyamat öt lépésben kerül végrehajtásra:

- ◆ Előhívás.
- ◆ Közbenső öblítés, vízzel.
- ◆ Fixálás (az előhívott film rögzítése).



- ◆ A filmek mosása (végső mosás).
- ◆ Filmszáritás.

#### 5.1.4 ELŐHÍVÁS

Az előhívás az a folyamat, melynek során a lappangó (látens) kép látható képpé alakul át. Az előhívási folyamat kémiai alapja a következőképpen írható le:



ahol:

AgBr: ezüst-bromid

Ag: ezüst (fémes)

Br<sup>-</sup>: brómionok

Azaz ezüst-bromid szemcsék az előhívószer hatására fekete fémezüstté redukálódnak. A brómionok átkerülnek a fürdőbe és a finom eloszlású ezüst kis fekete foltként marad az ezüst-bromid helyén. Ez a reakció főleg a besugárzás által érintett területeken lép fel és annál nagyobb mértékben megy végbe, minél több sugárzást kap az adott terület.

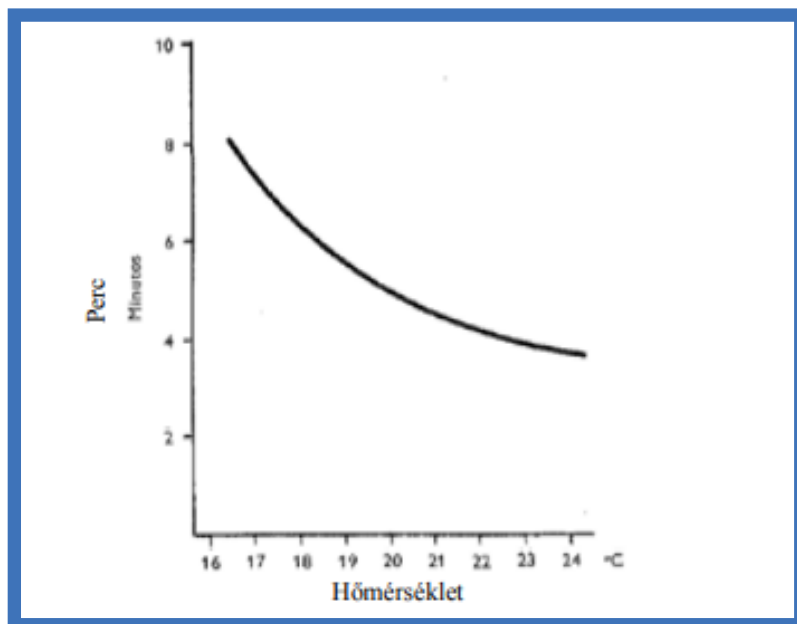
Ezután, azt követően, hogy az előhívószer lecsökkentette az ezüst-bromid szemcsék mennyiségét a sugárzás által érintett területeken, a folyamat kiterjed a film nem-besugárzott területeire is. Ez azt eredményezi, hogy a film végül túlfeketedik, ha elég ideig marad az előhívószerben.

Ebből adódóan, az előhívási idők beállítása nagyon fontos. Ezen túlmenően, mivel az előhívás egy kémiai folyamat, a hőmérséklet is fontos változó, következésképpen, az időknek is és a hőmérsékletnek is megfelelőnek kell lennie.

20°C-os hőmérsékleten az előhívási folyamat 5 percig tart. A hőmérsékletet minden esetben 18°C és 24°C között kell tartani. Ha a hőmérséklet meghaladja a magasabb értéket, akkor gyorsabban oxidálódik és használódik el a hívó vegyszer, és gyakoribbak lesznek a film felületén keletkező az oxidáció következményeként jelentkező filmhibák.

Az előhívóoldatba történő bemeztetéskor a filmet néhányszor fel-le kell mozgatni annak érdekében, hogy a felülete egységesen átnedvesedjen. Ezt a mozgatást a folyamat hátralevő lépései során is el kell végezni.

5.1. ábra. Előhívási idő változása a hőmérséklet függvényében. Kézi előhívás



Az előhívószerek jellemző (redukáló) alkotóelemei a metol és a hidrokinon.

További előhívószerek-alkotóelemek lehetnek az alábbiak:

- ◆ **Gyorsító anyag.** A NaOH vagy  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (nátrium-karbonát) 10 és 11,5 közötti pH-értéket ad a fürdőnek. A  $\text{BrAg}^+$  mennyiségének és a fürdő (levegővel való érintkezés miatti) oxidációjának a csökkenését segíti elő.
- ◆ **Késleltető anyag:** KBr (kálium-bromid). Késlelteti a nem besugárzott szemcsék redukcióját, mivel  $\text{Br}^-$ -ionokat vezet be és megakadályozza, hogy az előhívószerek hatása károsan befolyásolja a szemcséket védő záróréteget.
- ◆ **Tartósító (konzerváló) anyag.**  $\text{NaHSO}_3$  (nátrium hidrogén-szulfid). Megakadályozza vagy csökkenti a levegővel érintkező előhívó oldat oxidációját.
- ◆ **Víz.** Hígítószer vagy oldószer.

A folyamat ezen pontjánál már rendelkezésre áll a valós kép, ami még mindig érzékeny a fényre és természetesen az ionizáló sugárzásra.

#### 5.1.5 KÖZBENSŐ ÖBLÍTÉS VÍZZEL

Az előhívását követően a filmet 2–3 percig tiszta folyó vízben le kell öblíteni. A hőmérsékletnek körülbelül 20°C-nak kell lennie. A közbelső öblítés történhet megszakító fürdő alkalmazásával is, ez különösen akkor ajánlott, ha nagyobb hőfokú, pl. 25°C feletti hőmérsékletű előhívóval dolgozunk.

A megszakító fürdőben elegendő mintegy 30 másodpercig tartani és mozgatni a filmet, a hívási folyamat megszakítása, és az oldat maradványainak eltávolítása céljából. Megszakító fürdőt úgy készíthetünk, hogy a tartályba helyezett vízbe literenként 2–3  $\text{cm}^3$ -nyi ecetsavat adagolunk.



pH-ellenőrzés: A reagenspapírral történő pH-ellenőrzés csak megszakító fürdő alkalmazása esetén szükséges. A 6-os pH értéket nem szabad túllépni.

#### 5.1.6 FIXÁLÁS (AZ ELŐHÍVOTT FILM RÖGZÍTÉSE)

Az első vizes öblítést vagy a fürdőt követően – a fixálófürdő átlagos élettartamának meghosszabbítása érdekében – lehetőség szerint a filmet hagyni kell megszáradni; a fixálófürdő hőmérsékletét pedig 20°C-on kell tartani.

Miután az exponált film előhívása megtörtént és sor került az első közbenső öblítésre is, a filmet sötét területek (fémes ezüst) és világosabb területek alkotják, amelyek az ezüst-bromid-sugárzás hatásának ki nem tett szemcséiből állnak. A fixálásnak (rögzítésnek) az a célja, hogy a film meg nem világított részeit átlátszóvá tegyünk, azaz a meg nem világított ezüst-bromid szemcséket az emulzióból eltávolítsuk és ezáltal a felvételt maradandóvá, és raktározhatóvá tegyünk.

A fixálási eljárás során az exponálatlan ezüst-bromid 2–8 perc után feloldódik; a fémes ezüst – amely a képet alkotja a transzparens zselatinban – csak az emulziórétegben marad meg.

A nyomkövethetőség garantálása érdekében a teljes fixálási eljárást alaposan és körültekintően dokumentálni kell. 1 liter fixáló oldatot maximum 1 m<sup>2</sup> filmeterület fixálására szabad felhasználni.

A leginkább használt fixálószer a nátrium-tioszulfát Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, amely – egy vízben oldható komplex vegyület létrehozása révén – reakcióba lép nem oldható ezüst halogenidekkel. A fixálási eljárást szabályozó kémiai reakció az alábbi módon írható le:



A fixáló oldat egyéb elemei a következők: ecetsav és nátriumszulfát; sav reagensekként nátriumacetát; keményítőszerke, például kálium-aluminát AlK(SO<sub>4</sub>) és bórsav.

Az előírtnál hosszabb fixálási időnek nincs nagy hatása a film jellemzőire, ellentétben az előírtnál hosszabb előhívási idővel, amely például módosíthatja a film kontrasztot.

Miközben a rögzítőszer elvégzi a feladatát és kioldja az előhívószer hatásának ellenálló ezüst halogenideket, fokozatosan eltünteti az előhívott film opálos jellegét, azaz a filmnek az előhívás után tejfehérnek mutató részai tiszták, áttetszők lesznek. Ekkor a filmet már fehér fénynél is megnézhetjük, de a rögzítést még folytatni kell. A fixálás teljes időtartamára rendszerint az előhívási idő kétszeresét szokták alkalmazni (általában 2 és 5 perc közötti időtartam).

#### 5.1.7 A FILMEK MOSÁSA (VÉGSŐ MOSÁS)

A fixálási eljárást követően, a filmet alaposan le kell öblíteni vízzel annak érdekében, hogy ezáltal minden fixálószer kémiai maradványt el lehessen távolítani, ami ha sokáig érintkezik a filmmel, akkor lebomolhat és károsíthatja a képet. Ezt a műveletet folyóvízzel kell végezni 20 percen keresztül.



A maximális tartósság és/vagy tárolási idő úgy érhető el, ha optimális végső mosást hajtunk végre. Ellenkező esetben a tioszulfát lebomlása idővel sárga vagy barna foltokat eredményezhet.

Ha folyóvíz nem áll rendelkezésre, szükségből alkalmazhatjuk, az ún. kaszkád (szakaszos) mosást. 10 liter vízben maximum 1 m<sup>2</sup>-nyi filmet szabad öblíteni, minden esetben betartva a gyártói instrukciókat.

#### **Nedves fürdő (opcionális)**

Jobb öblítővíz-eloszlás érhető a szárítási fázisnál.

A metilén-kékteszt alkalmazásával az elért optimális öblítési szint precízen ellenőrizhető.

A gyakorlati értékelésre az ezüstnitrát teszt használatos.

### 5.1.8 SZÁRÍTÁS

A filmkidolgozási folyamat utolsó lépése a filmszáritás, melynek során a film eléri a szükséges keménységet és ellenállóképességet. A szárítási hőmérséklet nem haladhatja meg a 40°C-ot. Ezen túlmenően, figyelembe kell venni a légáramlást és a pormentességet is. A szárítási körülmények miatt a filmen maradó vízfoltokat a későbbiekben nem lehet eltávolítani, még akkor sem, ha újraöblítjük a filmet. Az eljárás eredményessége javítható regeneráló fürdő alkalmazásával, melynek segítségével a vízmaradványok teljesen eltávolíthatók.

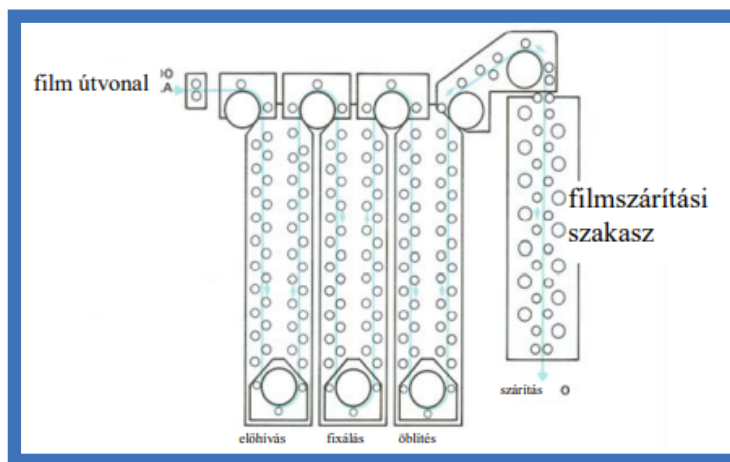
### 5.1.9 AUTOMATA ELŐHÍVÁS

Manapság az előbbiekben ismertetett filmkidolgozási eljárást rendszerint teljesen automatikus előhívó berendezéssel helyettesítik. Nagyon fontos, hogy ennek az előhívó berendezésnek – amit rendszerint „automata előhívónak” neveznek – a használata és a karbantartása a gyártó által biztosított üzem közbeni instrukciók figyelembevételével történjen annak érdekében, hogy ezáltal elkerülhető legyen a berendezés meghibásodása. A kézi kidolgozáshoz viszonyítva, ezek az eszközök aktívabb fürdőkkel (speciális vegyszerekkel) és magasabb hőmérsékleten (28–32°C) működnek. Ily módon elérhető a kidolgozási idő jelentős csökkenése; az adott berendezéstől függően, a folyamat időtartama – vagyis a besugárzott film behelyezésétől a kidolgozott és megszáritott film elkészültéig eltelt idő – lecsökkenthető például 8 percre. Ezen eljárás során sem a film kontraszt, sem a film szemcsésedés nem módosul, ellentétben a kézi eljárással.





## 5.2. ábra. Automatikus filmkidolgozás



## 5.1.10 FILM ELŐHÍVÁSI HIBÁK

A filmkidolgozást követően az alábbi hibajelenségek figyelhetők meg:

- ◆ Elégtelen kontraszt.
- ◆ Túlzott mértékű kontraszt.
- ◆ Elégtelen vagy túlzott mértékű feketedés.
- ◆ Elégtelen élesség.
- ◆ Expozíció előtti hullámossági jelek.
- ◆ Elektrosztatikus jelek.
- ◆ Egyebek.

Amennyire lehetséges ügyelni kell arra, hogy ezeket a jelenségeket ne tévesszük össze a vizsgálati tárgy folytonossági hiányával. Az említett jelenségek előfordulásának megakadályozása érdekében az alábbi szabályokat kell betartani:

- ◆ Annak a területnek mindig száraznak és pormentesnek kell lennie, ahol a filmek dobozba történő berakása és onnan való kivétele történik.
- ◆ A kéz nem lehet túlságosan nedves és el kell kerülni azt, hogy a filmre ujjlenyomatok kerüljenek. A filmet tartalmazó doboz vagy kazetta nem lehet hajlított.
- ◆ A szárítási eljárás során, a szomszédos filmek között olyan távolságot kell biztosítani, hogy azok ne érjenek össze és ne ragadjanak egymáshoz.
- ◆ Kerülni kell a lemez besugárzás előtti és/vagy utáni összehajtását, mert megkarcolódhat az ólomfólia, illetve, hogy porfoltok alakuljanak ki a szárítási eljárás során.

Amennyiben az itt említett és más egyéb – például a gyártó által megadott – ajánlásokat nem tartjuk be, akkor olyan hibák jelentkezhetnek, amelyek megnehezítik vagy akár ellehetetlenítik a film értékelését.

## NYOMÁSBÓL EREDŐ JELEK

**Hogyan néznek ki?**

A nyomásból eredő jel jóval kisebb feketedést mutat a szomszédos területekhez viszonyítva.

**Mi okozza ezeket?**

A besugárzás előtt a filmterületre kifejtett erős helyi nyomás.

**Mikor fordulhatnak elő?**

A nyomásból eredő jelek fő oka a nem megfelelő filmkezelés a kazetták előkészítése során. Az eljárás során a film bizonyos ponton beszorulhat a kazettába. Ugyancsak okozhat nyomásjeleket a kazettára eső tárgy.

**Hogyan tudom letesztelni ezeket?**

Körültekintő módon elő kell készíteni egy másik filmkazettát közvetlenül ugyanabból a dobozból. Végre kell hajtani a film besugárzását és kidolgozását. Ha ezt követően nem látunk olyan hibákat, mint az első esetben, akkor az első esetben valószínűleg egy nyomásjelet láttunk.

**Hogyan tudom megelőzni ezeket?**

A filmet mindig körültekintően, óvatosan kell kezelni. Ügyelni kell arra, hogy a filmet semmiféle nyomás ne érje.



## HULLÁMOSSÁG JELEK (BESUGÁRZÁS UTÁN)

**Hogyan néznek ki?**

A hullámosság jelek olyan félhold alakú hibákként jelennek meg, amelyek sötétebbek (nagyobb feketedésűek) a szomszédos filmterületeknél.

**Mi okozza ezeket?**

Ha a besugárzás után és közvetlenül a kidolgozás előtt vagy alatt a filmet erős hajlító igénybevétel éri, akkor az hullámosítani fogja.

**Mikor fordulhatnak elő?**

Ez rendszerint akkor fordul elő, amikor a filmet nem megfelelő módon kezelik a kazettákból vagy függesztő keretből való kirakodáskor.

**Hogyan tudom letesztelni ezeket?**

Végezzük el egy film besugárzását, majd szándékosan hullámosítsuk vagy hajlítsuk meg azt. Hajtsuk végre a film kidolgozást és vizsgáljuk meg a filmet visszavert fénnel. Igen valószínű, hogy egy vagy több félhold alakú hiba lesz látható.

**Hogyan tudom megelőzni ezeket?**

A filmet körültekintően, óvatosan kell kezelni. Ha ív filmet akarunk kézben vinni, akkor finoman hajtsuk félbe azt és „3-pontos fogással” tartsuk, azaz, fogjuk meg a hüvelyk és a középső ujjunkkal úgy, hogy a mutatóujjunkt közéjük helyezzük annak érdekében, hogy a filmfelületek ne érjenek össze. Ez egyszerűen végrehajtható, ha a hosszoldalt a padlóval párhuzamosan tartjuk.



## HULLÁMOSSÁG JELEK (BESUGÁRZÁS ELŐTT)

**Hogyan néznek ki?**

A hullámosság jelek olyan félhold alakú hibákként jelennek meg, amelyek világosabbak (kisebb feketedésűek) a szomszédos filmterületeknél.

**Mi okozza ezeket?**

Az ilyen típusú hullámosság jeleket a filmbesugárzás előtti hirtelen, erős behajlítása okozza.

**Mikor fordulhatnak elő?**

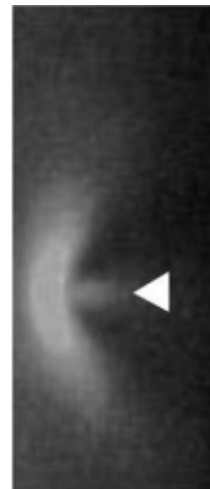
Ez rendszerint akkor fordul elő, amikor a filmet nem megfelelő módon kezelik a dobozból történő eltávolításkor vagy a kazettába való betöltéskor a besugárzást megelőzően.

**Hogyan tudom letesztelni ezeket?**

Végezzük el egy filmbesugárzását, majd szándékosan hullámosítsuk vagy hajlítjuk meg azt. Hajtsuk végre a film kidolgozást és vizsgáljuk meg a filmet visszavert fénnel. Igen valószínű, hogy egy vagy több félhold alakú hiba lesz látható.

**Hogyan tudom megelőzni ezeket?**

A filmet körültekintően, óvatosan kell kezelni. Ha egy ív filmet akarunk vinni, akkor finoman hajtsuk félbe azt és „3-pontos fogással” tartsuk, azaz, fogjuk meg a hüvelyk és a középső ujjunkkal úgy, hogy a mutatóujjunkt közéjük helyezzük annak érdekében, hogy a filmfelületek ne érjenek össze. Ez egyszerűen végrehajtható, ha a hosszoldalt a padlóval párhuzamosan tartjuk.



## ELEKTROSZTATIKUS JELEK

**Hogyan néznek ki?**

Az elektrosztatikus jelek vagy csipkés, villás sötét vonalakként, vagy szabálytalan és sötét foltokként jelennek meg. Az elektrosztatikus jelek hasonlóak bizonyos öntési rendellenességekhez.

**Mi okozza ezeket?**

Az elektrosztatikus jeleket a statikus elektromosság disszipációja (az elektromos energia hővé alakulása) okozza.

**Mikor fordulhatnak elő?**

Az elektrosztatikus jelek leggyakoribb oka az, hogy a filmet gyorsan távolítják el a dobozából akkor, amikor a relatív páratartalom alacsony.

**Hogyan tudom letesztelni ezeket?**

A film kezelését megelőzően, csoszogjunk a lábunkkal vagy dörzsöljük meg a hajunkat. Néha látni vagy hallani fogjuk az elektrosztatikus kisülést. Ha a kidolgozást követően csipkés vonalakat vagy sötét foltokat látunk, akkor igen valószínű az, hogy elektrosztatikus jelek keletkeztek.



**Hogyan tudom megelőzni ezeket?**

A film számára 40%-nál magasabb relatív páratartalmat kell biztosítani. Ügyelni kell arra, hogy ne csúszassuk a filmeket, illetve, ne mozgassuk gyorsan őket a dobozuktól történő eltávolításakor.

**GYENGE FELBONTÁS (életlenség)****Hogyan néznek ki?**

A „gyenge felbontás” egyszerűen egy kifejezés azon képek jellemzésére, amelyek nem élesek.

**Mi okozza ezeket?**

A legtöbb esetben a gyenge felbontást az okozza, hogy a fólia és a film között nincs kontaktus.

**Mikor fordulhatnak elő?**

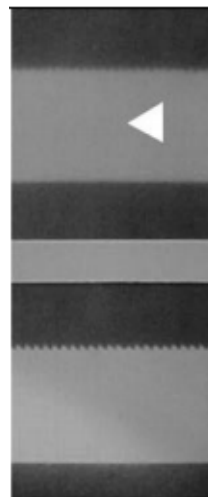
„Életlen” képeket kaphatunk minden olyan esetben, amikor az ólomfóliák vagy fluoreszcens ernyők és a film között nem elegendő vagy gyenge a kontaktus.

**Hogyan tudom letesztelni ezeket?**

-

**Hogyan tudom megelőzni ezeket?**

Egyszerűen. Csak arról kell gondoskodni, hogy a fólia és a film nyomvonala helyes tűrésekre legyen beállítva, illetve megfelelő módon legyen egy vonalba állítva.

**FOLTOK (FIXÁLÓSZER)****Hogyan néznek ki?**

A fixálószer foltok olyan kis foltokként jelennek meg, amelyek kisebb feketedésűek az őket körülvevő filinterülethez képest.

**Mi okozza ezeket?**

Az előhívást megelőzően egy – akár elenyésző mennyiségű – fixálószer kifröccsenés foltokat fog okozni.

**Mikor fordulhatnak elő?**

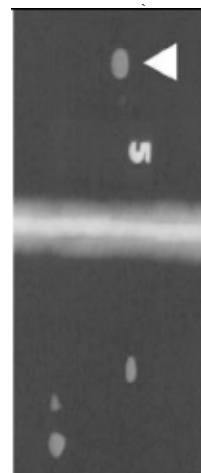
Kémiai szennyeződés esetén bármikor problémát jelenthetnek. Ebben az esetben rendszerint a nem megfelelő sötétkamra elrendezés vagy a gondatlan kidolgozási technikák miatt fordulhatnak elő.

**Hogyan tudom letesztelni ezeket?**

-

**Hogyan tudom megelőzni ezeket?**

Természetesen úgy, hogy nem fröccsentjük ki a fixálószer, illetve teljesen szárazon tartjuk a filmkezelési területeket.



## FOLTOK (ELŐHÍVÓSZER)

**Hogyan néznek ki?**

Az előhívószert foltok olyan kis foltokként jelennek meg, amelyek nagyobb feketedésűek az őket körülvevő filmterülethez képest.

**Mi okozza ezeket?**

Ezt a foltípust a film előhívása előtti előhívószerral való érintkezés vagy előhívószert-kifröccsenés okozza.

**Mikor fordulhatnak elő?**

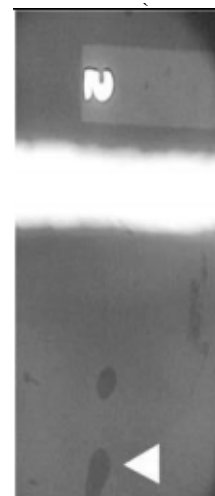
A nem megfelelő kidolgozási technikák- vagy a rossz sötétkamra-elrendezés okozhatnak ilyen foltokat.

**Hogyan tudom letesztelni ezeket?**

-

**Hogyan tudom megelőzni ezeket?**

Ügyeljünk arra, hogy semmiféle vegyszer ne fröccsenjen ki, illetve, hogy a filmkezelési terület teljesen száraz legyen.



## HAJSZÁLVONALAK

**Hogyan néznek ki?**

A hajszálvonalak pontosan úgy néznek ki, mint ami a nevükből várható – egy film negatívon átmenő nagyon vékony fehér vonal. Lehetnek bolyhok, szálak vagy por által létrehozott foltok is.

**Mi okozza ezeket?**

A legtöbb esetben a film és a fólia közötti hajszál egy vonalat okoz. A bolyhok, szálak vagy a por szabálytalan foltokat vagy árnyékképeket eredményez.

**Mikor fordulhatnak elő?**

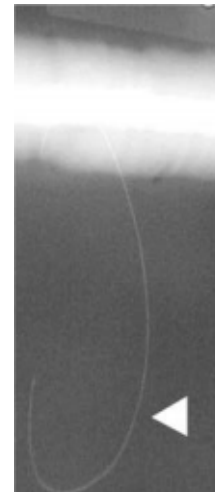
A filmek és fóliák kezelése során bárhol előfordulhat kontamináció.

**Hogyan tudom letesztelni ezeket?**

Tisztítsuk meg az automatikus előhívót, különös hangsúlyt fektetve az adagolótálcákra és a behúzó hengerekre.

**Hogyan tudom megelőzni ezeket?**

Az összes munkaterületet tisztán – amennyire lehetséges foltmentesen – kell tartani.



## FÓLIAJELEK

**Hogyan néznek ki?**

A fóliajel sötét vonalként jelenik meg egy negatívon. A fóliajelek a negatívon látható fehér foltokként is megjelennek.

**Mi okozza ezeket?**

A sötét vonalat az ólomfólia árnyékoláson levő mély karcolás okozza. A világos foltokat a fólián levő idegen anyag hátrák okozzák.

**Mikor fordulhatnak elő?**

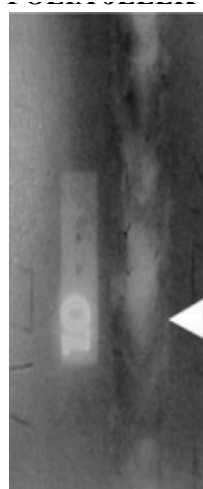
Fóliajelek akkor láthatók, amikor egy fólia valamilyen módon megkarcolódik vagy megsérül. Akkor is kialakulnak ilyen jelek, ha idegen anyagok jutnak be a berendezésbe.

**Hogyan tudom letesztelni ezeket?**

Gondosan és alaposan ellenőrizzük le a fóliákat. Bármiféle sérülés esetén le kell cserélni az adott fóliát. Ha nem vagyunk biztosak a dolgunkban, akkor a gyanús fólia helyett tegyünk be egy újat és végezzünk el néhány filmtesztet.

**Hogyan tudom megelőzni ezeket?**

Természetesen el kellene kerülni a fóliák megkarcolását és mindig nagyon tiszta munkaterületeket kell biztosítani. Ezen túlmenően, amikor csak lehetséges, ólombevonatú filmformátumot használjunk.



## PAPÍRJELEK

**Hogyan néznek ki?**

A papírjel egy alacsony feketedésű területként jelenik meg, amely majdnem teljesen eltakarja a filmet.

**Mi okozza ezeket?**

A papírjelek akkor láthatók, amikor a papír rákerül a filmre és a fóliára, és árnyékot vet arra.

**Mikor fordulhatnak elő?**

Akkor fordul elő, amikor a védőpapírt nem távolítják el.

**Hogyan tudom letesztelni ezeket?**

Egyszerűen. Teszt besugárzásokat kell végrehajtani a védőpapírral és anélkül.

**Hogyan tudom megelőzni ezeket?**

A besugárzás végrehajtása előtt meg kell győződni arról, hogy teljes mértékben eltávolításra került-e a védőpapír.



## FEKETE SÁVOK ÉS FOLTOK

**Hogyan néznek ki?**

Pontosan úgy néznek ki, mint amire a nevük utal: fekete sávok vagy foltok.

**Mi okozza ezeket?**

Valamely külső, idegen fény okozhat fekete sávokat vagy foltokat.

