



**Országos „Frédéric Joliot-Curie”  
Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet**

**ORVOSI BESUGÁRZÓ-HELYISÉGEK SUGÁRVÉDELME  
LINEÁRIS GYORSÍTÓKAT FELHASZNÁLÓ SUGÁRTERÁPIÁS  
LÉTESÍTMÉNYEKBEN**

**OSKI MÓDSZERTANI LEVÉL**

**Összeállította: Dr. Ballay László**

**Közreműködött: Elek Richárd**

**Budapest**

**2015. február**

ISBN 978-963-87459-3-4

Készült az Országos Tisztifőorvosi Hivatal Nyomdájában 100 példányban

Felelős kiadó: Dr. Ballay László

# TARTALOMJEGYZÉK

- 1. A MÓDSZERTANI LEVÉL ALKALMAZÁSA**
- 2. HIVATKOZÁSOK, RENDELETEK, SZABVÁNYOK JEGYZÉKE**
- 3. FONTOSABB FOGALMAK**
- 4. SUGÁRZÁSOK A GYORSÍTÓ KÖRNYEZETÉBEN**
- 5. ÁRNYÉKOLÓ ANYAGOK**
- 6. BESUGÁRZÓ LÉTESÍTMÉNYEK SUGÁRVÉDELMI KÖVETELMÉNYEI**
- 7. TERVEZÉS KÜLÖNLEGES GYORSÍTÓKNÁL, BESUGÁRZÁSI TECHNIKÁKNÁL**
- 8. KÜLÖNLEGES TERVEZÉSI SZEMPONTOK**
- 9. BIZTONSÁGI ELEMELK, FIGYELMEZTETŐ JELZÉSEK**
- 10. A SUGÁRVÉDELEM HATÓSÁGI ELLENŐRZÉSE, ÉRTÉKELÉSE**
- 11. I. sz. FÜGGELÉK** (Hasznos adatok)
- 12. II. sz. FÜGGELÉK** (Tájékoztató dózisteljesítmény szintek)

# 1. A MÓDSZERTANI LEVÉL ALKALMAZÁSA

## 1.1. Bevezetés

A sugárterápia a rák-kezelés három alapvető módszerének az egyike. A teleterápiás kezelések korszerű eszköze ma már a lineáris gyorsító. A teleterápia fejlődése utóbbi években hazánkban is felgyorsult: új sugárterápiás centrum kezd el működését, új gyorsító munkahelyek létesülnek, a meglévő gyorsítókat korszerű berendezésekre cserélik és tovább tart a kobaltgázyúk gyorsítóra történő lecserélésének folyamata. Az ország 12 sugárterápiás centrumában jelenleg (2015. február) kerekén 30 gyorsító működik.

Orvosi besugárzó-helyiségek sugárvédelmi követelményeit az MSZ 62-4:1999 „Sugárvédelem nagy aktivitású gamma-távbesugárzó berendezések és orvosi lineáris gyorsítók alkalmazásakor” szabvány tárgyalja. A szabvány megjelenése óta a besugárzó berendezések és a besugárzási technikák nagyot fejlődtek. Különleges besugárzási feladatokra speciális gyorsító típusokat fejlesztettek ki (tomoterápia, Cyberknife, Intra Operative Radiation Therapy). A konformális besugárzások mellett különleges besugárzási technikák jelentek meg (IMRT, IGRT, ívbesugárzás, képvezérelt sugárterápia).

Az árnyékolt bunkerként kialakított besugárzó-helyiségek sugárvédelmi tervezéséhez nemzetközi segédletek jelentek meg. A sugárvédelem nemzetközi és európai szabályozása is megújult. A sugárvédelmi tervezés hazai szabályozását ezekre az anyagokra kell alapozni. Az Európai Unió Irányelveivel (Direktívák) kapcsolatban harmonizációs kötelezettségünk van. Az Irányelvek célkitűzéseit meg kell valósítani, de hogy az adott ország ezt hogyan éri el, az nemzeti hatáskörbe tartozik.

## 1.2. A Módszertani Levél célja

A Módszertani Levél (ML) célja a teleterápiás gyorsító munkahelyek létesítésével és üzembe helyezésével kapcsolatos hazai sugárvédelmi követelmények összefoglalása.

A „hazai sugárvédelmi követelmények” ugyanakkor nem térhetnek el az Európai Unió [6] és a NAÜ [7] biztonsági alapszabályzatainak a követelményeitől. Az EU biztonsági alapszabályzata [6] irányelv, amelynek a célkitűzéseit a hazai biztonsági alapszabályzat [1] valósítja meg. Az ML tehát gyakorlatilag a sugárvédelem alapvető nemzetközi szabályzatainak a követelményeit és célkitűzéseit adaptálja a sugárterápia területén a hazai körülményekre.