**Mikor fordulhatnak elő?**

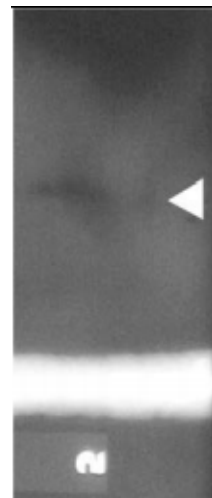
Ezek a hibák leggyakrabban akkor fordulnak elő, amikor fény szivárog be egy kazetta vagy filmtartó sérülése vagy hibája miatt.

**Hogyan tudom letesztelni ezeket?**

Teljes sötétségben távolítsunk el egy film mintadarabot, ügyelve arra, hogy fény ne érhesse azt. Dolgozzuk ki a filmet és vizsgáljuk meg azt.

**Hogyan tudom megelőzni ezeket?**

Számos olyan lépés van, ami alkalmazható. Ellenőrizzük le a kazettákat és megfelelő módon kezeljük azokat. Szükség esetén szigetelőszalaggal vagy gumiszalaggal rögzítsük őket. Végül, győződjünk meg arról, hogy a sötétkamralámpa valóban megfelelő-e erre a célra.



## SÁVOSSÁG

**Hogyan néznek ki?**

A sávosság lehet egy vonal, egy elkenődés vagy egy sáv. Ebben az esetben fekete vagy fehér lehet.

**Mi okozza ezeket?**

A sávokat több kémiai szennyeződés-típus bármelyike okozhatja. A kontamináció gyakran nem megfelelő sötétkamra-beállítások vagy a nem megfelelő kidolgozási technika következtében lép fel.

**Mikor fordulhatnak elő?**

Az ilyen típusú sávok akkor fordulnak elő, amikor az előző kidolgozási ciklusokból származó vegyszerek nem teljes körűen lettek eltávolítva a filmfüggesztő keretről.

**Hogyan tudom letesztelni ezeket?**

-

**Hogyan tudom megelőzni ezeket?**

Ügyelni kell arra, hogy „ne zsúfoljuk túl” a filmfüggesztő keretet. A berendezést mindig körültekintően és teljes körűen kell előblíteni. A filmkezelési területeket is szárazon és vegyszerfröccsenésektől mentesen kell tartani.



## NYOMÁSJELEK (AZ AUTOMATIKUS KIDOLGOZÁSBÓL)

### Hogyan néznek ki?

A nyomásjelek sötét vonalakként vagy sötét foltokként jelennek meg.

### Mi okozza ezeket?

Az automatikus kidolgozás során vegyszerlerakódások felhalmozódása hozhat létre ilyen nyomásjeleket vagy a filmre gyakorolt mechanikai nyomás idézhet elő ilyen hibákat.

### Mikor fordulhatnak elő?

A fő ok az előhívó nem megfelelő karbantartása, azaz idegen elemek jelenléte a hengereken, valamint a hengerek nem megfelelő tisztítása.

### Hogyan tudom letesztelni ezeket?

-

### Hogyan tudom megelőzni ezeket?

Az automatikus előhívó hengereket rendszeresen alaposan meg kell tisztítani, és ügyelni kell arra, hogy a mechanikus karbantartásuk megtörténjen.



## PI-VONALAK (AZ AUTOMATIKUS KIDOLGOZÁSBÓL)

### Hogyan néznek ki?

A Pi-vonal egy nagyon speciális jelenség: egy sötét vonal a film életől olyan távolságban, ami pontosan megegyezik az automatikus előhívóban levő henger kerületével.

### Mi okozza ezeket?

A Pi-vonalak akkor keletkeznek, amikor a hengerről apró, pici vegyi lerakódások kerülnek át a filmre.

### Mikor fordulhatnak elő?

Gyakran szabályos sorrendben – a henger kerülete által elkülönítve – helyezkednek el.

### Hogyan tudom letesztelni ezeket?

Le kell mérni a vonalak közötti pontos távolságot. Ha a jelenség ugyanolyan osztástávolsággal, csökkenő feketedéssel vagy intenzitással ismétlődik, és a vonalak közötti távolság megegyezik a henger kerületével, akkor Pi vonalokról beszélünk.

### Hogyan tudom megelőzni ezeket?

Ügyelni kell arra, hogy az automatikus előhívó hengereit rendszeres időközönként, alaposan és teljeskörűen megtisztítsuk és átöblítsük.





## VÉLETLENSZERŰ FEKETE FOLTOK (AZ AUTOMATIKUS KIDOLGOZÁSBÓL)

**Hogyan néznek ki?**

Véletlenszerű fekete foltok, amelyek a filmmozgás irányába elnyúló csóvákkal rendelkező fekete üstökösökhöz hasonlítanak.

**Mi okozza ezeket?**

A kémiai szennyeződés véletlenszerű fekete foltokat okoz.

**Mikor fordulhatnak elő?**

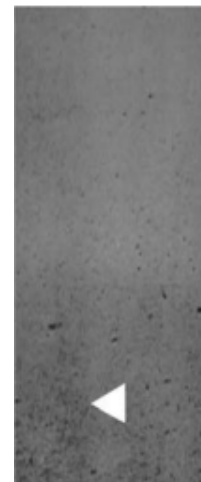
Vagy az előhívó vagy annak néhány komponense szennyeződik, vagy idegen részecskék hullanak a filmre, ahogy az bekerül az előhívóba.

**Hogyan tudom letesztelni ezeket?**

-

**Hogyan tudom megelőzni ezeket?**

Tisztítsuk meg az automatikus előhívót, különös hangsúlyt fektetve az adagoló-tálcákra és a behúzó hengerekre.



## 5.2 KIDOLGOZÁS KÖZBENI ELLENŐRZÉSEK

## 5.2.1 A NEM-BESUGÁRZOTT FILM TÁROLÁSÁNAK ELLENŐRZÉSE: FÁTYOLOSODÁS TESZTELÉSE

A nem-besugárzott filmeket a röntgen- és/vagy gammasugárzási területen kívül kell tárolni. A helykorlátok miatt rendszerint nem lehet teljesen megakadályozni azt, hogy a film ne kapjon besugárzást. A fátyolosodásteszt egy megfelelő ellenőrzési módszer annak megállapítására, hogy a besugárzás mértéke nem lépte-e túl a megállapított határértékeket. Ez azokra a filmekre is érvényes, amelyek túllépték a tárolási időtartamukat.

A teszt abból áll, hogy a radiográfiai filmet besugárzás nélkül, a besugárzott filmekkel azonos módon hívják elő. A kidolgozás után a film feketedés értéke nem haladhatja meg a munkautasításokban, eljárásrendekben, szabványokban és alkalmazási szabályzatokban meghatározott és előre beállított értéket; ez az érték jellemzően 0,3.

## 5.2.2 A SÖTÉTKAMRA MEGVILÁGÍTÁSÁNAK ELLENŐRZÉSE

Egy kb.  $D = 2$  értékű feketedésnek megfelelően besugárzott filmen a film felületének fele hosszirányban fedett, fele pedig 5 percen keresztül van kitéve a sötétkamra megvilágításnak, majd a szokásos módon történik a kidolgozása.

A film két felének feketedései között mért különbség ( $\Delta D$ ) nem lehet nagyobb, mint a munkautasításokban, eljárásrendekben, szabványokban és alkalmazási szabályzatokban meghatározott és előre beállított érték, ez az érték jellemzően 0,1.



### 5.2.3 A TELJES FILMKIDOLGOZÁSI TELJESÍTMÉNY ELLENŐRZÉSE (ELŐHÍVÓSZER)

Lehetőség van arra, hogy adott mennyiségű regeneráló fürdő rendszeres hozzáadásával és nyilvántartásával egy megbízható teljes filmkidolgozási teljesítménymutatót kapjunk.

### 5.2.4 ÖBLÍTÉSI IDŐ ELLENŐRZÉS (FIXÁLÓSZER)

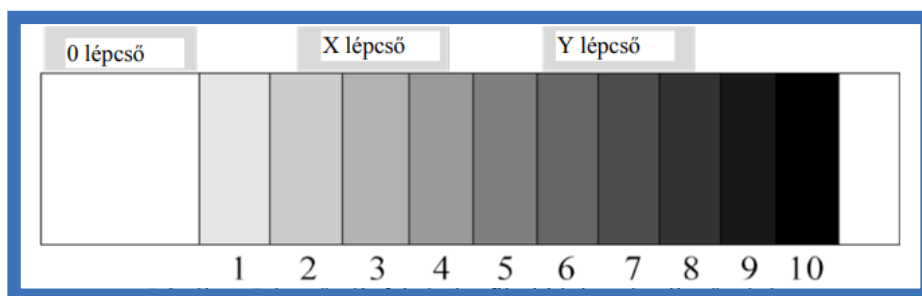
A fixálószer hatékonyságának nyomon követésére szolgáló egyik módszer az öblítési idő mérése. Az előhívatlanul maradó – de már fixált – filmet „le kell öblíteni” 2 perc fixálást követően. Ezt a tesztet normál megvilágítási feltételek mellett kell végrehajtani.

Egy fixálófürdő maximum 8 gramm ezüstöt tartalmazhat literenként. Ezt megfelelő reagenspapírral kell ellenőrizni.

### 5.2.5 SOROZATKÉP (LÉPCSŐSÉK-FELVÉTEL; MSZ EN ISO 11699-2)

A teljes filmkidolgozási teljesítmény tesztelésének egy másik módja a lépcsős ék alakú próbadarbról készült radiográfiai felvétel alkalmazásával történő ellenőrzés. Ezeket a filmeket a filmgyártóktól lehet beszerezni. A felhasználó időszakosan - szabályos ciklusokban, standard eljárásként - kidolgozza ezeket a filmeket és a különböző időszakos tesztek során kapott eredményeket összehasonlíttja a gyártó referencia értékeivel.

5.3. ábra. Lépcsős ék felvétel a filmkidolgozás ellenőrzésére



A teszt az előhívási eljárás feketedéseinek mérése révén kerül végrehajtásra:

0 lépcső: nem-besugárzott terület; a háttér mérésére szolgáló terület (fátyolfeketedés  $D_0$ ).

X lépcső: kb.  $D = 2,0$  feketedésű lépcső; ez a sebesség indexet (érzékenység) mutatja.

Y lépcső: kb.  $D = 3,5$  feketedésű lépcső; a kontraszt index meghatározására szolgál.

#### Eljárás

A lépcsősék-filmet rendszeresen programozott ciklusokban tanácsos kidolgozni (például regenerálást-, új fürdőket vagy öblítéseket-, a teszterhelések változásait követően vagy hetente).



1. Hosszirányban helyezzük be a filmet az előhívó berendezésbe,
2. Mérjük meg a fátyolfeketedést az ék nem-besugárzott területén,
3. A kapott feketedést jegyzőkönyvben rögzítsük,
4. Mérjük meg a feketedést az X lépcsőben; az értéket rögzítsük a jegyzőkönyvben,
5. Mérjük meg a feketedést az Y lépcsőben; az értéket rögzítsük a jegyzőkönyvben,
6. Számítsuk ki a sebesség indexet:  $S_x = D_x - D_0$ ,
7. Számítsuk ki a kontraszt indexet:

$$c_x = (D_Y - D_X) \frac{S_r}{S_x}$$

8. Értékelés: számítsuk ki a százalékos eltérést a kapott értékek és a referencia értékek között.

### Az eredmények értékelése

Az előhívó rendszer működését állandónak kell tekinteni abban az esetben, ha a mért adatok és a referencia adatok közötti különbség nem haladja meg az alábbi határértékeket:

- ◆ Fátyolfeketedés  $D_0$ : 0,3 maximum
- ◆ Sebesség index:  $\pm 10\%$
- ◆ Kontraszt index:  $-10\% - + 15\%$

### Tárolási feltételek

A sorozatképeket legjobb az eredeti borítékokban tárolni, a röntgenfilmekkel azonos feltételek mellett. Az optimális hőmérséklet tartomány  $4^\circ\text{C}$  és  $20^\circ\text{C}$  között van, a maximális hőmérsékleti csúcsérték  $23^\circ\text{C}$ . Ilyen feltételek mellett a gyártó állandó minőséget garantál a lejárat időpontig bezárólag.

5.4. ábra. Hosszútávú ellenőrzési diagram vagy táblázat, példa

|                                               |                                                                 |                            |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Sorozatkép szám:203                           | Sorszám: B152                                                   | Dátum: 2002.04.20, 11:30   |
| Referencia értékek:                           |                                                                 |                            |
| 4. lépcső érzékenységi index $s_r = 2.01$     | 8. lépcső kontraszt index $c_r = 1.19$                          |                            |
| Mért értékek:                                 |                                                                 |                            |
| $D = 0.22$                                    | $D_{\text{step X}} = 2.02$                                      | $D_{\text{step Y}} = 3.14$ |
| Számított értékek:                            |                                                                 |                            |
| $s_x = D_{\text{step X}} - D_0$               | $c_x = (D_{\text{step Y}} - D_{\text{step X}}) \frac{S_r}{S_x}$ |                            |
| $s_x = 2.02 - 0.22 = 1.80$                    | $c_x = (3.14 - 2.02) \cdot 2.01 / 1.80 = 1.26$                  |                            |
| Értékelés:                                    |                                                                 |                            |
| Fátyolfeketedés:                              | Tűrés: $D \leq 0,3$                                             |                            |
| $D = 0.22$                                    | megengedett x                                                   | nem-megengedett            |
| Érzékenység index:                            | Tűrés: $\pm 10\%$                                               |                            |
| $\frac{s_x}{s_r} \cdot 100 - 100\% = - 11 \%$ | megengedett í                                                   | nem-megengedett x          |
| Kontraszt index:                              | Tűrés: $+ 15\% \text{ a } - 10\%$                               |                            |
| $\frac{c_x}{c_r} \cdot 100 - 100\% = + 6 \%$  | megengedett x                                                   | nem-megengedett í          |



5.5. ábra. Adatrögzítő táblázat példa, lépcsős ékkel történő tesztelés esetén

| ADATOK                           |                   |       |
|----------------------------------|-------------------|-------|
| Fátyolfeketedés                  |                   | 0.3   |
|                                  |                   | 0.2   |
|                                  | $D_0$             | 0.1   |
|                                  |                   |       |
| érzékenységi index<br>eltérés, % |                   | 15 %  |
|                                  |                   | 5 %   |
|                                  | $\frac{S_x}{S_r}$ | -5 %  |
|                                  |                   | -15 % |
| kontraszt index<br>eltérés, %    |                   | 15 %  |
|                                  |                   | 5 %   |
|                                  | $\frac{C_x}{C_r}$ | -5 %  |
|                                  |                   | -15 % |

### 5.2.6 ÁROLÁS ELLENŐRZÉS. RÖNTGENFELVÉTELEK MEGŐRZÉSE ÉS TARTÓSSÁGA

A minimális tárolási időtartamokat gyakran a vizsgálati instrukciók, a specifikációk vagy a minőségügyi normatívák szerint írják elő, például 30 év vagy egy adott berendezés átlagos élettartama. A film tartóssága különböző tényezőktől függ, például a filmkidolgozástól és a film tárolásától.

Ahogy az korábban már rögzítésre került, a film tartósság szempontjából a legmeghatározóbb művelet a fixálási eljárást követő mosás, amivel el kell távolítani a fixálószerből származó összes nátrium-tioszulfátot.

A film tartósságának garantálása érdekében, a kidolgozott filmet rendszeresen ellenőrizni kell. A film tartóssága meghatározható ezüst-nitráttal történő tesztelés alkalmazásával, melynek segítségével meg lehet becsülni a visszamaradó tioszulfát tartalmat. Egy csepp ezüst-nitrátot kell elhelyezni a filmfelület egy fényes pontján. Miután az elhelyezéstől számított egy percet követően itatóspapírral eltávolítjuk az ezüst-nitrátot, a filmet a fény felé fordítva le kell ellenőrizni a nedves maradvány színét. Az ily módon generálódott elszíneződést egy standard színskálához kell viszonyítani:

- ◆ Ha nincs színe vagy kis mértékben sárga, akkor az öblítés megfelelő volt.
- ◆ Ha élénksárga színű, narancsos vagy barna, akkor az öblítést folytatni kell.

Automata előhívás esetén, ez a teszt egy olyan nem-besugárzott filmmel kerül végrehajtásra, amit előhívtak.



5.6. ábra. Az AGFA által gyártott tioszulfát alkalmazásával végrehajtott teszt



A tárolást illetően garantálni kell azt, hogy a kidolgozott film optimális feltételek között lesz tárolva a meghatározott időtartam alatt. A kidolgozást követően a radiográfiai felvételek mechanikai, fizikai, biológiai és kémiai sérülést szenvedhetnek. Az ilyen jellegű sérülések elkerülése érdekében, be kell tartani néhány óvintézkedést:

- ◆ A radiográfiai felvételeket ne kezeljük a védőmappáikon kívül.
- ◆ A radiográfiai felvételeket ne egymás tetejére rakva tároljuk.
- ◆ El kell kerülni a hő behatását, ami az emulzió térhálósodását okozza, illetve foltokat és lágyulást eredményez.
- ◆ A vízzel vagy oldószerekkel való érintkezést el kell kerülni.
- ◆ 20°C-nál alacsonyabb léghőmérsékleten kell tartani, 15% és 30% közötti relatív páratartalom mellett.

Gombaölő szert kell alkalmazni a baktériumok és gombák elszaporodásának megakadályozása érdekében.

### 5.2.7 KÉZI ELŐHÍVÁSI FOLYAMAT ÖSSZEFOGLALÁSA

5.1. táblázat.

| Eljárás                              | Feladat                                              | Eredmény                                                                             |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Előhívás:<br>5 perc, 20°C            | A bróm kioldása az ionizált ezüst-bromid szemcsékből | Megmaradó:<br>1. nem besugárzott AgBr szemcsék<br>2. Elemi ezüst<br>3. Előhívó oldat |
| Közbenső öblítés vízzel:<br>1–2 perc | Az előhívó oldat maradványának eltávolítása          | Megmaradó:<br>1. nem besugárzott AgBr szemcsék<br>2. Elemi ezüst                     |



| Eljárás                                                          | Feladat                                      | Eredmény                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fixálás<br>Az előhívási idő kétszerese                           | A nem besugárzott AgBr szemcsék eltávolítása | Megmaradó:<br>1. előzetesen nem besugárzott foltokban lévő elemi ezüst szemcsék<br>2. Fixáló oldat |
| Végső mosás vízben:<br>20 perc, folyóvíz nélkül (kaszád öblítés) | A fixáló oldat eltávolítása                  | Megmaradó:<br>1. előzetesen besugárzott foltokban lévő elemi ezüst szemcsék<br>2. Víz              |
| Nedves (alkoholos) fürdő (opcionális):<br>1–2 perc               | A vízfoltok kialakulásának megakadályozása   | A víz eltűnik a felületről                                                                         |
| Száritás: max. 40°C                                              | A víz eltávolítása                           | Az eljárás vége                                                                                    |

### 5.3 GEOMETRIAI ÉLETLENSÉG

#### 5.3.1 A RADIOGRÁFIA GEOMETRIAI TÖRVÉNYEI

Ahogy azt már láttuk, a radiográfiai felvétel egy kép, amely akkor keletkezik, amikor a vizsgálandó tárgyat a röntgen- vagy gammasugárnyaláb és a radiográfiai film közé helyezzük. A szóban forgó kép a kúpos perspektívából történő árnyékképződésre vonatkozó általános alapelvek szerint alakul ki. Ezek az alapelvek azt rögzítik, hogy az árnyék élességi szintje egyrészt a fényforrás méretétől függ, másrészt pedig a fény és a fólia – amelyre az árnyék rávetődik – közötti tárgy pozíciójától. Ezen túlmenően, az árnyék alakja attól függően is változhat, hogy a tárgy milyen szöget zár be a beeső fénysugarakkal. A kúpos perspektívára, illetve a radiográfiai kép keletkezésére vonatkozóan öt geometriai törvény létezik:

1. *Terjedési törvény:* A röntgen- vagy gammasugár egyenes vonalban terjed.
2. *Nagyítási törvény:* A radiográfiai képek mindig nagyobb méretűek, mint a tárgy.
3. *Életlenségi törvény.*
4. *Négyzetes távolság törvény:* Adott felületet érő besugárzás intenzitása a felület és a sugárforrás közti távolság négyzetével fordított arányban csökken.
5. *Beesési törvény:* Ha a sugárzás ferdén esik be egy felületre, akkor annak besugárzása a merőleges besugárzáshoz képest a beesési szög koszinuszával arányosan kisebb lesz.

#### 5.3.2 GEOMETRIAI ÉLETLENSÉG

A geometriai életlenség az élesség vagy felbontás hiánya a radiográfiai kép szegélyeiben. Ezt a geometriai felbontás-hiányt vagy életlenséget az a tény okozza, hogy a sugárforrás vagy a kibocsátó

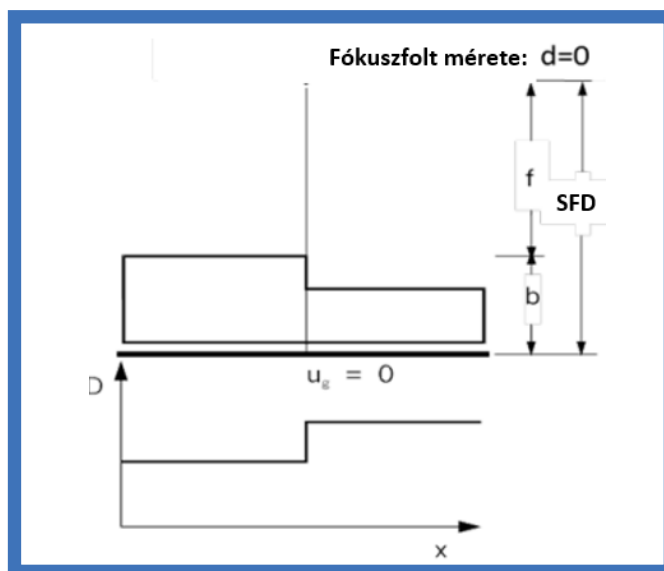


fókuszolt nem egy pont, hanem egy adott „d” mérettel rendelkezik. Ily módon a valós sugárforrás minden egyes pontja egy pontszerű ideális sugárforrásként viselkedik, amely különböző tárgyképet okoz a vetítési síkon. Az összes ilyen egymáshoz képest kissé elmozdult kép átfedésének eredménye egy többé-kevésbé elmosódott tényleges kép.

Az MSZ EN 1330-3 a radiográfiai kép élességének – a sugárforrás véges mérete miatti – hiányként definiálja a geometriai életlenséget; nagysága a sugárforrás-vizsgálati tárgy távolságtól és a vizsgálati tárgy–filmtávolságtól is függ. A geometriai életlenséget félárnyék képződésnek is nevezik.

Egy ideális pontszerű sugárforrással készített radiográfiai felvétel szegélyének képét illetően az figyelhető meg, hogy ez a szegély egy éles vonalként reprodukálódik, függetlenül a sugárforrás és a vizsgálati tárgy közötti „f” távolságtól.

5.7. ábra. Egy pontszerű sugárforrással készített felvétel geometriai életlensége



Az ábra jelölései:

- ◆ d: fókuszolt méret,
- ◆ b: tárgy–film távolság,
- ◆ f: fókusz–tárgytávolság,
- ◆ SFD: forrás–filmtávolság,
- ◆ D: filmfeketedés

Ezzel ellentétben viszont, amikor egy valós sugárforrást alkalmazunk, a szegély egy területként reprodukálódik; a képen nem látható a geometriai életlenségnek nevezett elmosódottság.

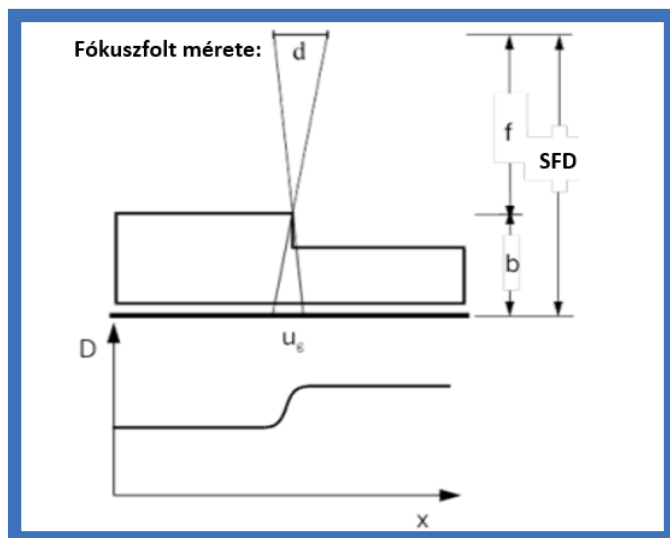
Az életlenséget ( $u_g$ ) az alábbi egyenlet adja meg:

$$u_g = \frac{d \cdot b}{f}$$

és a hasonló háromszögek elve szerint határozható meg:



5.8. ábra. Valós, nem pontszerű fókuszfolttal készült felvétel geometriai életlensége



Ha a film túl közel van a vizsgálati tárgyhöz, és ha  $b \leq 1,2 \times t$ , ahol  $t$  a vizsgálati tárgy falvastagsága, akkor  $b$  helyettesíthető  $t$ -vel.

Az előbbieken megadott egyenletet alapján (adott állandó tárgy-falvastagság mellett) kisebb geometriai életlenség ( $u_g$ ) értéket kapunk:

- ◆ kisebb fókuszfolt méret ( $d$ ) esetén,
- ◆ kisebb  $b$  távolság esetén, (Amikor csak lehet, a film úgy kerüljön elhelyezésre, hogy érintkezzen a vizsgálandó mintadarabbal, következésképpen a  $b$  egyenlő lesz a mintadarab vastagságával.)
- ◆ nagyobb  $f$  távolság esetén.

### 5.3.3 TÁVOLSÁG, MINIMÁLIS TÁVOLSÁG

A gyakorlatban a falvastagság „ $t$ ” (vagy a minimális távolság „ $b$ ”) és a fókuszfolt méret „ $d$ ” (a sugárforrás kiválasztása révén) rendszerint rögzítetten (megváltoztathatatlanul) kerülnek meghatározásra, és a geometriai életlenség hatásának minimalizálása érdekében csak a távolság „ $f$ ” változtatható (növelhető).

Ha az „ $f$ ”-et az életlenségi egyenleten keresztül kívánjuk meghatározni, akkor:

$$f = \frac{d \cdot b}{u_g}$$

Ez azt jelenti, hogy az „ $f$ ” távolság csak a megengedett életlenségtől ( $u_g$ ) függ. Egy adott vizsgálatra vonatkozóan a maximálisan megengedett életlenség rendszerint a szabványokban vagy az alkalmazási szabályzatokban kerül rögzítésre.





A teljes életlenség a geometriai életlenséget és a belső (inherens) életlenséget ( $u_i$ ) is magába foglalja.

$$u_{total} = \sqrt{u_i^2 + u_g^2}$$

A belső életlenséget a sugárzás minősége (áthatolóképesség) és az alkalmazott film/fólia-kombináció befolyásolja. Ebből adódóan, a geometriai feltételek nem fogják módosítani azt.

Így, az  $f_{min}$  minimális távolságot meghatározva, a geometriai életlenségnél ( $u_g$ ) nagyobb belső életlenség ( $u_i$ ) nem engedhető meg.

Az életlenség kiszámításához meg kell határozni az  $f_{min}$  távolságot. Ennek során a minimálisan előírt méretekkel rendelkező folytonossági hiányoknak detektálhatónak kell lenniük. Például az MSZ EN 444 szabvány az alkalmazott radiográfiai technikán alapuló minimális távolságot határoz meg:

B-osztály esetén (szigorúbb követelmények), az alábbi képletet kell használni:

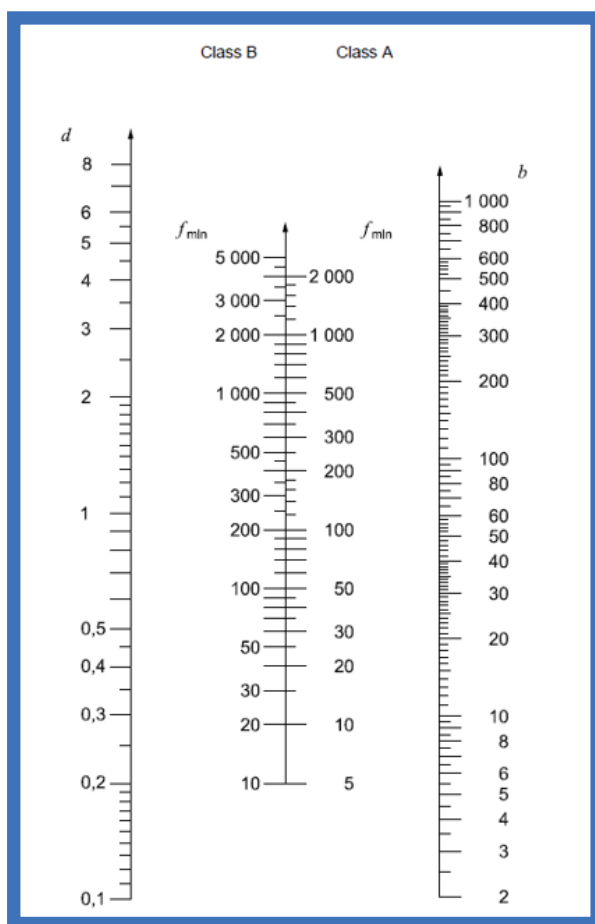
$$f = 15 \cdot d \cdot b^{2/3}$$

A-osztály esetén (enyhébb követelmények), elegendő a képletben használt érték kettővel való osztása.

$$f = 7,5 \cdot d \cdot b^{2/3}$$

Az MSZ EN ISO 17636-1 szabvány 21. ábrája egy nomogramot mutat az  $f_{min}$  meghatározására (lásd az alábbi 5.9 ábrát).



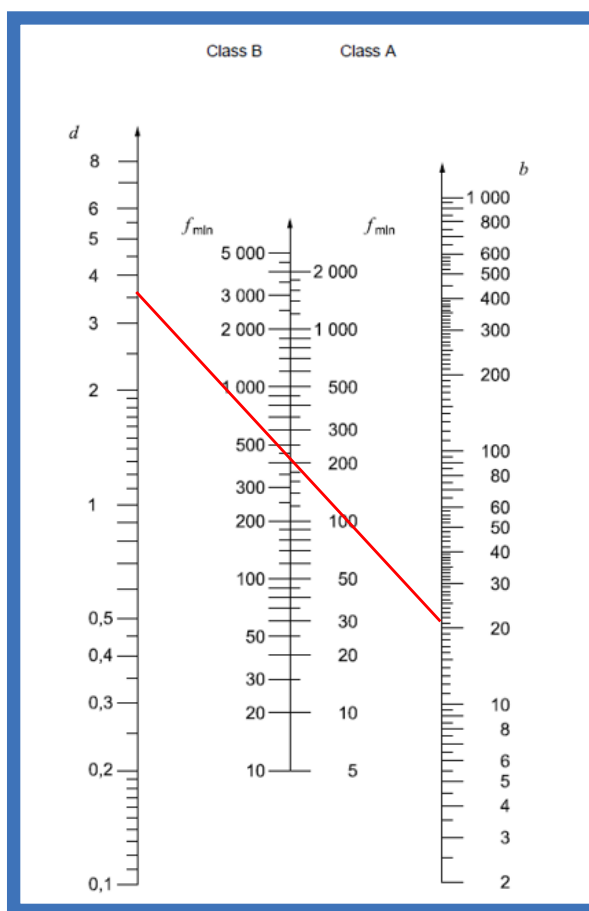
5.9.a. ábra. Nomogram  $f_{\min}$  meghatározására

Ennek a nomogramnak egyszerű a használata, mivel a felhasználónak csak a fókuszfoltot és a tárgy–filmtávolságot kell ismernie ahhoz, hogy mindkét pontot össze tudja kötni egy vonallal és hogy – az alkalmazott radiográfiai technikától (A– vagy B–osztály) függően – azonosítani tudja a középső skálával egybeeső vonalat.

Az  $f_{\min}$  távolság kiszámítására irányuló gyakorlati példa az alábbi eredményt adja  $d = 3,6$  fókuszméret és 21 mm-es tárgy–film távolság esetén (ld. 7.3.b ábra):

- ◆ A–osztály:  $f_{\min} = 200$  mm
- ◆ B–osztály:  $f_{\min} = 400$  mm.

5.9.b. ábra. A nomogram használata



Gyakorlati célból – és a fentiekben említett információk szerint – az alábbiakat figyelembe kell venni:

- ◆ A fókuszfoltnak a lehető legkisebbnek kell lennie.
- ◆ A sugárforrás–tárgytávolságnak a lehető legnagyobbnak kell lennie.
- ◆ A filmnek a lehető legközelebb kell lennie a mintadarabhoz.
- ◆ A sugárnyalábnak a lehető legmerőlegesebbnek kell lennie a filmre.
- ◆ Amennyire a mintadarab geometriája ezt lehetővé teszi, a legfontosabb síknak párhuzamosnak kell lennie a filmsikkal.

#### 5.3.4 A Forrás–filmtávolság

A gyakorlatban egy vizsgálat végrehajtásakor figyelembe veendő távolság a forrás–filmtávolság (SFD). Találkozhatunk még a film–fókusz, illetve fókusz–filmtávolság megnevezéssel is (FFD). A besugárzási idő ezen távolság alapján kerül kiszámításra egy adott radiográfiai képre vonatkozóan, mivel a besugárzási idők kiszámításához használt diagramok és léptékes nomogram adott SFD-re vannak

meghatározva (ld. a későbbiekben). Ezen túlmenően, a léptékes nomogram meghatározza egy adott célfeketedés eléréséhez szükséges besugárzási időt is.

Következésképpen, a sugárnyaláb nyílásszöge és a mintadarab mérete miatti SFD-változásra figyelmet kell fordítani. Azaz, a mintadarab szegélyeknél az SFD nagyobb lesz, mint a mintadarab közepén. Ez azután szükségszerű feketedés-különbséget eredményez a különböző radiográfiai területek között.

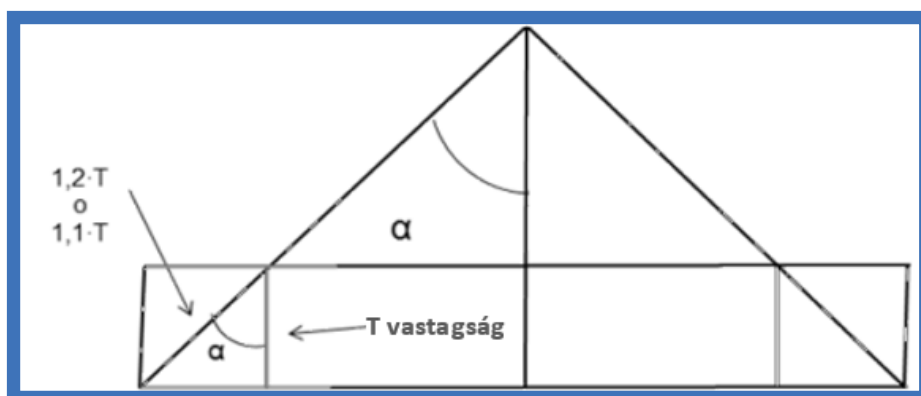
Ebből adódóan, egy radiográfiai kép készítésekor garantálni kell, hogy a dózisteljesítmény ( $H'$ ) – és ezért a feketedés is – a szabványok, specifikációk, szabályzatok, eljárásrendek vagy utasítások szerint meghatározott vizsgálati paramétereken belül marad. Ellenkező esetben különféle radiográfiai felvételeket kell készíteni, vagy egy alternatív vizsgálati módszert kell alkalmazni a fentiekben említett feltételek garantálása érdekében.

Az SFD-re az alábbi egyenlőtlenségnek kell teljesülnie:

$$\text{SFD} > f_{\min} + b$$

Kis falvastagság esetén (illetve kis „b” távolság esetén), ami kis „f”-et eredményez, ügyelni kell arra, hogy a kiértékelendő „L” filmhosszúság exponálása megtörténjen.

5.10. ábra. SFD-különbség egy besugárzás központi és oldalsó területei között



Az optikai feketedésnek a teljes filmhosszon a megengedett tartományban kell maradnia.

Következésképpen, a röntgensugaras berendezések besugárzási diagramjait meghatározott ffd-re tervezik meg. Az MSZ EN ISO 5579 és az MSZ EN ISO 17636-1 szerint a központi sugárral átsugárzott anyagvastagság és az egyenes vastagságú vizsgált terület külső peremén átsugárzott anyagvastagság viszonya ne legyen nagyobb, mint 1,1 a B-osztályban, illetve mint 1,2 az A-osztályban. Ennek biztosítása érdekében, megadható egy maximális sugárnyaláb nyílásszög.

### 5.3.5 FÓKUSZFOLT MÉRET

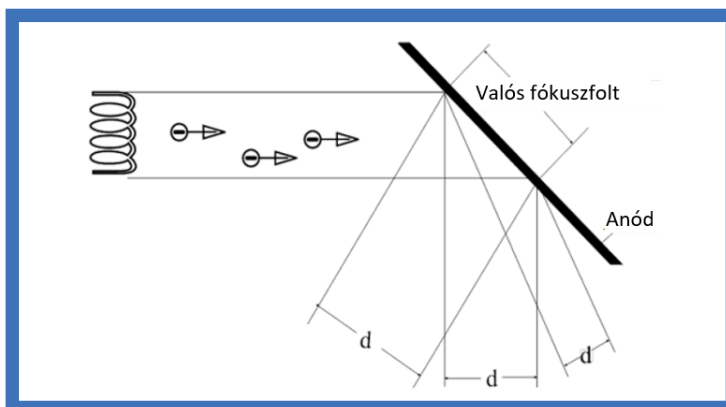
A termikus fókuszfolt és az optikai fókuszfolt – vagy egyszerűen fókuszfolt – közötti különbségről már esett szó. Továbbá az is bemutatásra került, hogy a fókuszfolt méretet az optikai fókuszfolt átlójának az értékéből kapjuk.

#### 5.3.5.1 A RÖNTGENCSÖVEK FÓKUSZFOLT MÉRETE

A röntgencsővek valós fókuszfolt mérete a katód által kibocsátott elektronnyaláb által megvilágított anódanyag területével egyezik meg. Ezt a területet az elektronnyaláb keresztmetszete határozza meg, az elektronnyaláb alakját és méretét pedig a katódszál mérete határozza meg. A cső maximális megengedett töltése (azaz a maximális csőáram  $I_{max}$ ) az anódanyag és az alkalmazott röntgencső típus hőállóságától függ.

A geometriai életlenség kiszámításához a fókuszfolt-méret értékét a fókuszfolt átlójának értékéből kapjuk meg.

5.11. ábra. Fókuszfolt-méret ( $d$ )



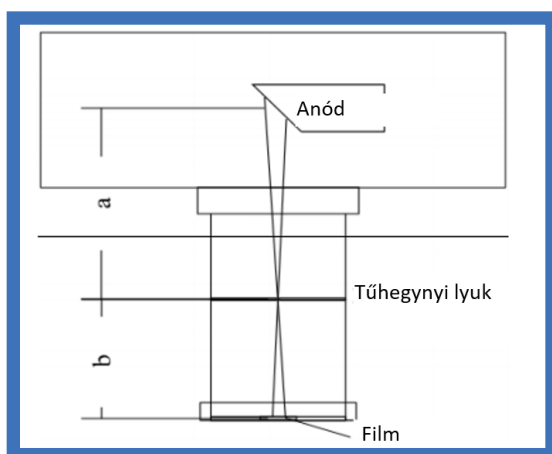
#### 5.3.5.2 A RÖNTGENCSŐ FÓKUSZFOLT MÉRETÉNEK MEGHATÁROZÁSA

Kicsi optikailag hatásos fókuszfolt szükséges ahhoz, hogy kis geometriai életlenséget lehessen elérni. A valós fókuszfolt mindig nagyobb, mint az optikailag hatásos fókuszfolt. A fókuszfolt mérete rendszerint ismert (a gyártó által biztosított információ), azonban azt időről időre ellenőrizni kell, mivel a cső működési idejével változik.

Az optikailag hatásos fókuszfolt méretének és alakjának meghatározására a lyukkamerás (angolul: pin hole camera) módszer használható: az eszköz beállítása, valamint az eljárás az MSZ EN 12543-2 jelű szabványban kerül ismertetésre. A működési feszültséget a maximális feszültség 75 százalékánál nagyobbra kell választani, de nem nagyobbra 200 kV-nál. Az értékelés egy mérőlupával történik

(5–10-szeres nagyítás, 0,1 mm osztás). Minden egyes fókuszolt méretet a csőtengely irányában meg-lévő 'l' hosszúsága, valamint a csőtengelyre merőleges szélessége jellemez. Ezen értékek alapján kerül meghatározásra a fókuszolt 'd' mérete. A különböző élettenségek számításainak alapjául a magasság-ból-szélességből származó átló fog szolgálni.

5.12. ábra. A fókuszolt méretének meghatározása



Mivel egy nagyított fókuszolt kép jön létre, az optikailag hatásos fókuszolt méretet az alábbi képlet segítségével kell kiszámítani (d' a valós fókuszolt méret):

$$d = \frac{a}{b} \cdot d'$$

A  $d < 1$  mm-es fókuszoltokat mini-fókuszoknak, a  $d < 0,1$  mm méretűeket pedig mikro-fókuszoknak nevez-zük. Az utóbbi méréséhez speciális technikák szükségesek.

#### 5.3.5.3 A GAMMASUGÁRFORRÁSOK FÓKUSZFOLT MÉRETE

Egy gammasugárforrás valós fókuszolt méretét a radioaktív izotóp aktivitása és fajlagos aktivitása határozza meg. Az adott gyártási méretek pedig meghatározzák az elérhető maximális aktivitást. Példá-ul a maximális  $\text{Ir}_{192}$  aktivitás a gyakorlatban egy 0,5 mm x Ø 0,5 mm sugárforrás esetén kb. 37 GBq (1 Ci), míg egy 2 mm x Ø 2 mm-es  $\text{Ir}_{192}$  sugárforrás maximum kb. 1,85 TBq-ig (50 Ci-ig) aktiválható.

5.2. táblázat: A sugárforrásméret és az aktivitás viszonya

| Sugárforrás-<br>méret<br>[mm] | Névleges aktivitás<br>Leszállított állapot szerinti aktivitás [GBq (Ci)] |                   |                   |                  |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|                               | $\text{Se}_{75}$                                                         | $\text{Yb}_{169}$ | $\text{Ir}_{192}$ | $\text{Co}_{60}$ |
| 1,0 x Ø1,0                    | 90 (2,5)                                                                 | 111 (3)           | 370 (10)          | 37 (1)           |
| 1,5 x Ø1,5                    | 370 (10)                                                                 |                   | 740 (20)          |                  |



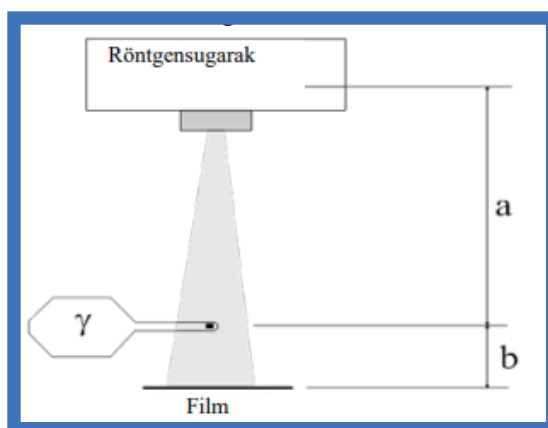
| Sugárforrás-<br>méret<br>[mm] | Névleges aktivitás<br>Leszállított állapot szerinti aktivitás [GBq (Ci)] |                   |                   |                  |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|                               | Se <sub>75</sub>                                                         | Yb <sub>169</sub> | Ir <sub>192</sub> | Co <sub>60</sub> |
| 2,0 x Ø2,0                    | 810 (22)                                                                 |                   | 1850 (50)         | 222 (6)          |
| 2,5 x Ø2,5                    | 1670 (45)                                                                |                   |                   |                  |
| 3,0 x Ø3,0                    | 3000 (80)                                                                |                   | 5500 (150)        | 740 (20)         |
| 4,0 x Ø4,0                    |                                                                          |                   | 7400 (200)        | 3700 (100)       |

#### 5.3.5.4 GAMMASUGÁRFORRÁS FÓKUSZFOLT BESUGÁRZÁSA

Egy gammasugárforrás besugározható röntgensővel, mivel a csövek dózisteljesítmény állandói nagyobbak lehetnek, mint a radioaktív sugárforrásokéi. Így – megfelelő elrendezés esetén – a filmet sokkal gyorsabban feketítik a röntgensugarak, mint a gammasugarak. Ezen túlmenően, az Ir192 esetében a radionuklid-forrás (az Ir nagy rendszáma miatti nagy abszorpciójának köszönhetően) képe tisztán jelenik meg a radiográfiai felvételen.

A radioaktív sugárforrások fókuszfolt besugárzásai során a nagyítási hatást is figyelembe kell venni. Ha a fókuszfolt különböző méretekkel rendelkezik a főtengelyei mentén, akkor a 'd'-t az 5.3.5.2. pontban leírtak szerint lehet meghatározni.

5.13. ábra. Gammasugárforrás besugárzása

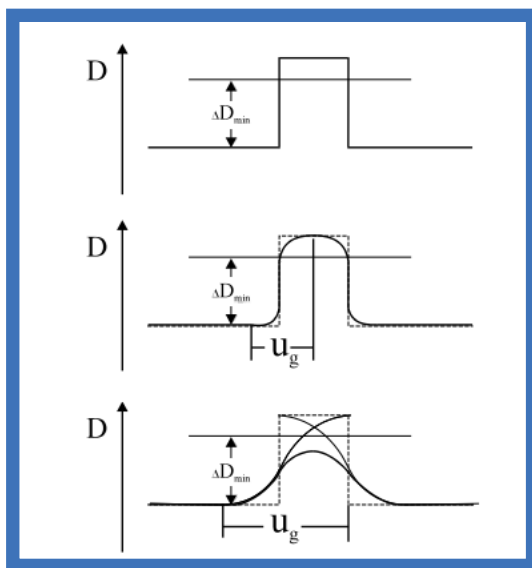


#### 5.3.6 AZ ÉLETLENSÉG HATÁSA A KONTRASZTRA

A geometriai életlenségnek repedések detektálhatóságára gyakorolt hatása jelentős lehet. Egy ideális, 'b' méretű hiba radiográfiai felvételén ez a hiba élesen fog megjelenni, egy bizonyos kontraszttal,  $u_g = 0$  geometriai életlenséggel.

Ha a geometriai élettenség kicsi a hiba méretéhez képest, akkor a kép némileg életlen lesz a széleknél, azonban ez a kontrasztot csak kis mértékben befolyásolja. A hiba méreteihez képest nagyobb geometriai élettenségek esetén, nem csak az kép lesz életlen, hanem a kontraszt is jelentősen romlani fog. Ezt a hatást különösen figyelembe kell venni nagyon kis kiterjedésű anyagfolytonossági hiányokat tartalmazó vizsgálati tárgyak esetén.

5.14. ábra. Az élettenség hatása egy ideális hiba ábrázolására és kontrasztjára



#### 5.4 A KONTRASZT

Magának a radiográfiai vizsgálatnak a jellegéből adódóan, a kontraszt egy olyan lényeges fogalom, ami részletes tanulmányozást és értelmezést igényel. A radiográfiai vizsgálaton belül a kontraszt egy bizonytalan és összezavaró fogalom.

A radiográfiai kontraszt, feketedési kontraszt vagy egyszerűen röntgensugárkontraszt definíció szerint, egy kép optikai feketedései közötti – feketedés-mérővel mért – lokális különbséget jelenti.

A kontraszt fogalmának megértéséhez először a vizsgálandó tárgy definícióját kell meghatározni, hogy ezáltal rögzíteni lehessen egy vizsgálat különböző fázisait és azok kontrasztra gyakorolt hatását.

Ennek megfelelően, a 5.15. ábrán látható  $w_1$  és  $w_2$  vastagságú munkadarabot tekintjük kiindulási pontnak. A vizsgálat azzal kezdődik, hogy ezt a munkadarabot egy meghatározott és homogén energiával definiált sugárzás hatásának tesszük ki. Az említett energia alapján és az adott vizsgálat célja érdekében egy lineáris gyengülési tényező ( $\mu$ ) kerül beállításra.

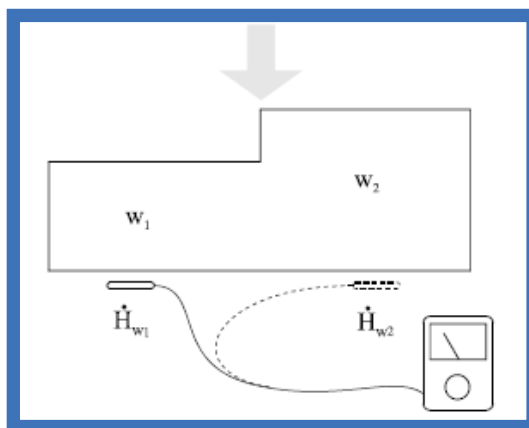
Végül, a kapott kontrasztot befolyásolja a szórt sugárzás is, amire az adott munkadarab jellege és az alkalmazott sugárzás egyaránt hatással van. Következésképpen, a „tárgy” említett jellemzői összességének kell meghatározniuk a röntgenkép kontraszt-alapelvét. Ezt a fogalmat rendszerint „tárgy kontrasztnak” nevezik.





Miután a sugárzás áthaladt a munkadarabon – a munkadarabot érintő változások következményeként kialakuló gyengülésváltozás miatt – Ks sugárzási kontrasztot kapunk. A sugárzási kontraszt a gyengülésváltozás szerinti dózisteljesítmény különbséget jelenti.

5.15. ábra. A dózisteljesítmények közötti különbség változó vastagságú munkadarabnál (sugárzási kontraszt)



Dózisteljesítmény  $w_1$ , illetve  $w_2$  falvastagság esetén:

$$H'_{w1} = H_0 \cdot e^{-\mu w1}$$

$$H'_{w2} = H_0 \cdot e^{-\mu w2}$$

Következésképpen, a dózisteljesítmények közötti különbség:

$$\Delta H' = H'_{w1} - H'_{w2}$$

Azaz, miután a sugárzás áthaladt a tárgyon, a tárgyra jellemző kontraszt utat enged a sugárzási kontrasztnak. A Ks sugárzási kontraszt meghatározása során a szóródás miatti gyengülésen kívül az abszorpció miatti gyengülést is figyelembe kell venni. Mindkét érték függ a sugárzási energiától, a falvastagságtól és az anyag fizikai tulajdonságaitól (rendszám, sűrűség).

Miután a sugárzás keresztülhaladt a tárgyon és kisebb vagy nagyobb mértékben gyengült, besugározza (exponálja) a filmet. Ahogy jelen kézikönyvben már említésre került, a film kidolgozását követően, a filmnek azok a területei feketébbek lesznek, amelyeket több sugárzás (nagyobb dózisteljesítmény) ért, mint azok a területek, amelyek kevesebb sugárzást kaptak (kisebb dózisteljesítmény). Így módon, a tárgy-kontraszt radiográfiai kontrasztként kerül át a radiográfiai felvételre.

A film kategóriájától vagy típusától függően, a röntgenfilmek különböző módon reagálnak a kapott dózisteljesítményre. Azaz, bizonyos filmek jobban alakítják át a sugárzási kontrasztot, mint mások. Ezt a képességet a film saját kontrasztjának nevezik.

Ezen túlmenően, egy radiográfiai vizsgálat radiográfiai vagy feketedés-mérési kontrasztja az adott film optikai feketedései közötti lokális különbséget jelenti, egy feketedésmérővel mérve (lokális feketedési különbség). Ez az a kontraszt, ami feketedésmérővel mérhető:

$$\Delta D = D2 - D1 \quad (D2 > D1)$$



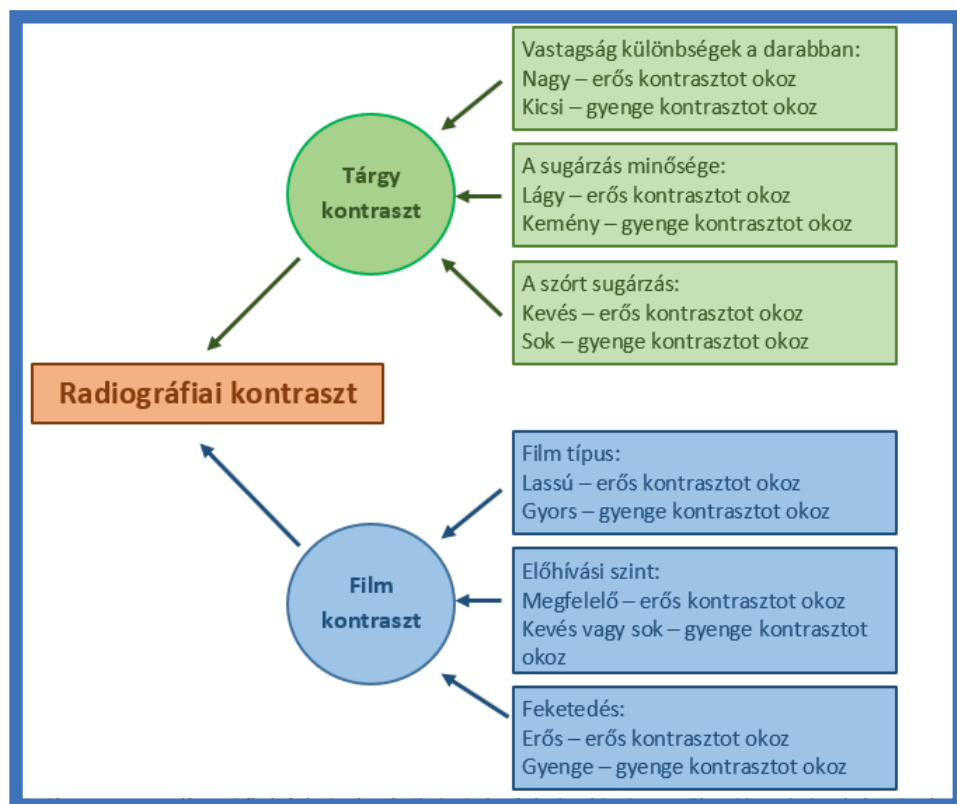
A radiográfiai kontrasztot az adott vizsgálat kiértékelését végző anyagvizsgálónak kell észlelnie. Ezért, a röntgenkép kiértékelése fényel szemben történik, ipari radiográfiai átvilágító egység (kiértékelő lámpa) segítségével; a kiértékelés során a fényességet kell figyelni és nem a feketedéseket. Azaz azt lehet mondani, hogy amit észlelünk az egy fotometriai kontraszt és nem egy feketedés-mérési kontraszt. Ez a kontraszt egy fénymérővel mérhető, azonban a feketedés-mérési kontraszttal kapcsolatban az a probléma, hogy a fotometriai kontraszt – a feketedés-mérési kontraszttal ellentétben – az átvilágító egység képernyőjének fényintenzitásától függ.

A szubjektív kontraszt az a fotometriai kontraszt, amit a vizsgáló észlel a radiográfiai felvétel – kiértékelő lámpa segítségével történő – fényel szembeni kiértékelése során. Ez az átvilágító egység megvilágítási feltételeitől függ. Ebből a szempontból és a kontraszt – és ebből adódóan a vizsgálat érzékenysége – javítása érdekében ellenőrizni kell a kép fényességet (idegen szóval: luminanciáját). Minél nagyobb a kép fényessége, annál nagyobb az érzékenység, egészen addig, amíg egy adott fényességi értéknél el nem érjük a maximális érzékenységet. Ezt követően ez az érték állandó marad egészen addig, amíg el nem kezd csökkenni.

Az MSZ EN 25580 jelű, 'Roncsolásmentes vizsgálat. Ipari radiográfiai átvilágító egységek. Minimális követelmények' című szabvány az alábbi minimumértékeket határozza meg a fénysűrűsége (luminanciára):

- ◆ 30 cd/m<sup>2</sup>, ha a film feketedése legfeljebb 2,5,
- ◆ 10 cd/m<sup>2</sup>, ha a film feketedése nagyobb, mint 2,5.

5.16. ábra. Egy radiográfiai felvétel minőségét befolyásoló tényezők változásának hatásai.



(Az ASTM E-94 szabvány 1. ábrája, ami az ASME Code, Section V, Article 24 cikkelyben is megtalálható; szabad fordítás)

Végül a Mach-féle hatást és annak a szubjektív kontrasztra gyakorolt hatását kell figyelembe venni. A Mach-sávok pszichofiziológiai optikai jelenségek, amelyek a széleket (határokat) emelik ki. Ezek észlelése az adott megfigyelőtől függően nagyon különböző módon történik. A szóban forgó sávok különböző feketedésekkel rendelkező szomszédos területeken alakulnak ki, egy vékony fekete vagy fehér – Mach-negatív vagy pozitív – sávot hozva létre.

Az 5.16. ábra további információkat nyújt azon tényezőkről, amelyek hatással vannak a radiográfiai kontrasztra.

## 5.5 A SUGÁRZÁSI ENERGIA

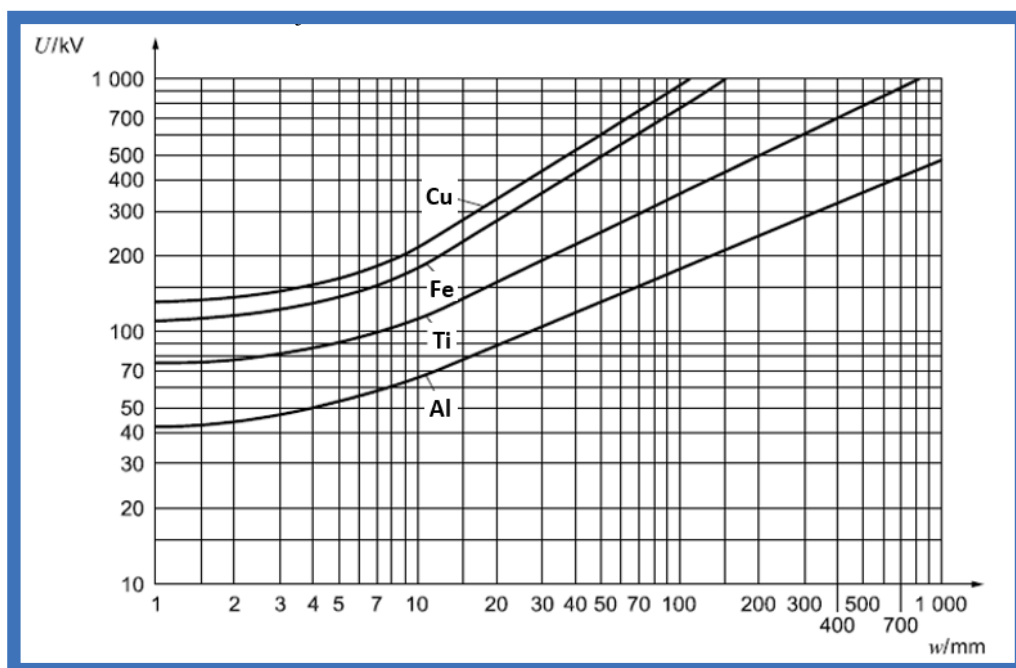
A radiográfiai vizsgálat során kapott kép minőségének javítása szempontjából nagyon fontos a választott sugárzás energiája.

A kontraszt szempontjából azt a legkisebb energiát kell kiválasztani, amely még képes keresztülhatolni az adott vastagságú munkadarabon, és ésszerű besugárzási időt lehet hozzá választani. Mivel a kisebb energiák nehezebben hatolnak át, így az anyagbeli abszorpciót érintő lokális változások befolyással vannak ezekre az energiákra, ami egy erősebb kontrasztú képet fog eredményezni.

Például, ha a  $\text{Co}_{60}$  helyett  $\text{Ir}_{192}$ -t használunk (minden olyan esetben, amikor a sugárzás képes keresztülhatolni az adott munkadarabon), akkor egy erősebb kontrasztú sugarat fogunk kapni. Ezen túlmenően – a röntgensugár folyamatos spektruma miatt – az is javítja a kontrasztot, ha a gammasugárzás helyett röntgensugarat használunk.

A maximum 1000 kV-os röntgensövekre vonatkozó maximális energiákat az 5.17. ábrán; a gammasugár-forrásokra és az 1 MeV feletti energiával rendelkező röntgensugaras berendezésekre vonatkozó áthatolási vastagság tartományt acél-, réz- és nikkelötvözetek esetére az 5.18. ábra mutatja.

5.17. ábra. Röntgensővek maximális csőfeszültsége 1000kV-ig az átsugárzott vastagság és az anyagfajta függvényében



5.18. ábra. Gamma- és röntgensugárforrás esetén az átsugárzott vastagság tartománya 1 MeV energia felett, acél-, réz- és nikkelötvözetekre

| Sugárforrás                         | Átsugárzott vastagság, $w$<br>mm |                      |
|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
|                                     | A-osztályú vizsgálat             | B-osztályú vizsgálat |
| Tm 170                              | $w \leq 5$                       | $w \leq 5$           |
| Yb 169 <sup>a</sup>                 | $1 \leq w \leq 15$               | $2 \leq w \leq 12$   |
| Se 75 <sup>b</sup>                  | $10 \leq w \leq 40$              | $14 \leq w \leq 40$  |
| Ir 192                              | $20 \leq w \leq 100$             | $20 \leq w \leq 90$  |
| Co 60                               | $40 \leq w \leq 200$             | $60 \leq w \leq 150$ |
| 1 -4 MeV energiájú röntgenkészülék  | $30 \leq w \leq 200$             | $50 \leq w \leq 180$ |
| 4 -12 MeV energiájú röntgenkészülék | $w \geq 50$                      | $w \geq 80$          |
| > 12 MeV energiájú röntgenkészülék  | $w \geq 80$                      | $w \geq 100$         |

<sup>a</sup> Alumínium és titán esetében a átsugárzott anyagvastagság  $10 \text{ mm} \leq w \leq 70 \text{ mm}$  az A-osztály esetében és  $25 \text{ mm} \leq w \leq 55 \text{ mm}$ . B-osztály esetében

<sup>b</sup> Alumínium és titán esetében a átsugárzott anyagvastagság  $35 \text{ mm} \leq w \leq 120 \text{ mm}$  az A-osztály esetében

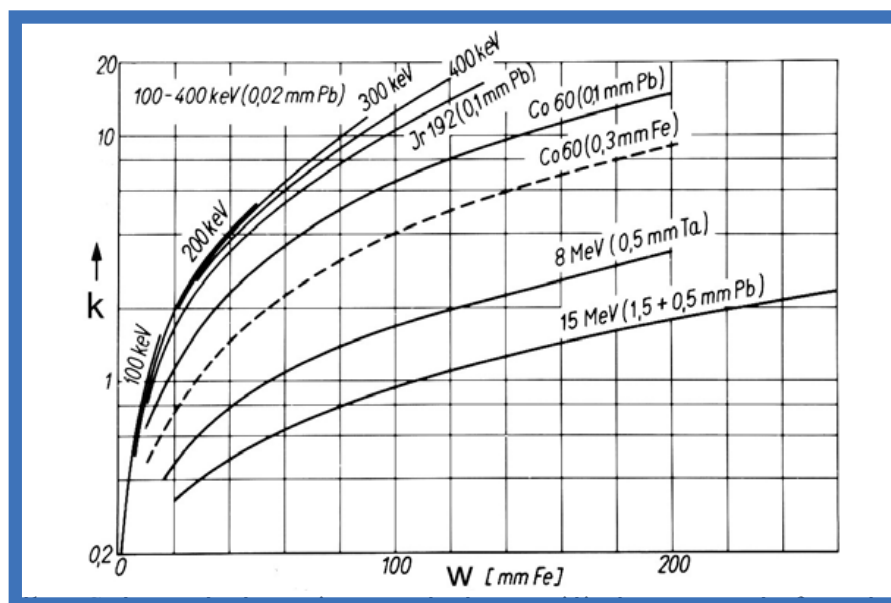
Figyelembe kell venni azt a tényt, hogy egy adott filmkategória esetén a nagyenergiájú sugárzás jelentős változást (romlást) okoz a kép szemcsésedésében. Ez a képélesség csökkenését eredményezi; minél nagyobb a sugárzási energia, annál nagyobb a csökkenés.



A felbontás és a röntgenfilm hatása szempontjából, egy finom szemcséjű film alkalmazása egyrészt az expozíciós idő meghosszabbodását eredményezi, másrészt a képminőség javulását okozza, ami finomabb részleteket tesz láthatóvá. Ugyanakkor azt nem szabad elfelejteni, hogy optimális eredményt csak megfelelő előhívás esetén fogunk kapni.

Végezetül, a felbontás szempontjából jelentős negatív hatással bír a szórt sugárzás ( $k$ ). A szórt sugárzás fogalmával korábban már foglalkozott ez a kézikönyv, most csak azért kerül megemlítésre, mert ez a szórt sugárzás a munkadarab-vastagság növekedésével és a beeső sugárzási energia csökkenésével arányosan növekszik. A 5.19. ábra a szórt sugárzás változását mutatja a beeső primer sugárzás függvényében, illetve azt szemlélteti, hogy a szórt sugárzás milyen módon növekszik a munkadarab vastagságának növekedésével és a primer sugárzási energia csökkenésével.

5.19 ábra. Szórt sugárzás a primer sugárzás energiája és a vastagság függvényében



Mindent egybevetve, a sugárzási energia kiválasztásakor figyelembe kell venni azt, hogy kisebb sugárzási energiák mellett jobb lesz a kontraszt és a szemcsésedés, ellenben az élesség vagy a felbontás romlani fog a szórt sugárzás növekedése következtében.

## 5.6 FILM-FÓLIAÉRINTKEZÉS

A film-fóliaérintkezés képminőségre gyakorolt hatását 1980-ig nem vizsgálták. Két befolyásoló tényezőt azonosítottak:

Az első: az inherens élettenség jelentős mértékben növekszik, ha a film nincs a lehető legközelebb a vizsgálati tárgyhöz.

A második: a képminőség csökkenése (manapság már meghatározható a képminőség-jelzők segítségével) mennyiségileg meghatározható, tizedmilliméteres nagyságrendű film-fóliatávolságok esetén.

Az élettenség növekedésének oka az ólomárnyékolásban (ólmofóliában) lévő elektronok szabad pályájának hosszúsága. A beeső energián túlmenően, fontos szerepe lehet a fény hatásának is. Vákuum csomagolású burkolatok vagy vákuum csomagolású film-fólia egységek alkalmazásának lehetőségét is figyelembe kell venni.

## 5.7 KÉPMINŐSÉG-JELZŐK

Ahogy az korábban már említésre került, a képminőség-jelző – vagy, az angol név kezdőbetűiből, IQI – fokozatosan változó méretű elemek sorozatából álló eszköz, amely az elérendő vagy már elért képminőség mérésére szolgál. Az elért minőség ezen mérőszáma az úgynevezett képminőség jelző-számban (IQ) tükröződik vissza és a radiográfiai felvétel IQI elemeinek minimális észlelhető méretéhez kapcsolódik.

Általános szabályként elmondható, hogy az IQI-k a röntgenfelvétel tárgyának anyagával azonos jellegű – vagy hasonló tulajdonságokkal rendelkező – anyagból készülnek, ami az IQI sugárzás elnyelési képességét illeti.

Geometriájuktól és alkalmazásuktól függően, az IQI-k különböző típusúak lehetnek és az őket definiáló szabványtól függően vannak kategorizálva és elnevezve.

A különböző meglévő képminőség-jelző típusok az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- ◆ huzalsoros képminőség-jelzők,
- ◆ furatos képminőség-jelzők,
- ◆ lépcsős képminőség-jelzők (kevésbé általánosan használt),
- ◆ egyéb fajták.

A különböző IQI típusokkal, azok használatával és alkalmazásával foglalkozó szabványok az alábbiak:

- ◆ MSZ EN ISO 19232-1 „Roncsolásmentes vizsgálatok. A radiográfiai felvételek képminősége. 1. rész: A képminőségi értékek meghatározása huzalsoros képminőségjelzőkkel ”;
- ◆ MSZ EN ISO 19232-2 „Roncsolásmentes vizsgálatok. A radiográfiai felvételek képminősége. 2. rész: A képminőségi értékek meghatározása lépcsős-furatos képminőségjelzőkkel ”;
- ◆ MSZ EN ISO 19232-3 „Roncsolásmentes vizsgálatok. A radiográfiai felvételek képminősége. 3. rész: Képminőségosztályok ”;
- ◆ MSZ EN ISO 19232-4 „Roncsolásmentes vizsgálatok. A radiográfiai felvételek képminősége. 4. rész: A képminőségi értékek és a képminőségi táblázatok kísérleti meghatározása ”;
- ◆ MSZ EN ISO 19232-5 „Roncsolásmentes vizsgálatok. A radiográfiai felvételek képminősége. 5. rész: A képélettenségi értékek meghatározása kéthuzalos képminőségjelzőkkel ”.



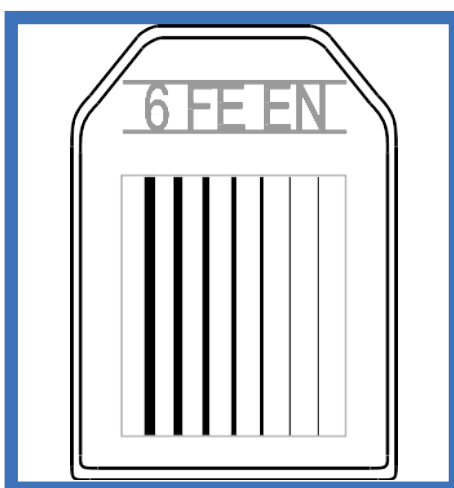
5.20. ábra. Huzalsoros és lépcsős/furatos típusú képmínőség-jelzők, az MSZ EN ISO 19232-1 és az MSZ EN ISO 19232-2 szabvány szerint



#### 5.7.1 HUZALSOROS KÉPMINŐSÉG-JELZŐ

Egy huzalsoros képmínőségjelző – amelyet részletesen az MSZ EN ISO 19232-1 szabvány ismertet – csökkenő átmérőjű párhuzamos huzalok sorozatából áll, melyek ólomszámokkal azonosított műanyag tasakban vannak elhelyezve. Minden egyes képmínőség-jelzőben hét huzal van, melyek átmérője csökken a sorszámok növekedésével. A legvastagabb (1-es számú) átmérője 3,2 mm, míg a legvékonyabb (19-es számú) 0,05 mm. A huzalok négy sorozatba vannak beosztva: 1–7, 6–12, 10–16 és 13–19.

5.21. ábra. Huzalsoros képmínőségjelző az MSZ EN ISO 19232-1 szerint



A huzalok egyedileg vannak azonosítva a W betűvel, amit egy 1 és 19 közötti szám követ. A huzalsoros képmínőségjelző azonosítójának a következő információkat kell mutatnia: az IQI-szimbólumot,

hivatkozást az MSZ EN ISO 19232-1 szabványra, a huzalvastagságnak megfelelő számot, valamint anyagának vegyjelét és a hosszúságát. A huzalhosszúság 10 mm, 25 mm vagy 50 mm lehet. Az IQI gyártásához legáltalánosabban használt anyagok a következők: réz, acél, titán és alumínium. Az 5.22. ábra a gyakran használt IQI típusok anyagait és neveit mutatja.

5.22. ábra. A huzal sorszáma, átmérője és mérettűrése. Az értékek milliméterben értendők

| A képmínőségjelzők jele |     |      |      | A huzal  |                   |             | A huzalok tengelye közötti távolság, <i>a</i> |
|-------------------------|-----|------|------|----------|-------------------|-------------|-----------------------------------------------|
| W 1                     | W 6 | W 10 | W 13 | sorszáma | névleges átmérője | mérettűrése |                                               |
| x                       |     |      |      | W 1      | 3,20              | ±0,03       | $9,6^{+1}_0$                                  |
| x                       |     |      |      | W 2      | 2,50              |             | $7,5^{+1}_0$                                  |
| x                       |     |      |      | W 3      | 2,00              |             | $6^{+1}_0$                                    |
| x                       |     |      |      | W 4      | 1,60              | ±0,02       | $5^{+1}_0$                                    |
| x                       |     |      |      | W 5      | 1,25              |             |                                               |
| x                       | x   |      |      | W 6      | 1,00              |             |                                               |
| x                       | x   |      |      | W 7      | 0,80              |             |                                               |
|                         | x   |      |      | W 8      | 0,63              | ±0,01       |                                               |
|                         | x   |      |      | W 9      | 0,50              |             |                                               |
|                         | x   | x    |      | W 10     | 0,40              |             |                                               |
|                         | x   | x    |      | W 11     | 0,32              |             |                                               |
|                         | x   | x    |      | W 12     | 0,25              |             |                                               |
|                         |     | x    | x    | W 13     | 0,20              |             |                                               |
|                         |     | x    | x    | W 14     | 0,16              |             |                                               |
|                         |     | x    | x    | W 15     | 0,125             | ±0,005      |                                               |
|                         |     | x    | x    | W 16     | 0,100             |             |                                               |
|                         |     |      | x    | W 17     | 0,080             |             |                                               |
|                         |     |      | x    | W 18     | 0,063             |             |                                               |
|                         |     |      | x    | W 19     | 0,050             |             |                                               |

5.23. ábra. Az egyes anyagcsoportokhoz használandó képmínőség-jelzők és azok anyagai

| Képmínőségjelzők                       | Huzalsorszám                                          | Huzalanyag              | A következő anyagok vizsgálatára való |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| W 1 CU<br>W 6 CU<br>W 10 CU<br>W 13 CU | W 1...W 7<br>W 6...W 12<br>W 10...W 16<br>W 13...W 19 | Réz                     | Réz, cink, ón és ezek ötvözetek       |
| W 1 FE<br>W 6 FE<br>W 10 FE<br>W 13 FE | W 1...W 7<br>W 6...W 12<br>W 10...W 16<br>W 13...W 19 | Acél (gyengén ötvözött) | Vasalapú anyagok                      |
| W 1 TI<br>W 6 TI<br>W 10 TI<br>W 13 TI | W 1...W 7<br>W 6...W 12<br>W 10...W 16<br>W 13...W 19 | Titán                   | Titán és ötvözetek                    |
| W 1 AL<br>W 6 AL<br>W 10 AL<br>W 13 AL | W 1...W 7<br>W 6...W 12<br>W 10...W 16<br>W 13...W 19 | Alumínium               | Alumínium és ötvözetek                |





Az IQI-eszközöket ólomszámok segítségével megfelelő módon kell azonosítani és jelölni. Az IQI-jelölésnek az alábbi információkat kell magában foglalnia:

- ◆ a legvastagabb huzal száma (1, 6, 10 vagy 13), amit a legvastagabb huzal mellett kell elhelyezni,
- ◆ az alkalmazott huzal anyagának vegyjele (Fe, Cu, Ti vagy Al),
- ◆ az EN jel.

*Példa képminőség-jelző azonosításra:* IQI EN 19232-W 10 FE – 25

– ahol a szabványszám, a legvastagabb huzal, a használt anyag szimbóluma és a huzal hossza van feltüntetve. A következőképpen rövidíthető: W10 FE EN.

Az IQI képminőség-jelző száma és a radiográfiai felvételen észlelhető legvékonyabb huzal átmérője közötti összefüggést az alábbi egyenlet mutatja:

$$BZ = 6 - 10 \lg d,$$

ahol  $d$  mm-ben értendő (vö. 5.22. ábra, például  $d=0,2$  mm-nél  $BZ=13$ ). Ha egy konkrét vizsgálat érzékenységi ( $\varepsilon$ ) kell ellenőrizni, ismert falvastagság ( $w$ ) mellett, akkor az az IQI száma alapján határozható meg, a megfelelő  $d$  huzalátmérővel:

$$\varepsilon = \frac{d}{w} = \frac{1}{w} \cdot 10^{\left(\frac{6-BZ}{10}\right)}$$

(Természetesen a falvastagságot is mm-ben kell számolni.) Például, ha a falvastagság 10 mm és a kapcsolódó képminőség-jelző száma 13, akkor a vizsgálat érzékenysége

$$\varepsilon = \frac{0,2}{10} = 0,02 = 2\%$$

lesz.

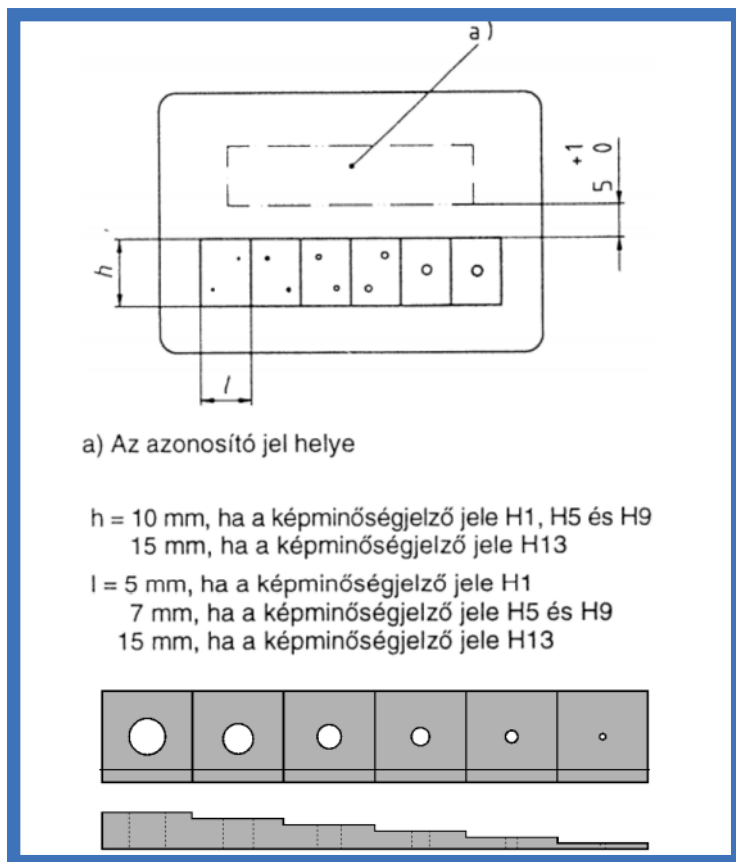
### 5.7.2 LÉPCSŐS-FURATOS KÉPMINŐSÉG-JELZŐ

A lépcsős-furatos képminőség-jelző – amelyet az MSZ EN ISO 19232-2 ismertet – olyan eszköz, amely különböző vastagságú lépcsőkből áll és különböző átmérőjű furatokkal ellátva. A furatátmérők a lépcsővastagságokhoz illeszkednek. A 0,8 mm-nél kisebb vastagságú lépcsőknek két azonos átmérőjű furattal kell rendelkezniük. Az egyik furat középpontja és a lépcső széle, vagy ezen lépcső másik furatának széle közötti minimális távolságnak a következő értékkel kell egyenlőnek lennie: (furat átmérő + 1 mm). A furatoknak a felületre merőlegesnek kell lenniük és nem lehetnek besüllyesztve.

A lépcsős-furatos IQI-rendszer 18 darab, különböző vastagságú lépcsőből és átmérőjű furatból álló sorozatot foglal magában. Ezek a vastagságok és átmérők az MSZ EN ISO 19232-2-ben vannak specifikálva, de az 5.24. ábrán is láthatók. A lépcsők egyedi jelölésűek; ez a jelölés a H betűből (ami az angol hole = furat szóra utal) és az azt követő 1 és 18 közötti számból áll. A szám a furatátmérőt mutatja, az MSZ EN ISO 19232-2-ben meghatározottak szerint és a 5.24. ábrán is olvasható módon.



5.24. ábra. Lépcsős-furatos képminőség-jelző



Ezek a lépcsők és furatok négy darab, egymást átfedő tartományba vannak csoportosítva és kategorizálva úgy, hogy minden egyes tartományban 6 egymást követő furatszám található a következők szerint: H1–H6, H5–H10, H9–H14 és H13–H18.

Az ilyen típusú IQI-azonosítójának a következő információkat kell mutatnia: az IQI-szimbólumot, hivatkozást az MSZ EN ISO 19232-2-re, a legkisebb furat számát, valamint az IQI anyagának vegyjelét. Az IQI gyártásához legáltalánosabban használt anyagok a következők: réz, acél, titán és alumínium. Az 5.26. ábra a gyakran használt lépcsős-furatos IQI-típusok anyagait és neveit mutatja.

2. példa képminőség-jelző azonosításra: IQI EN 19232-H 5 FE, ahol a szabvány szám, a legkisebb furat és a használt anyag szimbóluma van feltüntetve. A következőképpen rövidíthető: H10 FE EN

5.25. ábra. A furat száma, átmérője és mérettűrése lépcsős-furatos képminőség-jelzőknél.  
Az értékek milliméterben értendők.

| A képminőségjelzők tartományai |    |    |     | Furat vagy lépcső |                                         |             |
|--------------------------------|----|----|-----|-------------------|-----------------------------------------|-------------|
| H1                             | H5 | H9 | H13 | Furatszám         | Névleges furatátmérő és lépcsővastagság | Tűrés       |
| x                              |    |    |     | H1                | 0,125                                   | +0,015<br>0 |
| x                              |    |    |     | H2                | 0,160                                   |             |
| x                              |    |    |     | H3                | 1,200                                   |             |
| x                              |    |    |     | H4                | 0,250                                   |             |
| x                              | x  |    |     | H5                | 0,320                                   |             |
| x                              | x  |    |     | H6                | 0,400                                   |             |
|                                | x  |    |     | H7                | 0,500                                   |             |
|                                | x  |    |     | H8                | 0,630                                   | +0,020<br>0 |
|                                | x  | x  |     | H9                | 0,800                                   |             |
|                                | x  | x  |     | H10               | 1,000                                   |             |
|                                |    | x  |     | H11               | 1,250                                   | +0,025<br>0 |
|                                |    | x  |     | H12               | 1,600                                   |             |
|                                |    | x  | (1) | H13               | 2,000                                   |             |
|                                |    | x  | (1) | H14               | 2,500                                   | +0,030<br>0 |
|                                |    |    | (1) | H15               | 3,200                                   |             |
|                                |    |    | (1) | H16               | 4,000                                   |             |
|                                |    |    | (1) | H17               | 5,000                                   | +0,030<br>0 |
|                                |    |    | (1) | H18               | 6,300                                   |             |

<sup>1)</sup> A szerződő felek közötti megállapodás alapján ezek az értékek különleges feladatokra alkalmazhatók.

5.26. ábra. A kiválasztott anyagcsoporthoz tartozó képminőség-jelzők és anyagaik  
(MSZ EN ISO 19232-2 szabvány 2. táblázat)

| Képminőségjelzők jele             | Furatsorszám az 1. táblázat alapján           | Az IQI anyaga         | A következő anyagok vizsgálatára |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| H1 CU<br>H5 CU<br>H9 CU<br>H13 CU | H1...H6<br>H5...H10<br>H9...H14<br>H13...H18  | Réz                   | Réz, cink, ón és ezek ötvözetek  |
| H1 FE<br>H5 FE<br>H9 FE<br>H13 FE | H1...H 6<br>H5...H10<br>H9...H14<br>H13...H18 | Acél (gyengén ötvözt) | Vasalapú anyagok                 |
| H1 TI<br>H5 TI<br>H9 TI<br>H13 TI | H1...H 6<br>H5...H10<br>H9...H14<br>H13...H18 | Titán                 | Titán és ötvözetek               |
| H1 EL<br>H5 EL<br>H9 EL<br>H13 AL | H1...H 6<br>H5...H10<br>H9...H14<br>H13...H18 | Alumínium             | Alumínium és ötvözetek           |

### 5.7.3 A KÉPMINŐSÉG MEGHATÁROZÁSA ÉS AZ IQI KIVÁLASZTÁSA

A gyakorlatban háromféle szituáció lehetséges:

1. Egy adott és előzőleg már ismert minőségi mutatószámot kell garantálni.
2. Az MSZ EN ISO 5579 szerinti A- vagy B-kategóriára van szükség.
3. A vizsgálat végrehajtása előtt beállított és ismert vizsgálati érzékenységre van szükség.

Az első esetben a folytatás előtt az adott radiográfiai vizsgálat legkisebb látható furatának vagy huzaljának számaként kell beállítani a képminőség mutatószám értékét. Lépcsős-furatos IQI esetén a legkisebb átmérőjű furat(ok)nak kell láthatónak lennie (lenniük), míg huzalsoros IQI esetén legalább egy 10 mm-es folyamatos huzalszakasznak kell láthatónak lennie. Ezen túlmenően, figyelembe kell venni azt is, hogy a minőségi mutatószámot az alapanyag határozza meg.

Azt is figyelembe kell venni, hogy az IQI anyagának olyan abszorpciós együtthatóval kell rendelkeznie, amely a lehető legközelebb van a vizsgálandó objektum anyagának abszorpciós együtthatójához. Következésképpen csak olyan IQI választható ki, amely a mutatószámnak megfelelő, ahhoz illeszkedő lépcsővel vagy huzallal rendelkezik. Ebben az esetben a kiválasztott huzalnak vagy lépcsőnek észlelhetőnek kell lennie a radiográfiai felvételen.

A második esetben – amikor megadott minőségre van szükség – az alkalmazandó IQI kiválasztásának kritériumai a következők: milyen anyagból készült a vizsgálandó tárgy, és mekkora a szükséges képminőség érték.

A felvételen észlelendő huzal vagy furat azonosításához – miután a szükséges minőséget meghatároztuk – az MSZ EN ISO 19232-3 jelű szabványt kell segítségül hívni. Ez a szabvány a következő paraméterek szerint rögzíti a képminőség mutatószámokat:

- ◆ meghatározott vizsgálati minőség (A- vagy B-kategória az MSZ EN ISO 5579 szerint),
- ◆ alkalmazott vizsgálati technika (szimpla vagy duplafalú),
- ◆ az átsugárzandó tárgy vastagsága,
- ◆ az IQI relatív elhelyezése a tárgyhöz, a sugárforráshoz és a röntgenfilmhez képest,
- ◆ az alkalmazott sugárforrás jellege.

Miután az elvárt minőségi mutatószámot meghatározó paraméterek ismertek, a röntgenképen megfigyelendő IQI-furat vagy huzal kiválasztására kerül sor. Ezt követően a kiválasztott huzalnak vagy lépcsőnek észlelhetőnek kell lennie a radiográfiai felvételen.

*Példa:*

*Tegyük fel, hogy egy 20 mm-es egyenletes vastagságú tárgyat kell radiográfiai vizsgálatnak alávetni. A vizsgálandó munkadarab anyaga gyengén ötvöztött szénacél és „A” minőségi kategóriára van szükség. Geometriai korlátozás egyáltalán nincs. A felvétel egy röntgensugaras készülékkel kerül elkészítésre. Szimpla falú radiográfiai technikát választottunk, valamint egy huzalsoros IQI-eszközt, amely a sugárforrás felőli oldalon kerül elhelyezésre. A minőségi mutatószám meghatározásához az EN MSZ ISO 19232-3-at használjuk, nevezetesen annak 1. táblázatát (itt az 5.27. ábra).*



5.27. ábra. A minőségi mutatószám meghatározása (IQI kiválasztása)

| Képmínőség: A-osztály        |        |                            |
|------------------------------|--------|----------------------------|
| Névleges vastagság<br>t [mm] |        | IQI<br>érték <sup>1)</sup> |
|                              | 1,2-ig | W 18                       |
| 1,2 felett                   | 2-ig   | W 17                       |
| 2 felett                     | 3,5-ig | W 16                       |
| 3,5 felett                   | 5-ig   | W 15                       |
| 5 felett                     | 7-ig   | W 14                       |
| 7 felett                     | 10-ig  | W 13                       |
| 10 felett                    | 15-ig  | W 12                       |
| 15 felett                    | 25-ig  | W 11                       |
| 25 felett                    | 32-ig  | W 10                       |
| 32 felett                    | 40-ig  | W 9                        |
| 40 felett                    | 55-ig  | W 8                        |
| 55 felett                    | 85-ig  | W 7                        |
| 85 felett                    | 150-ig | W 6                        |
| 150 felett                   | 250-ig | W 5                        |
| 250 felett                   |        | W 4                        |

Ennek megfelelően, 20 mm-es vastagság esetén, a röntgenképen észlelendő huzal W11 lesz, a minőségi mutatószám pedig ebből adódóan 11 lesz.

Az ilyen huzalt tartalmazó IQI megtalálásához az MSZ EN ISO 19232-1 1. és 2. táblázatát használjuk (itt a 5.22. és 5.23. ábra). Az 1. táblázat (5.22. ábra) azt mutatja, hogy a W11 huzal a W6 és a W10 IQI-ban egyaránt megtalálható, ezért ezek közül bármelyik használható.

Miután a radiográfiai vizsgálat tárgyának anyaga szénacél, a szabvány 2. táblázatából (5.23. ábra) a kiválasztandó IQI vagy a W6 Fe vagy a W10 Fe lesz.

Végül nézzük a harmadik esetet, amelyben ismert a vizsgálat érzékenysége, százalékos arányként megadva. Ez a huzalátmérő vagy a lépcsővastagság (ami a furatátmérővel egyenlő) és a radiográfiai vizsgálatnak alávetendő munkadarab vastagsága közötti arányként kerül meghatározásra:

$$\varepsilon = \frac{d}{w}$$

ahol a %-ban kifejezett érzékenység, d a huzalátmérő vagy a lépcsővastagság (ami a furatátmérővel egyenlő) és w a vizsgálandó munkadarab vastagsága.



Például:

Az előírt érzékenység 2%, és a munkadarab vastagsága 20 mm. Akkor, behelyettesítve az előző egyenletbe, a röntgenképen észlelendő huzal vagy furat átmérője, az

$$\varepsilon = \frac{d}{20} = 0.02 = 2\%$$

összefüggés alapján  $d=0,4$  mm lesz. Az MSZ EN ISO 19232-1-ben található 1. táblázat szerint a 0,4 mm-es átmérőjű huzal a W10-es.

Ha az MSZ EN ISO 19232-3 nem használható az IQI kiválasztásához, akkor az MSZ EN ISO 19232-4-et kell alkalmazni. Erre akkor kerülhet sor például, amikor az IQI és az ellenőrzött anyag abszorpciós együtthatója több mint 30%-kal eltér egymástól. Ebben az esetben ellenőrző besugárzásokra lesz szükség az elfogadható képminőség jelzőszám meghatározásához. Az ellenőrző besugárzások alkalmazásával kapott minőség mutatószámok azonosak lesznek és az azonos módon elvégzett besugárzások mindegyikénél számolhatunk velük.

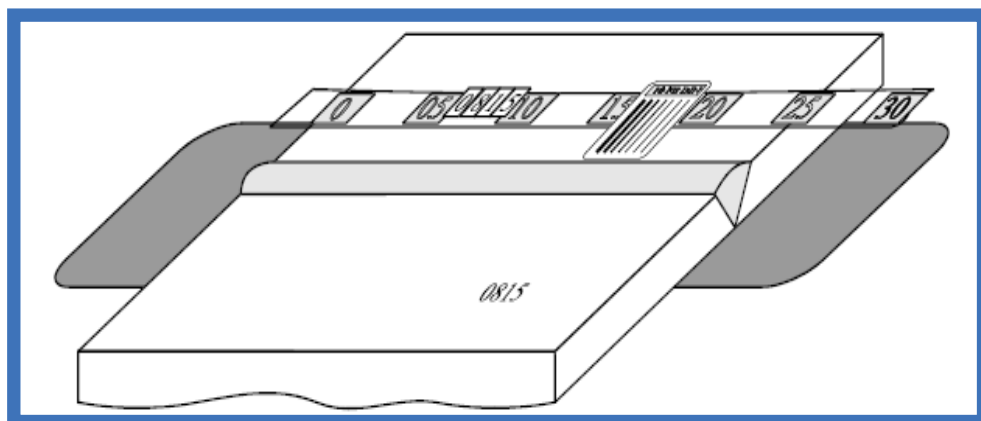
Miután a képminőség-jelzőszám meghatározása megtörtént és egy adott munkadarab (amelyre vonatkozóan a kísérleti minőségi mutatószámok már beállításra kerültek) radiográfiai vizsgálata történik, akkor ugyanazokat a radiográfiai feltételeket kell figyelembe venni és ugyanazt az IQI-t kell használni, mint az előzetes vizsgálat során.

A meghatározott feltételek mellett két ellenőrző besugárzást kell végrehajtani. Ha a képminőség-jelzőszámok mindkét besugárzás során azonosak, akkor ezt az értéket kell elfogadni képminőség-jelzőszámként. Ha a képminőség jelzőszámok eltérnek, akkor az eljárást meg kell ismételni.

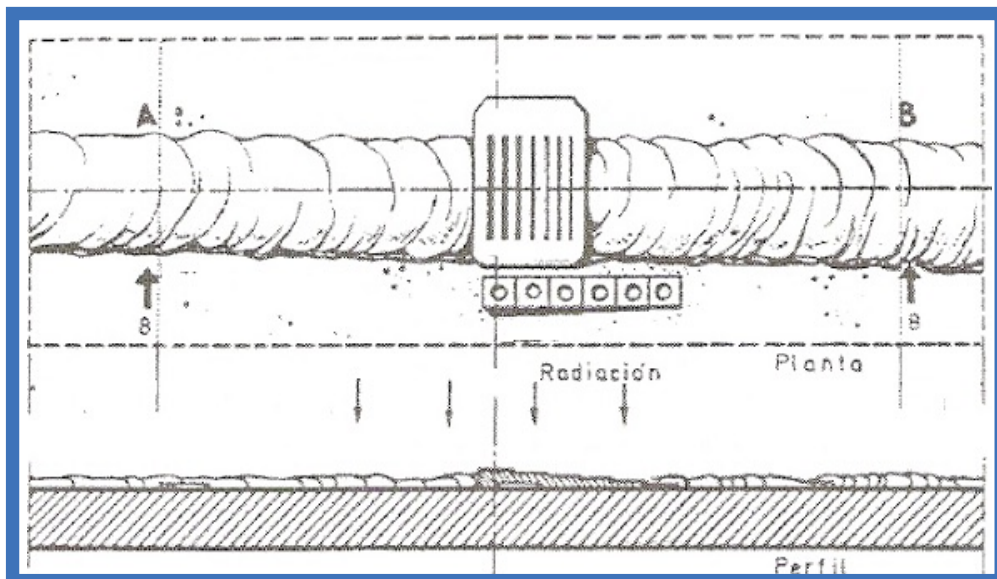
#### 5.7.4 VIZSGÁLATI ELRENDEZÉS

A képminőség meghatározásához a képminőség-jelző eszközt általában a sugárforrás és a vizsgálati tárgy közé helyezik el (5.28. és 5.29. ábra).

5.28. ábra. Huzalsoros IQI elhelyezése a besugárzás előtt



5.29. ábra. Huzalsoros és lépcsős-furatos IQI elhelyezése a besugárzás előtt



(Hiba: A huzalsoros képminőségjelzőt a felvétel várhatóan egyenletes optikai feketedésű részére kellett volna elhelyezni!)

Ha például egy duplafalú vizsgálat során erre nem volt lehetőség, akkor a képminőség-jelző eszköz elhelyezhető a film mellett, ezáltal egyszerűbbé téve a huzal észlelését. Azonban ez nem reális képminőséget eredményez. Ezért a filmet „F”-fel kell jelölni és ezt rögzíteni kell a vizsgálati jelentésben. Síkvarrat és körvarrat vizsgálata esetén, ahol nagy görbületi sugarak jellemzők, a huzalsoros képminőség-jelzőt úgy kell elhelyezni, hogy a huzalok merőlegesek legyenek a varratra. A lépcsős képminőség-jelző eszközt pedig a varrattal párhuzamosan kell elhelyezni, a hegesztés melletti alapanyagon.

Kis görbületi sugarú körvarrat esetén, ellipszis felvételek készítésekor a huzalokat ajánlatos a hegesztési varrat síkjával párhuzamosan elhelyezni úgy, hogy a legkisebb átmérőjű huzal legyen a varrat mellett, (sugárforrás felőli IQI használat esetén a varrat sugárforrástól távolabbi oldalán) annak érdekében, hogy hozzávetőlegesen ugyanolyan radiográfiai feltételeket lehessen elérni az összes huzalban.

Ezen túlmenően, a képminőség-jelzőt a vizsgálati tárgy közelében kell elhelyezni olyan területre, hogy a radiográfiai felvétel közepén jelenjen meg.



5.30. ábra. Az IQI elhelyezése a besugárzáshoz, ellipszis felvétel esetén (film oldal)



#### 5.7.5 KÉTHUZALOS KÉPMINŐSÉGJELZŐ

Az MSZ EN ISO 19232-5 jelű szabvány kéthuzalos képminőség-jelzőket ismertet, amelyek a képéletlenség értékének meghatározására használatosak, illetve valós idejű röntgensugaras rendszereknél alkalmazhatók.

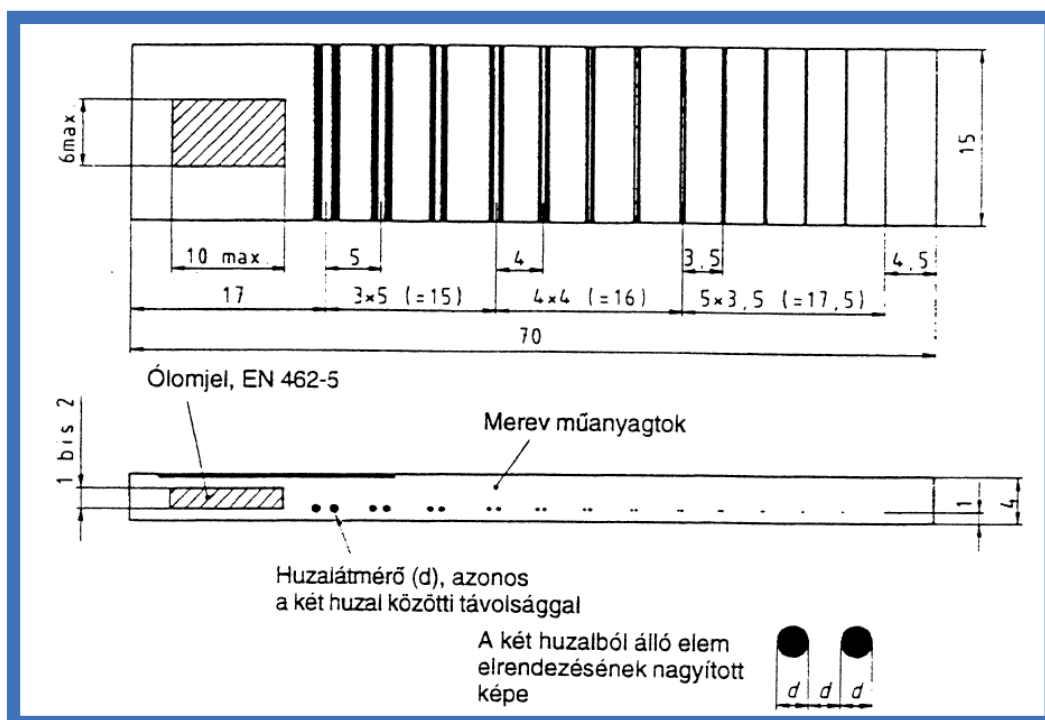
A kéthuzalos IQI egy 13 elemből álló sorozatot foglal magában, amely elemek egy kemény műanyagból készült transzparens tartóban vannak elhelyezve. Minden elemet egy 15 mm hosszúságú kör keresztmetszetű huzalpár alkot. Ezen huzalpárok jelölése a D betű, előtte egy 13 és 1 közötti számmal. A huzalok átmérője 0,050 mm-től (13D) növekszik egészen 0,8 mm-ig (1D). Egy huzalpáron belül a huzalok közötti távolság megegyezik azok átmérőjével. A három legvastagabb elem (1D–3D) volfrámból készül, a többi elem platínából.

A vizsgálat során a kéthuzalos IQI-t egy huzalsoros vagy lépcsős képminőség-jelzővel együtt kell használni, mivel a kéthuzalos IQI csak a kép életlenségét megállapítására jó. Ez annak köszönhető, hogy a kéthuzalos IQI volfrám vagy platina huzalokból készült. Ezeknek az elemeknek magas a rendszámuk és a sűrűségük. Következésképpen, a radiográfiai felvételen erős kontrasztot adnak, de ez nem használható fel a képminőség-jelzőszám meghatározására.

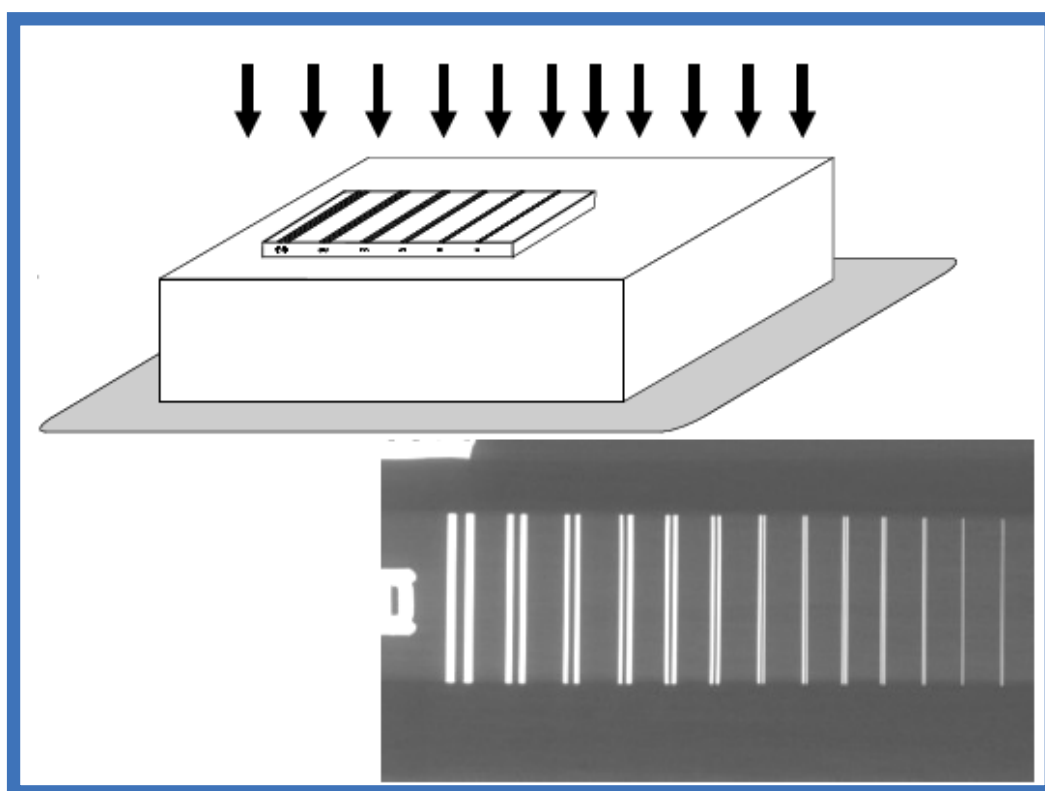
A kéthuzalos IQI-t a vizsgálandó tárgy sugárforrás felőli oldalán kell elhelyezni, a lehető legközelebb a sugárzási fókusztengetyhez. A kéthuzalos IQI képét egy 4x-es nagyítású lupával kell megvizsgálni. Észlelhetőségi határként a legnagyobb átmérővel rendelkező első huzalpár használatos, amelynek a képe akkor alakul ki, amikor a huzalok közötti távolság nem észlelhető egyértelműen. A kép életlensége  $U_g = 2d$  lesz, ahol a  $d$  a huzalátmérő, illetve a huzalok közötti távolság.



5.31. ábra. Kéthuzalos képminőség-jelző



5.32. ábra. Kéthuzalos IQI elhelyezése és radiográfiai felvétele



5.33. ábra. A kéthuzalos elemek számozása, hozzárendelt képéletlenség és huzalátmérő

| Elemek számozása<br>(D=kéthuzalos) | „U”<br>Hozzárendelt<br>képéletlenség | Huzalátmérő és<br>huzaltávolság | A huzalátmérő és a<br>huzaltávolság<br>mérettűrése |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------|
| 13D                                | 0,10                                 | 0,050                           | ± 0,005                                            |
| 12D                                | 0,13                                 | 0,063                           |                                                    |
| 11D                                | 0,16                                 | 0,080                           |                                                    |
| 10D                                | 0,20                                 | 0,100                           |                                                    |
| 9D                                 | 0,26                                 | 0,130                           | ± 0,01                                             |
| 8D                                 | 0,32                                 | 0,160                           |                                                    |
| 7D                                 | 0,40                                 | 0,200                           |                                                    |
| 6D                                 | 0,50                                 | 0,250                           |                                                    |
| 5D                                 | 0,64                                 | 0,320                           | ± 0,02                                             |
| 4D                                 | 0,80                                 | 0,400                           |                                                    |
| 3D                                 | 1,00                                 | 0,500                           |                                                    |
| 2D                                 | 1,26                                 | 0,630                           |                                                    |
| 1D                                 | 1,60                                 | 0,800                           |                                                    |



## 6. REFERENCIADOKUMENTUMOK, JEGYZŐKÖNYV KÉSZÍTÉS, MINŐSÉGÜGYI SZEMPONTOK

### 6.1 A REFERENCIADOKUMENTUMOK TÍPUSAI

A roncsolásmentes vizsgálati tevékenységekhez kapcsolódó, a vizsgálatok minőségirányítási rendszerének részét képező referencia dokumentumok – hierarchia szerinti sorrendben – a következők: hatósági szabályozások (törvények, rendeletek, EU-s irányelvek), szabályzatok (kódok), szabványok, (műszaki) specifikációk, vizsgálati technológiák és vizsgálati utasítások.

#### 6.1.1 HATÓSÁGI SZABÁLYOZÁSOK

Az illetékes hatóságok által előírt követelményeket tartalmazó dokumentumok, amelyek alkalmazása kötelező jellegű. Az előírások vonatkozhatnak az elvégzendő vizsgálatok típusára, terjedelmére, gyakoriságára, stb., valamint a vizsgálandó szerkezetre vagy berendezésre. Ilyen például a nyomástartó berendezésekre vonatkozó 97/23/CE európai irányelv (ismert angol rövidítése: PED).

#### 6.1.2 SZABÁLYZATOK

Egy szabályzat (kód) egy bizonyos típusú termék, berendezés, szerkezet vagy rendszer (nyomástartó edény, fémszerkezet, gépkocsielem, stb.) tervezésére, gyártására és ellenőrzésére kidolgozott, a gyártási folyamat alatt és annak végén alkalmazandó szabályok együttese. Az ellenőrzés tartalmazhat roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálatokat is.

A szabályokat megalkotó testület figyelembe veszi az ilyen termékek, berendezések gyártóinak, felhasználóinak, üzemeltetőinek és vizsgálóinak az igényeit is.

A szabályzatok kötelező érvényű előírásokat, specifikus tilalmakat és nem kötelező jellegű tervezési, gyártási és ellenőrzési útmutatásokat foglalnak magukba. Nem foglalkoznak e tevékenységek különböző szempontjainak mindegyikével, de a szabályzatban nem szereplő elemek nem tekinthetők tilosnak sem. Tekintve, hogy a szabályzatok nem útmutatók, ezért ezek használata az oktatást, a tapasztalatot és a jó ipari gyakorlati módszerek alkalmazását nem helyettesítheti. Ugyanakkor a jó gyakorlat alkalmazása nem jelent felhatalmazást a kötelező jellegű előírások vagy tilalmak figyelmen kívül hagyására.



## 6.1.3 SZABVÁNYOK

Ezek konszenzus alapján készített és elismert testület által jóváhagyott dokumentumok, melyek szabályokat határoznak meg és útmutatást nyújtanak bizonyos tevékenységekhez és azok eredményéhez annak érdekében, hogy az ismétlődő és közös alkalmazáshoz egy adott környezetben optimális feltételek álljanak rendelkezésre. A szabványoknak a tudomány és technika, valamint a tapasztalatok alapján igazolt eredményeken kell alapulniuk és a közösség hasznára kell lenniük.

A szabványok kiadásának joga a szabványosító testületeket illeti, melyek – a szabvány hatáskörétől függően – lehetnek országos vagy nemzetközi testületek. Ezekre példák az a következők:

6.1. táblázat. Szabványosító testületek és az általuk kiadott szabványok betűjelei

| BETŰJEL | SZABVÁNYOSÍTÓ TESTÜLET                                                                           |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISO     | International Organisation of Standardization<br>Nemzetközi Szabványügyi Szervezet               |
| EN      | Comité Européen de Normalisation (CEN)<br>Európai Szabványügyi Bizottság                         |
| ANSI    | American National Standards Institute<br>Amerikai Nemzeti Szabványosító Intézet                  |
| ASTM    | American Society for Testing and Materials<br>Amerikai Anyagvizsgálati és Anyagminőségi Társaság |
| BS      | British Standards Institution (BSI)<br>Brit Szabványügyi Intézet                                 |
| DIN     | Deutsches Institut für Normung<br>Német Szabványügyi Intézet                                     |
| NF      | Association Française de Normalisation (AFNOR)<br>Francia Szabványügyi Szövetség                 |
| MSZ     | Magyar Szabványügyi Testület (MSZT)                                                              |

A szabályzat (kód) és a szabvány közötti legfontosabb különbség az, hogy az előbbi tartalmaz tervezési és esetenként üzem közbeni ellenőrzésre vonatkozó előírásokat, míg gyártási és termékellenőrzési előírásokat nem.



#### 6.1.4 SPECIFIKÁCIÓK

Ezek a termékekkel és szolgáltatásokkal, valamint azok megfelelésének igazolására szolgáló eszközökkel, ellenőrzésekkel, vizsgálatokkal, elemzésekkel, auditokkal, értékelésekkel, stb. kapcsolatos követelményeket leíró dokumentumok.

#### 6.1.5 VIZSGÁLATI TECHNOLÓGIÁK

A technológiák (eljárásrendek), általánosságban, ismétlődő tevékenységek végrehajtására irányuló lépések sorozatát leíró dokumentumok. Tartalmazzák a kívánt eredmények elérése érdekében, bizonyos körülmények között elvégzendő feladatokat. A különféle – például gyártási, vizsgálati – technológiákat a vállalatok általában a vonatkozó szabványok alapján készítik el és adják ki. Végrehajtásuk a vállalaton belül kötelező, és a vállalat, ha szükséges, bármikor módosíthatja azokat, azzal a feltétellel, hogy a módosítás megfelel a technológia készítéséhez alapul vett szabvány előírásainak.

A technológia (vagy eljárásrend) látszólag számos oldalon leírt formalitásokból áll, de ez nem feltétlenül igaz. Előfordulhat, hogy mindössze öt bekezdést tartalmaz, melyek mindegyike egy bizonyos tevékenységsor egy-egy lépését részletezi; bár ez esetben a technológiát gyakran inkább munkautasításnak nevezik.

Technológia dokumentálása esetén az „írott technológia” vagy „dokumentált technológia” kifejezések használhatók. Egy írott vizsgálati technológia rendszerint az alábbi fő pontokat tartalmazza: a tevékenység célja és terjedelme; a feladat; a feladat végrehajtásának helye és módja; a felhasználandó anyagok, berendezések és dokumentumok; a vizsgálati eredmények értékelése és rögzítése.

### 6.2 EURÓPAI ÉS NEMZETKÖZI SZABVÁNYOSÍTÁS

#### 6.2.1 SZABVÁNYOSÍTÁS

A szabványosítás a különböző tudományos, ipari és gazdasági tevékenységekre alkalmazható, azok rendszerezését és javítását szolgálja. Az MSZ EN 45020 jelű szabvány a szabványosítást úgy határozza meg, hogy „Olyan tevékenység, amely általános és ismételt alkalmazható intézkedéseket tartalmaz fennálló vagy várható problémák megoldására, azzal a céllal, hogy a rendező hatás az adott feltételek között a legkedvezőbb legyen.” A szabványosítás legfontosabb haszna az, hogy elősegíti a termékek, folyamatok vagy szolgáltatások kereskedelmi korlátjainak áthidalását és javítja a nemzetközi, technológiai együttműködést.

A szabványosításnak alapvetően három célja van:

- ◆ *Egyszerűsítés:* a modellek szükséges mennyiségét a minimumra csökkenti.
- ◆ *Egységesítés:* lehetővé teszi termékek és szolgáltatások nemzetközi szintű cseréjét.
- ◆ *Specifikálás:* tiszta és precíz nyelvezettel igyekszik elkerülni az értelmezési és azonosítási hibákat.



Minden országban van egy nemzeti testület, mely szabványokat ad ki. A CEN, azaz az Európai Szabványügyi Bizottság (a rövidítés a testület francia nevének kezdőbetűiből áll) létrejötte után a tag-országok – pontosabban a CEN-tag nemzeti szabványügyi testületek – a megjelent CEN szabványokat honosítják, azaz saját nyelvre lefordítják és nemzeti szabványként kiadják. Egyúttal visszavonják az új szabványokkal ellenkező tartalmú régieket. (Ezek a CEN-tagsággal együtt járó kötelezettségek)

### 6.2.2 EURÓPAI SZABVÁNYÜGYI BIZOTTSÁG (CEN)

A roncsolásmentes vizsgálatok területén a TC 138-as Műszaki Bizottság (Technical Committee) irányítja a szabványosítást. Ennek különböző munkacsoportjai (Working Group-jai) vannak megbízva a feladatok, a terminológia, a berendezések és az egyes vizsgálati eljárásoknál alkalmazott, általános elvek szabványainak kidolgozásával (lásd 6.2. táblázat). A munkacsoportokba – ott önkéntesen dolgozó – szakembereket nevezhetnek a tagországok, illetve azok RMV-szervezetei.

E műszaki bizottság hatáskörébe tartozik az RMV-személyzet minősítése és tanúsítása, a minősítés módszertana is.

Más műszaki bizottságok felelősek egyes termékek és ipari szektorok (például acéltermékek, hegesztett kötések, csövek, légijárművek) specifikus vizsgálati szabványainak kidolgozásáért.

6.2. táblázat: Az RMV-szabványokkal foglalkozó CEN-munkacsoportok

| TC/WG            | Műszaki Bizottság/Munkacsoport                |
|------------------|-----------------------------------------------|
| CEN/TC 138/WG 1  | Radiográfiai vizsgálat                        |
| CEN/TC 138/WG 2  | Ultraszónus vizsgálat                         |
| CEN/TC 138/WG 3  | Örvényáramos vizsgálat                        |
| CEN/TC 138/WG 4  | Folyadékbehatolásos vizsgálat                 |
| CEN/TC 138/WG 5  | Mágnesezhető poros vizsgálat                  |
| CEN/TC 138/WG 6  | Tömörésvizsgálat                              |
| CEN/TC 138/WG 7  | Akusztikus emissziós vizsgálat                |
| CEN/TC 138/WG 8  | Vizuális vizsgálat                            |
| CEN/TC 138/WG 9  | Roncsolásmentes vizsgálatok minősítése        |
| CEN/TC 138/WG 10 | Röntgen-diffrakciós vizsgálat                 |
| CEN/TC 138/WG 11 | Infravörös termográfia                        |
| CEN/TC 138/WG 12 | Az RMV-személyzet látásélességének értékelése |



### 6.2.3 NEMZETKÖZI SZABVÁNYÜGYI SZERVEZET (ISO)

Az ISO és a CEN szervezeti felépítése lényegében azonos. A roncsolásmentes vizsgálatokkal a TC 135-ös Műszaki Bizottság foglalkozik, és ennek albizottságai (SC = SubCommittee) és munkacsoportjai (WG) dolgozzák ki a szabványokat. Az egyes szabványok jól meghatározott menetrend szerint készülnek, mely általában a következő lépésekből áll:

1. fázis: Javaslattétel (dokumentum: NP = New work item Proposal).
2. fázis: Előkészítés, konszenzus kialakítása (Bizottsági Tervezet, CD = Committee Draft).
3. fázis: Bizottsági/albizottsági konszenzus kialakítása (szabványtervezet, DIS).
4. fázis: Szavazásra bocsátás és módosítás (végső tervezet, FDIS).
5. fázis: Szavazásra bocsátás és jóváhagyás (nemzetközi szabvány).
6. fázis: Publikálás.

Az ISO-nál is különböző műszaki bizottságok felelősek egyes termékek és ipari szektorok specifikus RMV (és minden egyéb) szabványainak kidolgozásáért, például TC 11 – Kazánok és nyomástartó edények, TC 17 – Acélok, TC 22 – Közúti járművek.

A két nagy szabványosító testület a '90-es évek óta együttműködik. Ennek kereteit a Bécsi Megállapodásban fektették le. A műszaki együttműködés legfőbb gyakorlati hozadéka számos szabvány párhuzamos – azaz egyidejű – elfogadása és bevezetése. (A szabványokat hol a CEN, hol az ISO dolgozza ki.) Ezzel a gyakorlattal, melynek köszönhetően egyre több EN ISO jelű szabvánnyal találkozhatunk, mindkét szervezet a világpiaci igényeknek igyekszik megfelelni – elkerülve egyrészt a bizonytalanságot keltő kettősségeket, másrészt a későbbi harmonizálást (ld. EN 473 és ISO 9712 esete).

## 6.3 A VIZSGÁLATI TECHNOLÓGIA MEGHATÁROZÁSA

### 6.3.1 BEVEZETÉS

Az MSZ EN ISO 9712 jelű szabvány szerint az RMV-utasítás „Elfogadott szabvány, szabályzat, műszaki feltétel vagy RMV-technológia szerinti vizsgálat során követendő lépések pontos, írásbeli megadása”.

Az írott vizsgálati utasítások általánosabb technológián alapulnak és adott munkadarabra vagy hasonló munkadarabokra szabott előírások. Bár a vizsgálati technológiának a vizsgálat végrehajtása előtti elkészítése a vonatkozó szabályzatokban és szabványokban meghatározott követelmény, az írásos utasítások a technológia részletes adaptációjaként is értelmezhetők.

A vizsgálatot végrehajtó, 1-es szintű vizsgálóknak szóló útmutatónak tekintett írott utasításokat ajánlatos tömören és világosan megírni. A következőkben egy teljes, magyarázó jellegű ismertető olvasható, mely a vizsgálati utasítást annak mibenlététől kezdve, a fejezeteinek leírásáig részletezi.



### 6.3.2 MI A VIZSGÁLATI UTASÍTÁS?

A vizsgálati utasítás egy olyan munkaanyag, amely strukturált módon összefoglalja egy adott munkadarab, vagy azonos ellenőrzési paramétereket igénylő, hasonló munkadarabok roncsolásmentes vizsgálata során végrehajtandó lépéseket és az azzal kapcsolatban figyelembe veendő szempontokat. A vizsgálati utasítás egy adott RMV-eljárásra és egy bizonyos módszerre készül, és úgy kell megfogalmazni, hogy annak alapján az adott eljárásra és szakterületre minősített vizsgáló képes legyen a vizsgálat végrehajtására.

Továbbá, ez egy rugalmas és hivatalos dokumentum, melyet az idő múlásával felmerülő változásokhoz hozzá kell igazítani, ugyanakkor mindenkor egységes formában kell megjelennie és kötelező érvényűnek kell lennie. A vizsgálati utasítás (is) a vállalat minőségirányítási rendszerének része és a Minőségbiztosítási Osztály hatáskörébe tartozik.

A minősítő vizsgák alkalmával a 2-es szintre pályázó vizsgázóknak meg kell fogalmazniuk egy már ellenőrzött munkadarabra vonatkozó vizsgálati utasítást úgy, hogy az ellenőrzést egy 1-es szintű vizsgáló is végre tudja hajtani. Az esetben, ha a tanúsítás radiográfiai felvételek értékelésére korlátozódik, a 2-es szintű vizsgázóknak a gyakorlat, illetve egy vagy több radiográfiai felvétel figyelembevételével kell vizsgálati utasítást írniuk. Ez az előírás azon az elképzelésen alapul, hogy a 2-es szintű vizsgázóknak olyan vizsgálati utasítást kell készíteniük, mely egy munkadarab ellenőrzése során korábban végrehajtott, minden egyes lépést tükröz. A kész felvételek pedig azt bizonyítják, hogy ezek a lépések hatékonyak a keresett folytonossági hiányok detektálásában.

### 6.4 A VIZSGÁLATI UTASÍTÁS KÉSZÍTÉSÉNEK LÉPÉSEI

A vizsgálati utasításnak meg kell adnia az összes vizsgálati változót, például a módszert, az ellenőrzési technikát, a vizsgálat végrehajtásához szükséges berendezést, anyagokat és kiegészítőket, személyzetet és referencia dokumentumokat, stb. Az elképzelés az, hogy a vizsgálónak – ha az adott utasítást lépésről-lépésre követi – képesnek kell lennie a vizsgálat végrehajtására.

Az MSZ EN ISO 9712 jelű szabvány szerint, a következőket kell részletezni:

- ◆ Előszó (alkalmazási terület, referencia dokumentumok).
- ◆ Személyzet.
- ◆ Az alkalmazandó berendezés és annak beállításai.
- ◆ A vizsgálandó darab (leírás vagy rajz a vizsgálati területtel, az ellenőrzés célja).
- ◆ Vizsgálati feltételek és a vizsgálat előkészítése.
- ◆ A vizsgálat végrehajtására vonatkozó részletes utasítások.
- ◆ A vizsgálati eredmények feljegyzése és osztályozása.
- ◆ Az eredmények jegyzőkönyvezése.

A vizsgálati utasításnak olyan hasznos dokumentumnak kell lennie, mely nagy segítség a vizsgálók számára a vizsgálat előtt és alatt, továbbá garantálja a teljes folyamat pontos nyomonkövethetőségét.





Az utasításnak világosnak kell lennie, az értelmezéséhez szükséges időt a minimálisra kell csökkenteni. Ezért magyarázó vázlatok, rajzok, táblázatok, stb. használata ajánlatos. Fontos a pontosság: azaz a tartalmat tömören és közvetlen módon kell megfogalmazni. A pontosságot az alábbi tényezők javítják:

- ◆ egyszerű nyelvi felépítés.
- ◆ az eljárásnak megfelelő szakkifejezések használata.
- ◆ a mozaikszavak túlzott használatának kerülése.

A használt nyelvezetnek egyszerűnek és szakszerűnek kell lennie, kerülni kell a bonyolult mondatok és szavak használatát. A műveleteket és a különböző lépéseket logikai sorrendbe kell foglalni. Munkadokumentum lévén, a vizsgálati utasítás hossza szintén figyelembe veendő tényező. A rövid utasítások megkönnyítik azok olvasását és ellenőrzését. A túlzottan hosszúak viszont fárasztják az olvasót.

Mivel meg kell felelnie a helyi a minőségirányítási előírásoknak, a vizsgálati utasításokat – a címsorokkal, revíziószámokkal és aláírásokkal együtt – az azoknak megfelelő formátumban kell elkészíteni. A vizsgálati utasításokra vonatkozó ajánlások a következőképpen foglalhatók össze:

- ◆ rövid bekezdések.
- ◆ egyszerű kifejezések és mondatok, az általános köznyelvi és szakmai szókincssel.
- ◆ szükségtelen szavak vagy bekezdések elhagyása, az elképzeléseket jobban kifejező szavak választása.
- ◆ könnyen olvasható fogalmazás, a megengedett szakmai zsargonnal.
- ◆ változatos kifejezések, a monoton megfogalmazás kerülése.
- ◆ az új fogalmak magyarázata, visszavezetése az általánosan ismertekre.

*Azért írd, hogy közölj valamit, ne azért, hogy jó benyomást tegy az olvasóban!*

Mivel a vizsgálati utasítást, az eredeti elképzelésnek megfelelően legalább egy 1-es szintű anyagvizsgálónak kell végrehajtania, az egyes bekezdéseket a vizsgálatot végrehajtó személy elméleti és gyakorlati ismereteinek, valamint az MSZ EN ISO 9712 jelű szabvány által meghatározott funkcióknak megfelelő részletességgel kell kidolgozni.

Azt is figyelembe kell venni, hogy a vizsgálati utasítást általános belső technológiák és eljárásrendek is támogatják, melyek a gyártási folyamattal és a megrendelői igényekkel kapcsolatos követelményeket is tartalmaznak. Tekintettel erre, a partnervállalat belső dokumentumait is, melyeket a vizsgálónak ismernie kell, szerepeltetni kell a referencia dokumentumok között.

## 6.5 A VIZSGÁLATI UTASÍTÁS FEJEZETEI

Ez az alfejezet részletesen ismerteti az MSZ EN ISO 9712, D melléklet, „Az 1-es és 2-es szintű gyakorlati vizsgák osztályozása – Útmutató a százalékos súlyozásra” c. D.1 táblázat 4. része alapján a vizsgálati utasítások fejezeteibe befoglalandó tartalmakat és leírásokat.



### 6.5.1 ELŐSZÓ

Ebben a fejezetben le kell írni a dokumentum alkalmazási területét, továbbá meg kell határozni, kiket (vizsgáló személyzet) érint és milyen munkadarabokra (megnevezés, vizsgálati terület vagy térfogat) vonatkozik az utasítás. Ugyancsak meg kell határozni a vizsgálat célját (folytonossági hiányok kimutatása vagy bizonyos paraméterek ellenőrzése, stb.) és a gyártási folyamat vagy üzemelés azon pontját, amikor a vizsgálatot végre kell hajtani.

Illusztratív példa:

„Ez a vizsgálati utasítás meghatározza az ..... eljárással, a ..... munkadarab ..... területén végrehajtandó roncsolásmentes vizsgálatokat végző személyzet által az esetleges (az eljárás-tól függően térfogati vagy felületi) folytonossági hiányok kimutatása érdekében követendő lépéseket, valamint az elfogadási és elutasítási szinteket.”

E fejezetnek fel kell sorolnia az összes – a végrehajtásra, az eszközökre, az értékelésre és a személyzetre – alkalmazandó szabványt. Legfeljebb az eszközökre vonatkozó szabványoktól lehet eltekinteni. Meg kell adni a referenciadokumentumok (szabványok, stb.) jelét és címét, és világosan le kell írni, hogy a hivatkozott dokumentumok adott dátum szerinti vagy az utolsó érvényes kiadását kell-e figyelembe venni.

Az előszónak fontos kiegészítő információkat, szabályokat, például a munkavédelemmel kapcsolatosakat is tartalmaznia kell.

### 6.5.2 SZEMÉLYZET

Ebben a fejezetben a vizsgálatot végrehajtó és az eredményeket értékelő személyzet képzettségét, jártasságát, minősítésének érvényességi körét (szint, RMV-eljárás és szakterület) kell megadni.

A személyzettel kapcsolatos munkabiztonsági feltételeket vagy előírásokat – ha vannak ilyenek – szintén meg kell határozni. Erre jellemző példa a radiográfiai anyagvizsgáló, akinek legalább radioaktív berendezés kezelőként tanúsítottnak kell lennie.

A személyzet minősítésére vonatkozóan figyelembe vett szabványt vagy dokumentumot és az egyéb előírásokat meg kell hivatkozni.

### 6.5.3 A VIZSGÁLANDÓ MUNKADARAB

Ennek a fejezetnek az alábbi adatokat kell tartalmaznia – ha azok alkalmazhatók:

- ◆ A munkadarab megnevezése és azonosítója. (A vizsgálandó darabot egyedi azonosítóval kell ellátni.)
- ◆ A munkadarab méretei.
- ◆ Anyagminőség – ez egy rövid leírástól a vegyi összetételig terjedhet. (Az anyagfajta vagy a gyártási folyamat ismerete segítséget jelenthet a vizsgálat végrehajtásában.)
- ◆ A vizsgálati felület (vagy térfogat) helyzete és méretei.



- ◆ A vizsgálandó felület állapota. (Meg kell határozni, hogy a felületnek milyennek kell lennie.)
- ◆ Tervrajz vagy vázlatrajz a munkadarabról és vizsgálati felületről (vagy térfogatról).  
(Ez sokat segíthet mind a feladat megértésében, mind a végrehajtás megtervezésében.)
- ◆ A munkadarab vagy a felület hőmérséklete. (Ha az adott eljárásnál ez fontos, meg kell adni szükséges vagy megengedett hőmérsékletek tartományát is.)
- ◆ Referenciapontok, koordináták és jelölések – az indikációk helyének és méreteinek azonosítására használt koordinátarendszert, illetve méretjelöléseket meg kell adni. Ha a munkadarab szükségessé teszi, akkor a vizsgálati felület (vagy térfogat) azonosításának módját is meg kell határozni.

#### 6.5.4 VIZSGÁLATI ESZKÖZÖK

A használandó berendezéseket, segédeszközöket (ellenőrző testek, stb.) és anyagokat (vizsgálószereket) névvel és azonosítóval fel kell sorolni. Röviden le kell írni azok állapotára (kalibrált, hitelesített, stb.) vonatkozó követelményeket. Ebben a fejezetben az is előírható, hogy a vizsgálati eszközök adatait a jegyzőkönyvbe bele kell foglalni.

Az alkalmazott eljárástól és módszertől, valamint vizsgálati eszközöktől függően, röviden és tömören jelezni kell a beállítások módját, az érintett paramétereket és azok értékeit.

E helyütt meg kell határozni a beállítások és a kalibrációk, hitelesítések ellenőrzésének időpontjait, az elvégzett ellenőrzések eredményeinek elfogadási kritériumait és a teendőket, ha az eredmények nem megfelelőek.

#### 6.5.5 VIZSGÁLATI FELTÉTELEK ÉS ELŐKÉSZÜLETEK

Ebben a fejezetben meg kell határozni a vizsgálat végrehajtásához szükséges feltételeket (munkadarab állapota, környezet, egyéb körülmények). A feltételekhez hozzá kell rendelni azt is, hogy azok megléte miként ellenőrizendő (például hőmérséklet, nyomás, megvilágítás, érdesség mérése).

Ehhez kapcsolódva, meg kell adni azt is, hogyan kell vagy lehet biztosítani az előírt feltételeket, például szennyezett vizsgálati felület tisztításának módját.

#### 6.5.6 A VIZSGÁLAT VÉGREHAJTÁSA

Ez a fejezet a vizsgálat végrehajtásához szükséges műveletek részletes és időrendbe szedett leírását adja meg. Célszerű a vizsgálat lépéseiről egy olyan folyamatábrát készíteni, mely tartalmaz minden egyes végrehajtandó műveletet és a végrehajtás idejét.

Az alkalmazott eljárástól és módszertől függő, különböző vizsgálati paramétereket (például az átfedések mértéke, a szondamozgatás sebessége, mágneses térerő, erősítés, behatolási idő, a folytonossági hiányok kimutatását korlátozó tényezők, stb.) a vizsgálat minden fázisához meg kell határozni.



Ajánlatos a vizsgálati folyamat műveletsorát a következőképpen leírni:

- ◆ előzetes szemrevételezéses ellenőrzés,
- ◆ a munkadarab tisztítása,
- ◆ a beállítások időszakos ellenőrzése és módosítása,
- ◆ letapogatás, adatgyűjtés,
- ◆ az indikációk megfigyelése, jellemzése és méreteinek megállapítása,
- ◆ az indikációk rögzítése és osztályozása,
- ◆ jegyzőkönyv készítése,
- ◆ végső tisztítás (esetleg külön fejezetben).

## 6.6 AZ EREDMÉNYEK RÖGZÍTÉSE ÉS ÉRTÉKELÉSE, JEGYZŐKÖNYVEZÉS

A vizsgálati utasítás ezen fejezetében meg kell határozni, hogy milyen indikációkat és azok mely paramétereit és jellemzőit, valamint milyen, az eredményeket alátámasztó információkat kell dokumentálni. Továbbá elő kell írni a dokumentálás módját is (méretezett vázlatrajzok, paramétereket tartalmazó táblázatok, stb.).

Az indikációk értékeléséhez alkalmazott szabályzatot, szabványt vagy specifikációt szintén meg kell adni, a konkrét értékelési kritériumokkal együtt. A cél az, hogy az elfogadható, illetve visszautasítandó munkadarabok egyértelműen azonosíthatók legyenek. (Persze az értékelés nem az 1-es szintű vizsgálók feladata)

A jegyzőkönyvek (vagy vizsgálati jelentések) általában tartalmazzák a vizsgálati paramétereket és a regisztrált releváns indikációkat, tehát a vizsgálati utasításoknak tartalmazniuk kell a dokumentálandó vizsgálati adatok listáját és az információk dokumentálásának módját.

### 6.6.1 AZ INDIKÁCIÓK OSZTÁLYOZÁSA

Egy termék vagy szerkezeti elem megfelelő vizsgálati technológia és utasítás szerinti ellenőrzésének befejező műveletei: az indikációk rögzítése (feljegyzése) és osztályozása (minősítése), valamint a vizsgálati jegyzőkönyv (jelentés) elkészítése.

A folytonossági hiányok által generált indikációk értékeléséhez és értelmezéséhez ismerni kell a munkadarab gyártásának módját, folyamatát és a gyártás különböző fázisaiban esetleg keletkező folytonossági hiányok típusait és várható pozícióit. A folytonossági hiányok jellemzői attól a gyártási fázistól függenek, amelyben megjelennek.

Az indikációkat legelőbb keletkezésük oka szerint kell osztályozni, azaz hamisként, nem relevánsként vagy relevánsként kell értelmezni. A releváns indikációkat alakjuk és eloszlásuk szerint – lineárisként vagy nem lineárisként, illetve egyediként vagy csoportosként, stb. – jellemezni kell. Végül, a releváns indikációkat értékelni kell: a vonatkozó referenciadokumentumok alapján elfogadhatónak vagy nem elfogadhatónak kell minősíteni őket. A munkadarab fajtájától (hegesztett vagy kovácsolt termék,



öntvény, stb.) vagy az iparágtól (légiközlekedés, nukleáris ipar, stb.) függően léteznek olyan szabványok, melyek megadják az indikációk osztályozásának szabályait, továbbá regisztrálási és elfogadási szinteket is meghatároznak.

A radiográfiában – mivel az indikációkat filmen regisztrálják – a kép kiértékelésének az a célja, hogy azonosítsák a folytonossági hiány típusát. Ehhez elsősorban rövidítéseket használnak, például „RF”-et azon indikációk esetében, melyeket a filmen lévő hibák vagy az előhívási eljárás során elkövetett hibák okoztak, vagy speciális referenciák – például az MSZ EN ISO 6520-1, -2 szabványokban található, az eltérésekre vonatkozó besorolások – alkalmazásával.

#### 6.6.2 AZ INDIKÁCIÓK HELYÉNEK ÉS MÉRETEINEK MEGHATÁROZÁSA

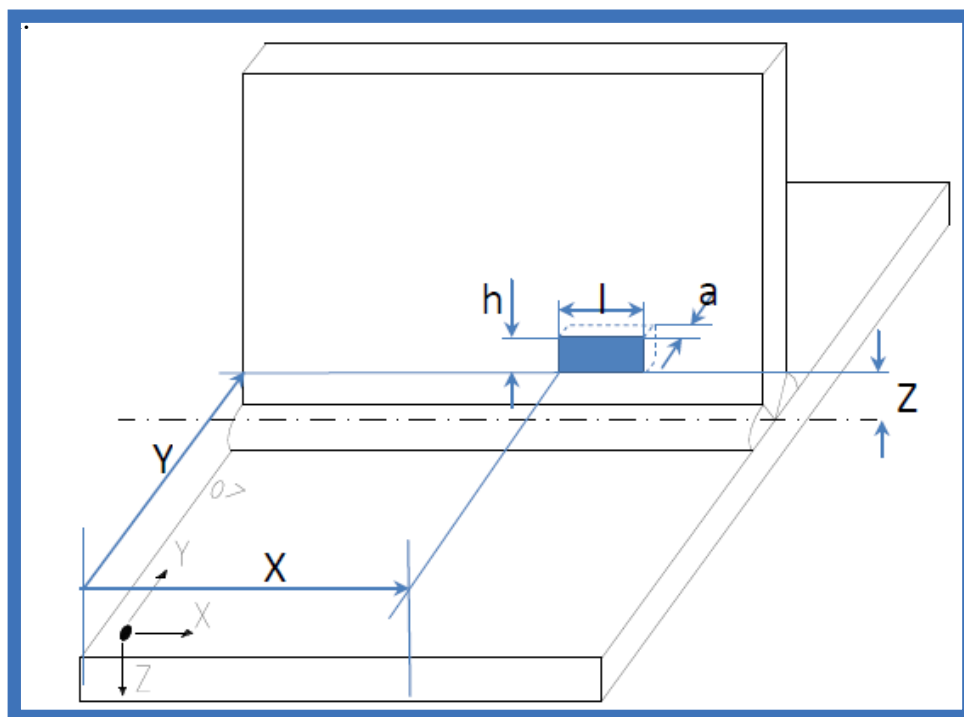
Vagy azért, mert a vonatkozó technológia így írja elő, vagy a vizsgálati jelentés jobb megértése érdekében, olykor folyamatosan rögzítik az indikációkat. Ez többféleképpen is megoldható:

- ◆ Az indikációk bemutatása a pozíciókat és a méreteket tartalmazó vázlatrajzon.
- ◆ Az indikációk rögzítése papírlapra átlátszó ragasztószalag segítségével. A vizsgált felületnek ilyenkor száraznak kell lennie, és ügyelni kell arra, hogy egyenetlen felület vagy irányváltozás esetén az indikáció formája megváltozhat.
- ◆ Az indikációk lefényképezése (filmre, digitális médiumra vagy polaroid papírra) vagy rögzítése videófelvételre. A polírozott felületek esetében előforduló csillogást vagy erős tükröződést el kell kerülni. Célszerű a lefényképezett területet megjelölni és az indikáció valós méretét például egy skála (milliméter-beosztású vonalzó) vagy egy közönséges hétköznapi tárgy (érme, toll, stb.) oda-helyezésével jelezni. (A felvétel minőségét potenciálisan befolyásoló olajfoltok vagy más szennyeződések oldószerrel tüntethetők el.)

Az indikáció elhelyezkedésének korrekt meghatározása érdekében mindig ki kell jelölni (fel kell venni) egy alkalmas koordinátarendszert. Alapvetően fontos annak eldöntése, hogy a munkadarabon melyik pont, és mely vonalak, síkok (pl. élék, felületek) vehetők figyelembe origóként, illetve koordinátatengelyként a mérés céljára. Minden folytonossági hiány elhelyezkedését ebben a kijelölt koordinátarendszerben, annak tengelyeihez (pl. X, Y, Z) viszonyítva kell megállapítani. Megjegyzés: Nem feltétlenül kell derékszögű rendszerhez ragaszkodni, hengerszimmetrikus munkadarabnál, például, érdemes hengerkoordinátákat használni.



6.1. ábra: Az indikáció pozíciójának és méreteinek meghatározása



A 6.1. ábra egy térbeli, síkszerű folytonossági hiányt mutat, melynek pozícióját az ábra bal alsó sarkában jelzett koordináta-rendszerben az  $(X, Y, Z)$  érték-hármas adja meg. A (nem pontszerű) folytonossági hiány pozíciója alatt egy megadott pontjának – jelen esetben a felénk eső, bal alsó sarokpontjának – a helyzetét értjük. Ez a pont egyben viszonyítási pont az anyagihiány méreteinek megadásánál is. Az ábrán használt jelölésekkel:

$l$  = hosszúság,  
 $a$  = szélesség,  
 $h$  = magasság.

A hosszúság nyilvánvalóan a nagyobb, a szélesség pedig a kisebb méretet jelenti valamilyen felület – például a vizsgálati felület – mentén, a magasság (más esetben mélység) pedig az erre a felületre merőleges irányú méretet.

Mivel radiográfiai vizsgálatokkal az indikáció mélysége nem határozható meg, ezért csak az  $X$  és  $Y$  koordináta, valamint az „ $l$ ” hosszúság és az „ $a$ ” szélesség alkalmazandó.

Ezen túlmenően, a javítási munka gyorsítása érdekében, rendszerint ajánlatos az adott röntgenfelvétel 1:1 méretű vázlatrajzát is alkalmazni, melynek segítségével a javítást végző személyzet minden lehetséges folytonossági hiányt meg tud találni, a munkadarabon lévő – a radiográfiai felvételen láthatókkal összevethető – jeleknek köszönhetően.

Az összes észlelt és relevánsnak minősített indikációt jegyzőkönyvezni kell, figyelembe véve természetesen a vonatkozó szabványban vagy egyéb előírásban megadott regisztrálási (feljegyzési) határt.

## 6.6.3 A VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

A vizsgálati jegyzőkönyvhöz (jelentéshez) ajánlatos kidolgozni egy olyan űrlapot, melybe az alábbi három fő adatcsoportba tartozó, összes szükséges adatot be lehet vezetni:

- ◆ a vizsgált tárgyra és annak állapotára vonatkozó információk,
- ◆ a vizsgálati körülményekre és a használt eszközökre vonatkozó adatok,
- ◆ az indikációk jellemzői és paraméterei.

A jegyzőkönyvet a vizsgálati technológiában és vizsgálati utasításban leírt útmutató alapján kell elkészíteni és abba általában a következőket kell bele foglalni:

| A vizsgálati jegyzőkönyvben minimálisan szerepeltetendő adatok                                                                                                                                                                                    |                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A munkadarabbal vagy próbadarabbal kapcsolatos adatok                                                                                                                                                                                             |                                                                                                  | A vizsgálati módszerrel kapcsolatos adatok                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Adatok                                                                                                                                                                                                                                            | Azonosítás                                                                                       | Vizsgálati módszer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Technológia                                                                                                                                                                                                                                           |
| Megrendelői információk<br>Szerződésre vonatkozó információk<br>Szerződés szám<br>Specifikáció<br>Gyártói információk<br>Indikáció<br>Anyag<br>Méretek<br>Hegesztési módszer<br>Varratforma<br>Hegesztő<br>Gyártási komponens<br>Gyártási állapot | Szerkezeti rajzok<br>Részletrajzok<br>Vizsgálati rajzok<br>Film elhelyezés rajzok<br>Filmjelölés | Vizsgálati előírás<br>Vizsgálati instrukciók<br>Vizsgálati terjedelem<br>Vizsgálat típusa<br>Képmínőség osztály<br>Besugárzás beállítás<br>Egyfilmes módszer<br>Többfilmes módszer<br>Feketedés<br>Sugárforrás<br>Fókuszfolt méret „d”<br>Határenergia $E_G$<br>Szűrés<br>Filmosztály<br>Filmgyártó<br>Filmtípus<br>Fóliák, vastagságuk, csomagolásuk | Vizsgálatot végző<br>Vizsgálatot felügyelő<br>Vizsgálati dátum<br>Vizsgálati hely<br>Értékelő:<br>(vizsgálat felügyelő)<br>(megrendelő)<br>(illetékes szakértő)<br>Eredmények<br>Értékelés<br>Ellenőrző vizsgálatok<br>Javítások<br>Helyszín<br>Dátum |
|                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                  | Távolságok $f_{min}$<br>FSD<br>Geometriai életlenség<br>Besugárzási érték H<br>Besugárzási érték $t_B$<br>Besugárzások száma<br>Értékelhető terület L<br>IQI<br>IQI lokalizálás<br>előírt IQI<br>elért IQI<br>Eltérés az írásos instrukcióktól                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                       |

Példa hegesztési varrat vizsgálatáról készült jegyzőkönyvre:

| <b>ANYAGVIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV</b><br><b>RADIOGRÁFIAI ANYAGVIZSGÁLATRÓL</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------|----------|---------------------------------------|-----------------------------------------|----------|---|-------------|-----------------|-----------|---|----------|----------|----------|------------|-----|-----|---|-------------|-----------------|-----------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| a NAT által NAT-1-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |          |                              |          |                                       | számon akkreditált vizsgálólaboratórium |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Jegyzőkönyv száma:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |          | <b>-RT- -2013</b>            |          | <b>Jegyzőkönyv kelte:</b> 2013. . . . |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Vizsgálat ideje:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          | <b>2013. . . - 2013. . .</b> |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Alfanumerika</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |          |                              |          |                                       | <b>Varrat besorolás:</b> -              |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Megnevezés:</b> HEGESZTÉSI VARRAT radiográfiai vizsgálata                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Azonosító:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Megrendelő:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |          |                              |          |                                       | <b>Költséghely:</b>                     |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Munkaszám:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          |                              |          |                                       | <b>Anyagminőség:</b>                    |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Üzemi hőmérséklet:</b> °C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |                              |          |                                       | <b>Üzemi nyomás:</b> bar                |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Vizsgálat terjedelme:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Vizsgálati előírás:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Értékelési előírás:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Sugárforrás típusa:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |          |                              |          |                                       | <b>Készüléktípus:</b>                   |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Aktivitás:</b> GBq                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |          |                              |          |                                       | <b>Csőfeszültség:</b> kV                |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Sugárzó felület:</b> mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |          |                              |          |                                       | <b>Csőáram:</b> mA                      |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Film típusa:</b> AGFA D5+Pb                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |          |                              |          |                                       | <b>Fókusz méret:</b> mm                 |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Pozíció</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |          | <b>1</b>                     |          | <b>2</b>                              |                                         | <b>3</b> |   | <b>4</b>    |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Film elrendezés MSZ EN 1435 szerint</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Film-fókusz távolság</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Expozíciós idő</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>▲</th> <th>Felv. sz</th> <th>Varratsz</th> <th>Heg. jel</th> <th>Méret [mm]</th> <th>Poz</th> <th>IQI</th> <th>S</th> <th>Hiba jelleg</th> <th>Javítandó szak.</th> <th>Értékelés</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▼</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           | ▲ | Felv. sz | Varratsz | Heg. jel | Méret [mm] | Poz | IQI | S | Hiba jelleg | Javítandó szak. | Értékelés | ▼ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ▲                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Felv. sz | Varratsz                     | Heg. jel | Méret [mm]                            | Poz                                     | IQI      | S | Hiba jelleg | Javítandó szak. | Értékelés |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ▼                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Megjegyzés:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Értékelés:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Képi anyag:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Jegyzőkönyv státusza:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Értékelést végezte:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Vizsgálatot végezte:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Jóváhagyta: _____ Anyagvizsgáló: _____<br><br>ph.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| A jegyzőkönyvben foglalt vizsgálati eredmények csak a vizsgált mintára, terjedelemben vonatkoznak!<br>Ezt a jegyzőkönyvet a kiállító szervezet írásbeli engedélye nélkül csak teljes terjedelemben szabad másolni!<br>1. oldal                                                                                                                                                                                                                                    |          |                              |          |                                       |                                         |          |   |             |                 |           |   |          |          |          |            |     |     |   |             |                 |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |





## 6.7 A VIZSGÁLÓSZEMÉLYZET MINŐSÍTÉSE

### 6.7.1 A MINŐSÍTÉS ÉS TANÚSÍTÁS FILOZÓFIÁJA

Minden roncsolásmentes vizsgálati eljárás és módszer jól ismert fizikai elvekre épül. Alkalmazásukkal információk nyerhetők az ellenőrzött tárgy minőségéről. Az eredmények azonban nem közvetlen módon, hanem olyan közvetett formában jelennek meg, melyek az alkalmazás során nyert indikációknak – az alapul szolgáló fizikai elvek, az anyagminőség és a gyártási folyamat figyelembevételével végzett – általában szubjektív természetű értelmezését igénylik.

A vizsgálat és az értelmezés hatékonysága és megbízhatósága szempontjából döntő fontosságú a tevékenységért felelős szakemberek képzettsége. Összességében megállapítható, hogy a rendelkezésre álló technikák és roncsolásmentes vizsgálati technológiák alkalmazásával kapott eredmények néha meghatározó mértékben a vizsgáló ismereteitől és szakértelmétől függenek.

A nem szabályozott tartalommal végrehajtott oktatások miatt és a szakemberek műszaki képzettségének biztosítására vonatkozó igények ismeretében különböző szabványok készültek, meghatározva a roncsolásmentes vizsgálatokat végrehajtó személyek minősítésének és tanúsításának kritériumait.

A vizsgálószemélyzet bármilyen tevékenységre vonatkozó tanúsítványa olyan dokumentum, mely azt igazolja, hogy a tanúsítvány tulajdonosa rendelkezik a tanúsítványban felsorolt feladatok végrehajtásához szükséges ismeretekkel és készségekkel. A tanúsítvány annak az igazolása, hogy a tanúsított személy megfelel egy adott szabvány minimális követelményeinek, és emellett, e személy sikeresen letett egy olyan minősítő vizsgát, melyen ellenőrizték a tevékenységéhez szükséges szakismereteinek meglétét.

A roncsolásmentes vizsgálatok terén, a tanúsítvány megszerzéséhez azt kell igazolni, hogy a jelölt:

- ◆ elvégezte a speciális szakmai tanfolyamot,
- ◆ rendelkezik a követelményeknek megfelelő látásélességgel és színérzékeléssel,
- ◆ rendelkezik az előírt gyakorlati tapasztalattal (ipari jártassággal),
- ◆ megfelelt az (általános és szakterületi) elméleti és gyakorlati vizsgán.

Következésképpen, a tanúsítvány egyáltalán nem öncélú, hanem a sikeres vizsgával végződő képzés és a szerzett tapasztalatok eredménye, e folyamat egészének dokumentuma.

### 6.7.2 MINŐSÍTÉSI SZINTEK

Az RMV területén érvényes személytanúsítási szabványok – így a Magyarországon hatályos MSZ EN ISO 9712 jelű is – három minősítési-tanúsítási szintet határoz meg, melyek mind-egyikéhez különböző kompetenciákat rendel.



**6.7.2.1 1-ES SZINT**

Az 1-es szintre tanúsítandó személynek bizonyítania kell, hogy írott utasítások szerint és 2-es vagy 3-es szinten tanúsított személy felügyelete alatt képes roncsolásmentes vizsgálatok végrehajtására. A tanúsításban meghatározott kompetencia-tartományon belül, az 1-es szinten tanúsított személyt a munkáltató feljogosíthatja az alábbi feladatok vizsgálati utasítások szerinti elvégzésére:

- a) roncsolásmentes vizsgálati berendezés összeállítása, üzembehelyezése,
- b) a vizsgálat végrehajtás,
- c) a vizsgálatok eredményének rögzítése és írott kritériumok szerinti osztályozása,
- d) az eredmények vizsgálati jelentésbe/jegyzőkönyvbe foglalása.

Az 1-es szintre tanúsított személy nem felelős sem az alkalmazandó vizsgálati eljárás és módszer megválasztásáért, sem a vizsgálati eredmények értelmezéséért.

**6.7.2.2 2-ES SZINT**

A 2-es szintre tanúsítandó személynek bizonyítania kell, hogy képes roncsolásmentes vizsgálati technológiák szerint vizsgálatokat végrehajtani. A tanúsításban meghatározott kompetencia-tartományon belül a 2-es szinten tanúsított személyt a munkáltató feljogosíthatja:

- a) az alkalmazandó vizsgálati eljáráson belül a módszer megválasztására,
- b) a vizsgálati eljárás alkalmazásával kapcsolatos korlátok meghatározására,
- c) roncsolásmentes vizsgálati szabályzatok (kódok), szabványok, előírások és vizsgálati technológiák alapján a tényleges feladathoz és munkafeltételekhez illeszkedő vizsgálati utasítások elkészítésére,
- d) a vizsgáló berendezés beállítására és ellenőrzésére,
- e) a vizsgálatok végrehajtására és felügyeletére,
- f) az eredmények megfelelő kódok, szabványok, előírások vagy vizsgálati technológiák szerinti értelmezésére és értékelésére,
- g) az összes 2-es vagy az alatti szintű feladat végrehajtására és felügyeletére,
- h) 2-es vagy az alatti szinten tanúsított személyek irányítására,
- i) a roncsolásmentes vizsgálatok eredményeinek jelentésbe/jegyzőkönyvbe foglalására.

**6.7.2.3 3-AS SZINT**

A 3-as szintre tanúsítandó egyénnek bizonyítania kell, hogy képes a tanúsítás tárgyát képező roncsolásmentes vizsgálatok végrehajtására és irányítására. A 3-as szintű személy bemutatta, hogy

- a. képes az eredményeket a vonatkozó szabványok, kódok és előírások szerint értékelni és értelmezni,
- b. elegendő gyakorlati ismerettel rendelkezik az alkalmazható anyagok, termékek, gyártási technológiák és eljárások terén ahhoz, hogy kiválassza az RMV-eljárást, meghatározza az RMV-módszert és közreműködjön az elfogadási kritériumok meghatározásában – ha ezek hiányoznak –, és



- c. általánosságban jól ismer más RMV-eljárásokat is.
- d. A tanúsításban meghatározott kompetencia-tartományon belül a 3-as szinten tanúsított személy feljogosítható az alábbiakra: a) teljes felelősségvállalás egy vizsgáló laboratóriumért vagy vizsgaközpontért és annak személyzetéért.
- e. RMV-utasítások és technológiák készítése, szerkesztése, nyelvhelyességi és műszaki felülvizsgálata, valamint jóváhagyása és validálása,
- f. szabványok, szabályzatok (kódok), előírások és technológiák értelmezése,
- g. az alkalmazandó vizsgálati eljárások, technológiák és utasítások meghatározása,
- h. bármilyen szintű feladat végrehajtása és felügyelete,
- i. bármely szinten tanúsított vizsgálószemélyzet irányítása.

### 6.7.3 AZ MSZ EN ISO 9712 JELŰ SZABVÁNY

Sok éven át két különböző, harmadik fél általi tanúsításra épülő rendszer (ld. 10.1.4. pont) létezett, az ISO 9712 és az EN 473 szabvány szerinti. 2009-ben a két, illetékes műszaki bizottság (ISO/TC 135 és CEN/TC 138) megvizsgálta ezeket a szabványokat és úgy döntött, hogy közös munkával egy egysített szabványt hoz létre. Ebben a munkában több mint húsz ország vett részt, aminek eredményeként 2012 júniusában kiadták az új ISO 9712, illetve az EN ISO 9712 jelű szabványt, melyek hatálytalanítják és helyettesítik a korábbi szabványokat. 2013 januárjától Magyarországon is ez a roncsolásmentes vizsgálat terén érvényes személy-tanúsítási szabvány, MSZ EN ISO 9712 jelzettel.

E szabvány meghatározza, hogy a tanúsításokkal kapcsolatos munkát az EN ISO/IEC 17024 jelű szabvány szerint működő tanúsító testületnek kell irányítania. Számba veszi azokat az eljárásokat, amelyekre alkalmazni lehet, és hangsúlyozza, hogy a szabványban leírt szabályok követésével más eljárásokra és módszerekre is kiterjeszthető a tanúsítás. Ezzel kapcsolatban a szabvány útmutatásként a CEN/TR 14748 jelű, „Roncsolásmentes vizsgálatok minősítésének módszertana” című műszaki jelentésre is utal.

A jóváhagyott szöveg mind az ISO-, mind az EN ISO-szabványban azonos, bár az utóbbihoz egy ZA-melléklet is tartozik, ami a 97/23/CE „Nyomástartó edények európai direktívája” című irányelv alapvető követelményeivel és egyéb szempontjaival kapcsolatos szabványfejezeteket sorolja fel.

Eljárásrendjein keresztül minden egyes tanúsító testület meghatározza azokat a specifikus követelményeket, amelyeket a tanúsításra jelölt személyeknek teljesíteniük kell. Ezért mind a tanúsítási szabvány, mind a tanúsító testület eljárásainak tanulmányozása feltétlenül ajánlott.



## 6.7.4 TANÚSÍTÁSI RENDSZEREK

### 6.7.4.1 MÁSODIK FÉL ÁLTALI TANÚSÍTÁS

Ebben az esetben az a vállalat adja ki a tanúsítványt, ahol a roncsolásmentes anyagvizsgáló (alkalmazottként) dolgozik. Ehhez a vállalatnak írott eljárásrenddel kell rendelkeznie, ami az alkalmazandó tanúsítási szabványon, valamint a minőségügyi kézikönyvön alapul.

A tanúsítást egy 3-as szintre minősített személynek kell irányítania, aki lehet a vállalat alkalmazottja vagy alvállalkozója.

E rendszer fő előnye az, hogy ezzel a vállalat vizsgálószemélyzetét (elsősorban) a helyi, specifikus feladatokra minősíthetik.

### 6.7.4.2 HARMADIK FÉL ÁLTALI TANÚSÍTÁS

Ezt (vállalatoktól) független tanúsító testület végzi. E rendszer számos előnnyel jár, jellemzői a következők:

- ◆ Nemzetközi szabványnak felel meg.
- ◆ Nemzetek fölött álló szervezetek által kidolgozott képzési programokat alkalmaz. Ennek példája a CEN ISO/TR 25107 jelű műszaki útmutató.
- ◆ Az elméleti és gyakorlati vizsgafeladatok kidolgozása és a vizsgák lebonyolítása független tanúsító testületek ellenőrzése alatt áll.
- ◆ A független tanúsító testületek rendszerint kapcsolatot tartanak fenn a nemzeti RMV-szervezetekkel, melyek egyben nemzetközi csoportok – például az ICNDT (International Committee for NDT, azaz Nemzetközi Roncsolásmentes Vizsgáló Bizottság), vagy az EFNDT (European Federation for NDT, azaz Európai Roncsolásmentes Vizsgáló Szövetség) tagjai. Az említett szervezetek a tagországokban kibocsátott tanúsítványokra vonatkozóan kölcsönös elismerési megállapodást kötöttek.
- ◆ A tanúsító testületeknek a tanúsítvány megszerzésének, fenntartásának, megújításának és a visszavonásának kritériumait meghatározó eljárásrendekkel kell rendelkezniük.
- ◆ A tanúsító testületeknek a tanúsításra pályázó és a már tanúsított személyektől, azok munkáltatóitól és ügyfeleitől függetlennek és pártatlannak kell lenniük. A testületek szervezeti felépítésének védenie kell a testület pártatlanságát és lehetővé kell tennie az összes érintett fél részvételét, bármilyen egyedi érdek előnyben részesítése nélkül.
- ◆ A tanúsításról döntő személyeknek nem kell részt venniük a jelölt képzésében és vizsgáján.
- ◆ Specifikusabb tanúsításokat is lehetővé tevő, összehangolt közös alapot biztosít.
- ◆ A tanúsítási szabvány megköveteli, hogy a független tanúsító testületek az EN ISO/IEC 17024 jelű, „Megfelelőség értékelés. Személyek tanúsítását végző testületek általános követelményei” című szabvány előírásai szerint tevékenykedjenek.



- ◆ A tanúsító testületek akkreditálását független, többségében a különböző országok kormányai által elismert akkreditáló intézmények végzik, melyek nemzetközi csoportok – például az IAF (International Accreditation Forum, azaz Nemzetközi Akkreditációs Fórum), vagy az EA (European co-operation for Accreditation, azaz Európai Akkreditációs Együttműködés) – tagjai. Az utóbbi a tagok közötti kölcsönös elismerési megállapodást tart fenn.

#### 6.7.5 TANÚSÍTÁSI KÖVETELMÉNYEK

A tanúsítvány megszerzésének feltétele általában minden szabvány és rendszer esetében a 6.7.1. pontban felsorolt követelmények teljesítése. Ezek a következőképpen csoportosíthatók és foglalhatók össze röviden:

##### 6.7.5.1 SZAKMAI OKTATÁS

A tanúsítási szabványok olyan minimális szakmai képzést írnak elő, mely a hallgató számára biztosítja a fizikai alapelvek megértését, a vizsgálati technikák, a használt berendezések, anyagok és a keletkező indikációk megismerését, valamint az eredmények rögzítésének és a vizsgálati jelentések/jegyzőkönyvek elkészítésének megtanulását. E szabványok általában útmutatást adnak az ajánlott képzési programokra is, mint például:

- ◆ CEN ISO/TR 25107 – „Roncsolásmentes vizsgálat. Útmutatók RMV képzések tananyagaihoz”, kiadó: Európai Szabványügyi Bizottság (CEN).
  - ◆ IAEA-TECDOC-628 Rev. 2 – „Roncsolásmentes vizsgálati technikák oktatási irányelvei”, kiadó: Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA).
  - ◆ ANSI/ASNT CP-105 – „ASNT Szabvány – Tematikai vázlat roncsolásmentes vizsgáló személyzet minősítéséhez”, kiadó: Amerikai Roncsolásmentes Vizsgálati Társaság (ASNT).
- Ezek a dokumentumok a képzések mindhárom szintjének azt a minimális időtartamát is megadják, ami ahhoz szükséges, hogy a hallgatók megszerezzék az elvárt szintű ismereteket, és az oktatási célok teljesülése is ellenőrizhető legyen.

##### 6.7.5.2 MEGFELELŐ LÁTÁSÉLESSÉG ÉS SZÍNÉRZÉKELÉSI KÉPESSÉG

Mivel a szem az a „műszer”, amivel az észlelt indikációkra vonatkozó legtöbb információ megszerzhető, ezért az összes tanúsítási szabvány előírja, hogy a közellátást és a színlátást – előbbit évente – ellenőrizni kell.



#### 6.7.5.3 GYAKORLATI TAPASZTALAT (IPARI JÁRTASSÁG)

A tanúsító rendszerekben közös az is, hogy a tanúsítás előtt – és a szabványok többsége esetében még a vizsgára bocsátás előtt – igazolni kell azt, hogy a jelölt rendelkezik az előírt minimális gyakorlati tapasztalattal abban az eljárásban és azon a szakterületen, amelyre vonatkozó tanúsítványért folyamodott.

A tapasztalatra (jártasságra), valamint az oktatásra vonatkozó követelmények attól függenek, hogy milyen eljárásból és milyen szintre kíván tanúsítványt szerezni a jelentkező.

#### 6.7.5.4 MINŐSÍTŐ VIZSGA

A roncsolásmentes vizsgálatokat végrehajtó személyzet tanúsításában három szempontot kell figyelembe venni, melyeket természetesen a tanúsítási szinthez kell illeszteni:

1. A tanúsítani kívánt eljárás általános ismerete, azaz a fizikai elvek, a berendezések és felszerelések, a vizsgálati technikák, a vizsgálat tárgyát képező termékek és az ezekben jellemzően előforduló folytonossági hiányok, a folytonossági hiányok osztályozásának és értékelésének, a vizsgálati jelentés, a minőségi és biztonsági szempontok, valamint az új fejlesztések ismerete.

Az általános vizsgának az eljárástól és szinttől függő minimális számú, általában teszt típusú, erre a célra összeállított kérdésbankból véletlenszerűen kiválasztott kérdést kell tartalmaznia.

2. Szakterületi ismeretek, melyek az eljárásnak egy bizonyos területre (mely lehet iparág, vagy termékterület) való alkalmazására vonatkoznak. Ezek az ismeretek számos tudnivalóra – például szabványokra, kódokra, munkadarabok típusaira, a keresett folytonossági hiányokra, továbbá a termelési folyamat (gyártás vagy üzemelés) azon állomásaira, melyekben a vizsgálatra sor kerül – kiterjednek, ezért ezeket a vizsga végrehajtásakor meg kell határozni.

A szakterületi vizsgának az eljárástól és szinttől függő minimális számú, általában teszt típusú, erre a célra összeállított kérdésbankból véletlenszerűen kiválasztott kérdést kell tartalmaznia. A kérdések vonatkozhatnak számításokra, valamint szabványokra és specifikációkra is.

3. Gyakorlati készségek és ismeretek, melyek a szakterület termékeinek vagy az onnan származó, reprezentatív mintáknak a vizsgálatához szükségesek.

Ez a vizsga annak felmérésére szolgál, hogy a jelölt képes-e a megfelelő módszer alkalmazásával, az adott tárgyban lévő folytonossági hiányok felismerésére és az észlelt indikációk jegyzőkönyvben való leírására. Továbbá, a megcélzott minősítési szintnek megfelelően, képes-e a jelölt a vizsgált tárgy meghatározott kritériumok szerinti elfogadására vagy visszautasítására, az erre vonatkozó véleménye megfogalmazására.

A gyakorlati vizsga során az előírt számú próbatesten végre kell hajtani a vizsgálatot, rögzíteni kell (2-es szintű jelölteknek értelmezni és értékelni is kell) az észlelt indikációkat, valamint a vizsgálatról és annak eredményéről összefoglaló jelentést kell készíteni. Ezen felül, a 2-es szintű jelölteknek vizsgálati utasítást kell megfogalmazniuk 1-es szintű vizsgálók számára.



#### 6.7.5.5 A 3-AS SZINTŰ JELŐLTEK VIZSGÁJA

A 3-as szintű tanúsítás megszerzése érdekében a jelölteknek három vizsgacsoportot kell teljesíteniük:

1. Gyakorlati vizsga próbatestek használatával: Minden 3-as szintű tanúsításra pályázó jelöltnek le kell tennie az érintett eljárásra és szakterületre vonatkozó, 2-es szintű gyakorlati vizsgát, kivéve az 1-es szintű vizsgálók számára készítendő vizsgálati utasítás megírását.
2. Alapvizsga: Ez minden eljárás esetében közös. Ha a jelölt nem szerzett más eljárásból 3-as szintű tanúsítást, vagy nem tette le ezt a vizsgát az előző öt évben, akkor vizsgáznia kell. Ez a vizsga a 3-as szintű tanúsításért folyamodók ismereteit, teszt típusú kérdések segítségével, az alábbi három szempont szerinti hivatott értékelni:
  - ◆ „A” rész: Anyagtudományi és gyártástechnológiai ismeretek, valamint a lehetséges folytonossági hiányok ismerete.
  - ◆ „B” rész: A tanúsító testület által alkalmazott, a tanúsítási szabványra alapozott, minősítési és tanúsítási eljárás ismerete. E vizsgához a szabvány használható.
  - ◆ „C” rész: legalább négy eljárás 2-es szintű, általános ismerete. A négy eljárást a vizsgázó választja ki, de ezek egyikének térfogati vizsgáló eljárásnak (RT vagy UT) kell lennie.
3. Fővizsga: Ez a vizsga az 1-es és 2-es szintű tanúsításnak megfelelő felépítésű és három részre tagolódik:
  - ◆ „D” rész: Az eljárás, amelyre a megpályázott tanúsítvány vonatkozni fog, általános vizsgája, a már leírt, a minősítés szintjének megfelelő tartalommal.
  - ◆ „E” rész: Szakterületi vizsga az eljárásnak az érintett ágazatban és/vagy termékekre való használatáról, ami kiterjed kódok, szabványok és specifikációk alkalmazására is. A vizsga alatt a jelölt használhatja a fenti referenciadokumentumokat.
  - ◆ „F” rész: Gyakorlati vizsga, ami az eljárásnak az adott szakterületen való valamely alkalmazásához használandó vizsgálati technológia megírásából áll. Az ehhez szükséges kódokat, szabványokat és specifikációkat a jelölt rendelkezésére kell bocsátani.

#### 6.8 A DOKUMENTUMOK NYOMONKÖVETHETŐSÉGE

Nemzetközi definíciók szerint a nyomonkövetés olyan intézkedések és módszerek összessége, melyek lehetővé teszik az egyes dokumentumok nyilvántartásba vételét és azonosítását, azok keletkezésétől a végső célállomásig. A dokumentumokat a termelés és elosztás folyamán lépésről-lépésre követik, olyan előre meghatározott eljárásrendek segítségével, melyek megfelelő eszközök használata révén biztosítják a dokumentumok történetének, információtartalmának, helyének és útvonalának bármikor történő megismerését. A dokumentumok rendszerint olyan egyedi kóddal rendelkeznek, melyek révén azok bárhol és bármikor azonosíthatók. Összegezve, ez nem más, mint a dokumentum útját



meghatározó egyes tevékenységek mindenre kiterjedő nyilvántartása, a dokumentum keletkezésétől a végső felhasználóhoz való megérkezéséig.

A nyomon követhetőség úgy is definiálható, mint a figyelembe vett dolgok történetének, alkalmazásának, módosításának vagy helyének követési lehetősége.

Különbéle ipari termékek gyártására vonatkozó, műszaki dokumentumok esetében a nyomon követhetőség például az alábbiakra vonatkozhat:

- ◆ az anyagok és alkatrészek eredete,
- ◆ a feldolgozás története,
- ◆ a dokumentum továbbítása és helye a leszállítást követően.

Az illetékes szervezetnek a gyártás teljes folyamata során megfelelő eszközökkel azonosítani kell a dokumentumokat és a nyomon követhetőség érdekében gondoskodnia kell azok egyedi azonosítóinak ellenőrzéséről és nyilvántartásáról. A szervezetnek meg kell határoznia a dokumentumok azon állapotát is, melyhez valamilyen tennivaló és mérési követelmény társul.

Léteznek olyan dokumentumok, melyeket készítésük és tárolásuk során szigorú ellenőrzés alatt kell tartani. Ez nagyon jellemző egyes ágazatokra, például a hadi-, elektronikai-, nukleáris-, szoftver- és repüléstechnikai iparra.





## 7. SUGÁRVÉDELMI SZEMPONTOK

Függetlenül az adott tevékenységtől/feladattól, minden dolgozónak úgy kell végrehajtania a saját kötelezettségeit, hogy azok összhangban legyenek a szóban forgó munkavégzésnek helyet adó létesítményekre vonatkozóan meghatározott egészségügyi és biztonsági alapelvekkel.

Ebben az értelemben a szakmai tevékenységük során ionizáló sugárzással dolgozó személyzet tagjainak el kell fogadniuk és teljesíteniük kell az illetékes hatóság által a sugárvédelemre vonatkozóan előírt szabályokat és rendelkezéseket.

A radiográfiai vizsgálati módszer alkalmazásával történő roncsolásmentes anyagvizsgálat esetében, az ilyen tevékenységet végző személyzet minősítési eljárásával kapcsolatban az MSZ EN ISO 9712 szabvány előírja, hogy „Ha a nemzeti jogi szabályzás másként nem rendelkezik, akkor a radiográfiai vizsgálati eljárás esetében kiegészítő vizsgát kell tenni sugárvédelemből is.” Azaz az ipari radiográfia szakterületen belül a szakmai tevékenységükből adódóan ionizáló sugárzásoknak kitett személyzet tagjainak le kell tenniük egy radiográfiai biztonsági vizsgát is, amely a radiográfiai vizsgálatához szükséges – az MSZ EN ISO 9712 szerinti – minősítő vizsgáktól független.

Ezen fejezet célja, hogy általános áttekintést adjon az ionizáló sugárzásoknak kitett személyek sugárterhelésére, a sugárzás kockázataira, a sugárvédelemre és a sugárvédelemben érintett nemzetközi szervezetekre vonatkozóan.

Kiindulási pontként meg kell említeni, hogy az ionizáló sugárzás légkörben és munkahelyeken való jelenléte ártalmas lehet az élőlények egészségére, különös tekintettel az emberek egészségére.

Az élőlények állandó jelleggel ki vannak téve a természetes sugárforrások hatásainak. Ezek a természetes sugárzások származhatnak az űrből, kozmikus sugárzások formájában, vagy a földből a földkéregben jelenlevő természetes radionuklidok jelenlétének következményeként. Ezek a természetes sugárforrások hozhatók kapcsolatba a külső sugárterhelésként ismert jelenséggel.

A belső sugárterhelés kockázatával is számolni kell; a belső sugárterhelés a levegőben, vízben vagy élelmiszerben található radioaktív anyagok jelenlétének következménye, amelyek étkezés vagy lélegzés útján kerülhetnek be az élőlények szervezetébe.

A természetes sugárzás által okozott elkerülhetetlen sugárterhelésen kívül az élőlények akarva vagy akaratlanul ki vannak téve röntgensugárzásnak, vagy a mesterséges radionuklidok által generált mesterséges sugárzásnak. A szóban forgó sugárterhelés annak tudható be, hogy az ionizáló sugárzások napjainkban igen sokféle módon alkalmazzák és használják fel. A felhasználási területek közül kiemelkedik a gyógyszeripar, a mezőgazdaság és élelmiszeripar, valamint a villamos-energiatermelés, az anyagvizsgálati alkalmazás, illetve az ipari felhasználás. Az ipari radiográfia – mint egy roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer – a sugárzás ipari felhasználására vonatkozó példa.

Következésképpen – a fentiek kiegészítéseként és tisztázásaként – az ionizáló sugárzások jelenlétével járó kockázatok egy adott területen a következőképpen oszthatók: besugárzási kockázatok és kontaminációs kockázatok.



A besugárzás az a folyamat, melynek során adott sugárzóanyag vagy radionuklid marad adott energiamennyiségben egy konkrét organizmuson belül.

A kontamináció a definíció szerint radionuklidok nemkívánatos jelenléte emberi szervezetben (személyi kontamináció) vagy a környezetben (környezeti kontamináció). Végül, ahogy az korábban már említésre került, a kontamináció lehet belső vagy külső, attól függően, hogy a radionuklidok a bőrben maradnak vagy bekerülnek az emberi szervezetbe (élelmiszeren, italon, belégzésen vagy bármely meglévő sérülésen keresztül).

Az ipari radiográfia során nagyobbak a besugárzási kockázatok, bár radioaktív források alkalmazása esetén időszakosan teszteket kell végrehajtani a légmentes zárás ellenőrzése céljából annak érdekében, hogy a légmentes forrás esetleges hibája miatt ne léphessen fel kontamináció.

## 7.1 SUGÁRZÁSI HATÁSOK

A biológiai hatások azon anyag ionizációjának következményeként alakulnak ki, amelyen az ionizáló sugárzások áthatolnak. Az ionizáló sugárzások biológiai hatásai az élő anyagban végbemenő atom- és molekula átalakulás a következményei, amely átalakulás egy egyén DNS-ének módosulását vagy mutációját okozhatja. Ezek a mutációk lehetnek jóindulatúak, amelyek semmiféle hatást nem gyakorolnak az adott egyén egészségére, vagy akár előidézhetnek genetikai vagy rákkeltő betegségeket.

Az ionizáló sugárzásnak való kitettség okozta biológiai hatások a következőképpen csoportosíthatók: determinisztikus hatások és sztochasztikus hatások.

A determinisztikus hatások azok, amelyek egy küszöb-sugárdózis túllépése után lépnek fel. A determinisztikus hatások súlyossága egyenesen arányos a besugárzási dózissal.

Asztochasztikus hatás rákot vagy örökletes betegségeket okozhat, bár ezen hatásokra vonatkozóan nincs küszöb dózisszint. Annak ellenére, hogy ennek a hatásnak az előfordulási valószínűsége függ a dózistól, a súlyosságát nem befolyásolja a dózis.

A sugárzási egységeinek három típusát különböztetjük meg: a besugárzásra jellemző egységek, az elnyelt dózissra vonatkozó egységek és egyenérték egységek. Az első két típus bemutatása már korábban megtörtént, következésképpen itt csak az egyenérték mértékegységek kiegészítéseként kerülnek megemlítésre; sugárvédelmi szempontból az egyenérték mértékegységek érdekesebbek.

### 7.1.1 A BESUGÁRZÁSI DÓZIS

A besugárzási dózis mértékegységei azok, amelyek egy sugárnyaláb levegőbeli ionizáló képességének értékelésére szolgálnak. A besugárzás mérésére használt mértékegységek a következők: röntgen (R), mint a hagyományos mértékegység és coulomb/kg (C/kg), mint a Nemzetközi Mértékrendszerből származó mértékegység.



### 7.1.2 AZ ELYNYELT DÓZIS

Az elnyelt dózis a radioaktív sugárzásnak kitett test (vagy organizmus) egységnyi tömege által elnyelt energia. Az elnyelt dózis mérésére használt mértékegységek a következők: gray (Gy) vagy J/kg, mint a Nemzetközi Mértékrendszerből származó mértékegység és a rad, mint hagyományos mértékegység. Közöttük az ekvivalencia:  $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ .

### 7.1.3 EGYENÉRTÉK MÉRTÉKEGYSÉGEK

Az elnyelt dózis ismerete nem elegendő a sugárzás által indukált biológiai hatás kifejezésére, mivel ez a hatás a sugárzás típusától és energiájától függ, valamint a sugárzásnak kitett szövetből. Ezen aspektusok figyelembevétele érdekében, két új mennyiség kerül bevezetésre: az egyenértékű dózis és az effektív dózis.

#### 7.1.3.1 EGYENÉRTÉK DÓZIS ( $H_{T,R}$ )

Egy szerv vagy egy szövet (T) által elnyelt dózis, a sugárzás (R) típusától és minőségétől függően súlyozva. Mértékegysége a Nemzetközi Mértékrendszer szerint sievert (Sv), hagyományos mértékegysége pedig a rem (röntgen-emberegyenérték). Átváltás:  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ .

Ezt az alábbi egyenlet fejezi ki:

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R}$$

Ahol:

$H_{T,R}$  = Egyenértékű dózis a szervben vagy szövetben.

$D_{T,R}$  = Az adott szervben vagy szövetben az R sugárzásból származó átlagos elnyelt dózis.

$W_R$  = Sugárzási súlytényező.

Az egyenértékű dózis értéke – a sugárvédelem szempontjából – lehetővé teszi azzal az eltérő sérüléssel való összehasonlítást, amit ugyanazon elnyelt dózis indukálhat egy szervben vagy szövetben, a sugárzás típusától és energiájától függően.



7.1. táblázat: Sugárzási súlytényezők ( $W_R$ )

| Energiatípus és tartomány                           | $W_R^1$ |
|-----------------------------------------------------|---------|
| Fotonok, összes energia                             | 1       |
| Elektronok és müonok, összes energia <sup>2</sup>   | 1       |
| Neutronok, energia < 10 keV                         | 5       |
| 10 keV–100 keV                                      | 10      |
| > 100 keV–2 MeV                                     | 20      |
| > 2 MeV–20 MeV                                      | 10      |
| > 20 MeV                                            | 5       |
| Protonok, nem ütközési protonok > 2 MeV             | 5       |
| Alfa-részecskék, hasadási termékek, nehéz nukleonok | 20      |

<sup>1</sup> Az összes érték a testre beeső sugárzásra vonatkozik, vagy – ha a források belsők – a forrásból kibocsátott sugárzásra

<sup>2</sup> Kivéve a DNS-be emittált Auger-elektronokat

### 7.1.3.2 EFFEKTÍV DÓZIS ( $E$ )

A test különböző szerveit és szöveteit belső és külső besugárzás következtében érő egyenérték-dózisok súlyozott összege. Ez az a mértékegység, amit a munkájukból adódóan sugárzásnak kitett személyzet esetében a havonta mért hivatalos dózis megállapítására használnak. Az effektív dózist sievert (Sv)-ben is mérik és az alábbi egyenlettel fejezik ki:

$$E = \sum W_T \cdot H_T$$

Ahol:

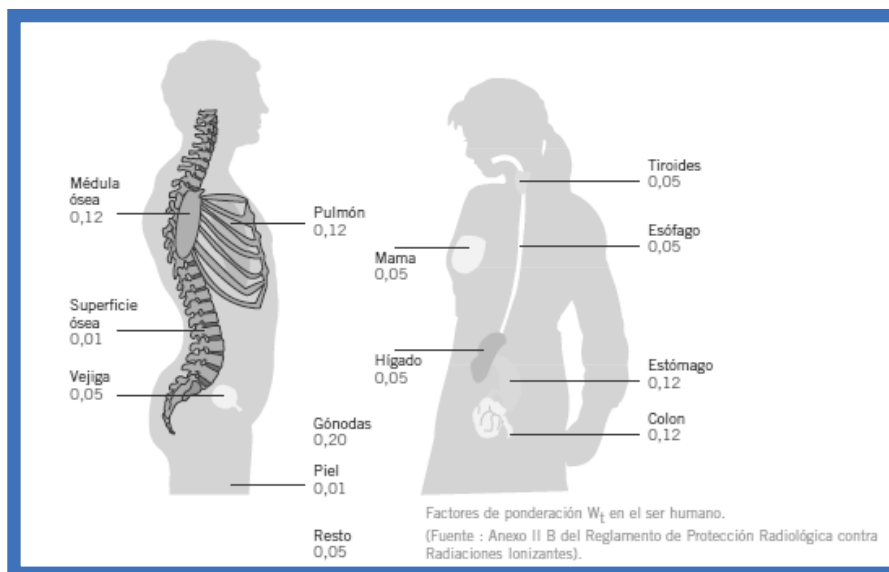
$E$  = Effektív dózis.

$H_T$  = Egyenérték dózis a szervben vagy szövetben.

$W_T$  = Szövet vagy szerv súlyozási tényező.

Az effektív dózis értéke ( $E$ ) az emberi szervezetet érő kockázatok összességére vonatkozóan ad információt.



7.1. ábra. Az emberre vonatkozó súlyozási tényezők,  $W_T$ 

## 7.2 SUGÁRZÁSNAK KITETT SZEMÉLYZET AZONOSÍTÁSA

Ahogy azt korábban már láttuk, kisebb vagy nagyobb mértékben mindenki ki van téve az ionizáló sugárzások hatásainak. Ezért a sugárzások hatásainak kitett személyeket három csoportba soroljuk attól függően, hogy milyen kapcsolatba kerülnek az ionizáló sugárzásokkal: sugárzásnak kitett dolgozók, lakosság tagjai és páciensek.

A sugárzásnak kitett dolgozók azok az emberek, akik a munkájuk során sugárterhelésnek vannak kitéve. A lakosság tagjai csoportba tartozik általában minden olyan személy, aki azért van kitéve sugárterhelésnek, mert azon a területen, ahol él, sugárforrások találhatók. A páciensek közé azok az emberek tartoznak, akik sugárzással végrehajtott orvosi diagnosztika vagy kezelés következményeként vannak kitéve a sugárzás hatásainak.

## 7.3 SUGÁRVÉDELMI ALAPELVEK

A sugárvédelem célja az egyének, azok utódainak és az emberiség egészének védelme azon tevékenységekből származó veszélyekkel és kockázatokkal szemben, amely tevékenységek – a felhasznált berendezések és anyagok miatt – az ionizáló sugárzások hatásainak való kitettséggel járnak.

A sugárvédelemnek megfelelő szintű védelmet kell biztosítani az emberek és a környezet számára anélkül, hogy hátrányosan korlátozná a sugárzás használatából származó előnyöket. Következésképpen megállapítható, hogy a sugárvédelem célja egyrészt a determinisztikus hatások megakadályozása, másrészt a sztochasztikus hatások megjelenésének korlátozása a lehető legnagyobb mértékben. A sugárvédelem alapelvei az indokoltság, az optimalizálás, valamint a dózis- és kockázat-korlátozás.

Az indokoltági alapelv azon a tényen alapul, hogy olyan munkaműveletet nem szabad végezni, amely ionizáló sugárzásnak való kitettséggel jár, de a sugárzás maga nem jár pozitív tiszta haszonnal, előnnyel.

Az optimalizálási vagy ALARA-elv (az észszerűen elérhető legalacsonyabb szint) azon a tényen alapul, hogy – társadalmi és gazdasági tényezőket is figyelembe véve – az összes dózist az észszerűen elérhető legalacsonyabb szinten kell tartani. Ez azon a koncepción alapul, hogy potenciálisan minden dózis ártalmas, ebből adódóan a meghatározott korlátokon belül tartásuk nem elegendő. A dózist egy észszerű maximum értékre kell csökkenteni.

A személyi dózisterhelés nem lépheti túl a nemzeti előírásokban, rendelkezésekben rögzített határértékeket. Ennek érdekében, az ICRP dóziskorlátokat határozott meg, amelyek bekerültek az Európai Unió Sugárvédelmi Direktívájába is és azokat az összes tagállam átvette. Ezeket a korlátokat tartalmazza az alábbi 7.2. táblázat:

7.2. táblázat. Személyizetre meghatározott dóziskorlát

|                                                  | Sugárzásnak kitett dolgozók    | Lakosság  |
|--------------------------------------------------|--------------------------------|-----------|
| Effektív dózis                                   | 100 mSv/5 év                   |           |
| maximum 50 mSv/év                                | 1 mSv/év                       |           |
| Ekvivalens dózis a szemlencsére                  | 150 mSv/év                     | 15 mSv/év |
| Ekvivalens dózis a bőrre és a végtagokra         | 500 mSv/év                     | 50 mSv/év |
| <b>Speciálisan engedélyezett sugárterhelések</b> |                                |           |
| Sugárzásnak kitett terhes dolgozók               | 1 mSv/terhesség <sup>(1)</sup> |           |
| Szakképzésben résztvevők és diákok               | 6 mSv/év                       |           |

<sup>(1)</sup> A születendő gyermekre vonatkozó dózis, a terhesség bejelentésétől a terhesség végéig

#### 7.4 SUGÁRVÉDELMI INTÉZKEDÉSEK ÉS ALKALMAZÁSUK

Célkitűzésének elérése érdekében, a sugárvédelem az alábbiakon alapuló rendszerként funkcionál:

1. Az esetlegesen előforduló sugárterhelés jellegének azonosítása (tervezett, üzemzavari vagy meglévő).
2. Az érintett személyek besorolása a következő kategóriákba: sugárzásnak kitett dolgozók, a lakosság egésze és páciensek.
3. Az ellenőrző intézkedések értékelése és gyakorlati megvalósítása.



A személyzet sugárterhelésének korlátozásához szükséges intézkedések fogatosítása a sugárzást kibocsátó forrásra, a környezetre és magukra a sugárterheléssel érintett dolgozókra irányuló intézkedések gyakorlati megvalósításával történik.

Ezen intézkedések közül először a sugárforrásra irányuló ellenőrző intézkedéseket kell megvalósítani, mivel el kell kerülni vagy minimalizálni kell a környezeti sugárzás azon kockázatait, amelyek az egyénre is hatással lehetnek.

Az ipari radiográfia esetében – akár röntgensugarakat, akár gammasugárforrásokat alkalmaznak – amikor a vizsgálatok árnyékolt létesítményekben vagy bunkerekben kerülnek végrehajtásra, akkor a sugárforrásra irányuló említett ellenőrzés meglehetősen egyszerű.

Ezzel szemben, amikor helyszíni vizsgálatokra kerül sor, akkor a sugárforrás ellenőrzésére irányuló intézkedés kevésbé lesz hatékony és a személyzet védelmét biztosító további intézkedéseket kell alkalmazni. Ez az oka annak, hogy amikor a személyzet védelmét biztosító intézkedések végrehajtására van szükség, akkor ez általános védelmi intézkedések alkalmazásával történik **távolság, idő és árnyékolás** szempontok szem előtt tartásával.

#### 7.4.1 TÁVOLSÁG

A sugárforrástól a lehető legnagyobb távolságot kell biztosítani. A kezelő és a sugárforrás közötti távolság növelésével a sugárterhelés a sugárforrás és a kezelő vagy a sugárterhelésnek kitett dolgozók közötti távolság négyzetével arányosan csökken.

#### 7.4.2 IDŐ

Minél rövidebbnek kell lennie. A sugárterhelési idő csökkentése esetén, az elnyelt dózis a sugárterhelési idővel arányosan fog csökkenni.

#### 7.4.3 ÁRNYÉKOLÁS

Amikor a távolság növelése és az idő csökkentése (gyakorlati vagy műszaki akadályok következtében) nem elegendő, akkor a kezelő – vagy a sugárterhelésnek kitett dolgozók – és a sugárforrás közötti árnyékolásként csillapító anyagot kell alkalmazni.

A sugárterhelésnek kitett dolgozókkal kapcsolatos intézkedések megelőző intézkedések- és felületesi intézkedések kategóriákba vannak felosztva, és az alábbi 7.3. táblázatban kerültek összefoglalásra:



7.3. táblázat. Sugárvédelmi intézkedések

|                          |                                                            |                  |                                 |
|--------------------------|------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------|
| Megelőző intézkedések    | Munkahely azonosítás                                       |                  |                                 |
|                          | Munkahely osztályba sorolás                                |                  |                                 |
|                          | Munkahely jellemzése és figyelmeztető jelzések elhelyezése | Felügyelt zóna   |                                 |
|                          |                                                            | Ellenőrzött zóna | Korlátozottan kezelhető terület |
|                          |                                                            |                  | Kezelhető terület               |
|                          |                                                            |                  | Nem kezelhető terület           |
|                          | Bejárás, belépés ellenőrzése                               |                  |                                 |
|                          | Dolgozók kategorizálása, osztályba sorolása                |                  |                                 |
|                          | Dolgozók tájékoztatása és képzése                          |                  |                                 |
| Felügyeleti intézkedések | A munkakörnyezet felügyelete                               |                  |                                 |
|                          | Dozimetriai felügyelet                                     |                  |                                 |
|                          | Orvosi felügyelet                                          |                  |                                 |

## 7.4.4 MUNKAHELYEK OSZTÁLYBA SOROLÁSA ÉS FIGYELMEZTETŐ JELZÉSEK

A munkahelyek osztályba sorolása az éves várható dózismennyiségtől és a kontaminációtól vagy a potenciális sugárterheléstől függően történik. A munkahelyek felügyelt zónára és ellenőrzött zónára vannak felosztva.

Az ellenőrzött zónán belül további három kategóriát különböztetünk meg: korlátozottan kezelhető terület, kezelhető terület és nem kezelhető terület. Az alábbi 7.4. táblázat az ezen területekre vonatkozóan előírt korlátokat mutatja:

7.4. táblázat. Munkahelyek

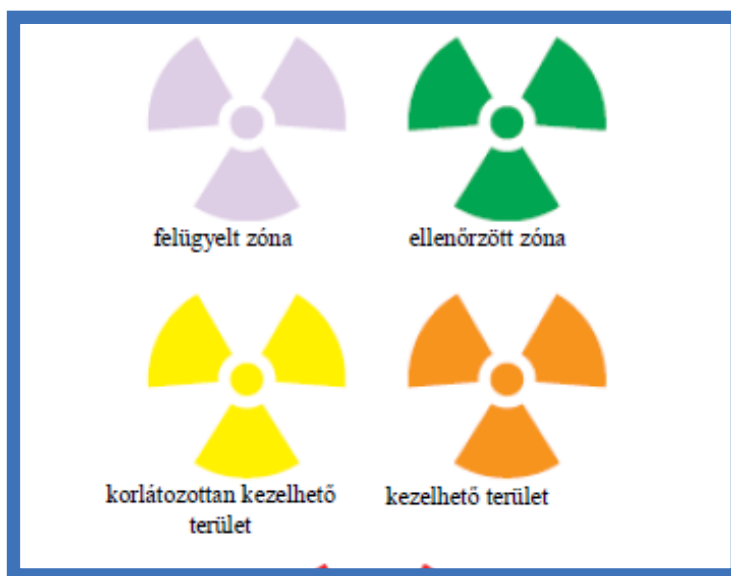
| Munkahelyek      |                 | Várható dózis                   |                                                                                    |
|------------------|-----------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Felügyelt zóna   |                 | 1 és 6 mSv/ év között           |                                                                                    |
| Ellenőrzött zóna | 6 mSv/év felett | korlátozottan kezelhető terület | Az éves korlátokat meghaladó dózis felvételének kockázata                          |
|                  |                 | kezelhető terület               | Az éves korlátokat meghaladó dózis rövid időtartamok alatti felvételének kockázata |
|                  |                 | nem kezelhető terület           | Az éves korlátokat meghaladó egyszeri dózis felvételének kockázata                 |





A különböző területek azonosítása a radioaktivitás nemzetközi jelölésére szolgáló figyelmeztető jelzésekkel történik, háromágú lóhere formájában (extrém sugárzási kockázat) vagy pontozással jelölve (kontaminációs kockázat). A különböző zónák eltérő színű lóhere jelöléssel rendelkeznek: felügyelt zóna – szürke; ellenőrzött zóna – zöld; korlátozottan kezelhető terület – sárga; kezelhető terület – narancs; nem kezelhető terület – piros.

7.2. ábra. A sugárzás nemzetközi figyelmeztető jelzései



#### 7.4.5 A DOLGOZÓK KÉPZÉSE ÉS TÁJÉKOZTATÁSA

A sugárterhelésnek kitett dolgozókat tájékoztatni kell és ki kell képezni a meglévő kockázatokat illetően, valamint az adott szituációkban követendő előírásokra és eljárásrendekre vonatkozóan. A speciális körülmények mellett ionizáló sugárzásoknak kitett dolgozókkal szemben az is elvárás, hogy rendelkezzenek a radioaktív berendezésekkel és sugárforrásokkal ellátott létesítmények üzemeltetéséhez vagy kezeléséhez szükséges tanúsítvánnyal vagy engedéllyel. Ezen tanúsítványok vagy engedélyek nyilvántartása és kiadása, valamint tartalmi megfelelőségük biztosítása és ellenőrzése a nukleáris biztonságért felelős nemzeti testületek hatáskörébe tartozik. Ily módon garantálható, hogy a dolgozók eleget tesznek a sugárvédelemmel kapcsolatos előírásoknak, továbbá megfelelő képzésben részesülnek ezzel a területtel kapcsolatban és megfelelő ismereteket szereznek ezen a területen.

#### 7.4.6 A MUNKAKÖRNYEZET FELÜGYELETE ÉS A DOZIMETRIAI FELÜGYELET

Az emberek saját érzékszerveikkel nem képesek észlelni az ionizáló sugárzás jelenlétét. Ezért különböző berendezéseket és eszközöket terveztek az ionizáló sugárzás detektálására és annak az energiamennyiségnek a mérésére, amit ez a sugárzás okoz egy adott helyen.

A besugárzás vagy kontamináció kockázatával járó munkahelyeken az említett berendezések használatával mérni kell a külső dózist és a meglévő kontaminációt, illetve rögzíteni kell a mérési eredményeket annak biztosítására, hogy az értékek az előre meghatározott korlátokon belül maradjanak.

A sugárzás hatásának kitett dolgozók által elszenvedett dózisok meghatározása külső dozimetria (sugárzási kockázat) vagy belső dozimetria (kontamináció kockázat) használatával történik.

A dozimetria célja a dolgozók által elszenvedett összes dózis mérése és dokumentálása. Az egy dolgozóra várható dózismennyiséget figyelembe véve a dozimetriai ellenőrzést személyi doziméterekkel kell végrehajtani (ha a várható dózis meghaladja a 6 mSv/év értéket) vagy terület-doziméterekkel, az adott terület dózisadatain alapuló elszenvedett dózisbecslés alkalmazásával (ha a várható dózis kevesebb, mint 6 mSv/év).

Az egyéni ellenőrzésre szolgáló személyi doziméterek a termolumineszcencia jelenségen alapulnak (TLD) és ezeket a dozimétereket minden hónapban ki kell értékelni a kapott dózisok meghatározása érdekében. Sugármérőt is alkalmazni kell a dózisteljesítmény mérésére vagy közvetlen leolvasású dózismérőt (DRD) kell használni a dolgozó által elszenvedett napi és havi dózis ellenőrzése céljából.

A dolgozó dozimetriai ellenőrzésének eredményeit rövid- és hosszú távon egyaránt regisztrálni kell és ki kell értékelni.

#### 7.4.7 A LAKOSSÁG

Mint az ionizáló sugárzás felhasználói, garantálnunk kell a lakosság sugárvédelmét és mindent meg kell tennünk annak biztosításáért. A lakosság sugárterhelése semmilyen körülmények között nem haladhatja meg az évi 1 mSv értéket. Ezen cél elérése érdekében általános védelmi intézkedéseket – úgymint távolság, idő és árnyékolás – kell tenni és megfelelő figyelmeztető jelzéseket kell alkalmazni, melyek segítségével biztosítható, hogy a lakosság tagjai nulla dózist szenvedjenek el.