A nemzeti szabályozás ugyanakkor, ameddig az ésszerű és indokolható, a biztonság javára szigorúbb követelményeket is támaszthat. Az ML ezeket a hazai sugárvédelmi gyakorlatban alkalmazott tájékoztató dózisteljesítmény szinteket is ismerteti.

Az ML nem tervezési segédlet. Tartalmazza a tervezők számára nélkülözhetetlen követelményeket, de sugárvédelmi tervezésre önállóan nem alkalmas. Ugyanakkor az alapvető nemzetközi tervezési segédletek ([8] és [9]), valamint az ISO szabvány tervezet [10] alapján össze kívánja foglalni azokat az alapvető ismereteket is, amelyek a sugárvédelmi terveket elbíráló és az elkészült létesítményeket üzembe helyező hatóságot, valamint a szakintézetet tervezési kérdésekben eligazítják.

## 1.3. Az ML hatálya

Az ML hatálya alá a lineáris gyorsítókat alkalmazó sugárterápiás létesítmények

tartoznak.

Nem tartoznak az ML hatálya alá a sugárterápia zárt radioaktív sugárforrással működő besugárzói, valamint a brachyterápiás létesítmények.

## **2. HIVATKOZÁSOK, RENDELETEK, SZABVÁNYOK JEGYZÉKE**

### **2.1. A sugárvédelem hazai biztonsági alapszabályzata**

- [1] 16/2000 (VI.8.) EüM rendelet az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek a végrehajtásáról

### **2.2. Vonatkozó hazai szabványok**

- [2] MSZ 62-4:1999. Ionizáló sugárzás elleni védelem. Sugárvédelem nagy aktivitású gamma-távbesugárzó berendezések és orvosi lineáris gyorsítók alkalmazásakor.
- [3] MSZ 62-2:1989. Ionizáló sugárzás elleni védelem. Béta-, gamma-, és röntgensugárzás elleni védelem
- [4] MSZ 62-3:1991 Ionizáló sugárzás elleni védelem. A neutronsugárzás elleni védelem
- [5] MSZ 14341:1991 Külső röntgen- és gamma-sugárzások dozimetriája

### **2.3. Nemzetközi biztonsági alapszabályzatok**

**Az Európai Unió biztonsági alapszabályzata** (2014. január 31.-től hatályos)

- [6] A Tanács 2013/59/EURATOM Irányelve (2013. december 5.) az ionizáló sugárzás miatti sugárterhelésből származó veszélyekkel szembeni védelmet szolgáló alapvető biztonsági előírások megállapításáról, valamint a 89/618/Euratom, a 90/641/Euratom, a 96/29/Euratom, a 97/43/Euratom és a 2003/122/Euratom irányelv hatályon kívül helyezéséről.

### **Nemzetközi Biztonsági Alapszabályzat (IBSS)**

- [7] Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. No. GSR Part 3. Interim. IAEA 2011. november.

### **2.4. Meghatározó tervezési segédletek**

- [8] NCRP Report No. 151. Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities
- [9] IAEA Safety Report Series No. 47 Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities.

### **2.5. ISO szabványtervezet**

- [10] ISO/CD 16645 Radiological protection - Medical accelerators - Radiation protection rules for installations. Committee Draft 2014. 03. 14.

## **3. FONTOSABB FOGALMAK**

### **3.1. A sugárvédelem optimalálása**

A lakossági vagy foglalkozási sugárterhelésnek kitett személyek sugárvédelmét úgy kell optimalálni, hogy a személyi dózisok nagysága, a sugárterhelés valószínűsége, valamint a sugárterhelésnek kitett személyek száma az aktuális műszaki ismereteket, valamint a gazdasági és a társadalmi tényezőket figyelembe véve az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szintű legyen.[6]

### **3.2. Dózismegszorítás**

Adott sugárforrás tervezett működtetéséből származó személyi dózisok előzetesen megállapított felső határa. A dózismegszorítás a sugárvédelem tervezési szakaszában, optimaláláskor használatos. A dózismegszorítás nem azonos az optimaláláskor elérhető legkisebb dózissal, azonban azt biztosítja, hogy sugárterhelés az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szintet jelentősen ne haladja meg. Sugárterápiás besugárzókra Magyarországon nem vezettek be dózismegszorítást, de a vonatkozó szabvány [2] 3.1.3. szakasza a sugárnyékolás tervezéséhez előírja, hogy az átlagos foglalkozási sugárterhelés ne haladja meg a vonatkozó effektív dóziskorlát 3/10 részét.

### **3.3. Tervezési dóziscél**

A sugárvédelmi tervezés kiinduló értéke. A foglalkozási, illetve a lakossági kategória védelmére alkalmazható effektív dózisegyenérték. Az adott sugárforrás működtetéséből származó, a foglalkozási kategória munkavállalóira vagy a lakosság tagjaira vonatkozó személyi dózisok tervezett felső határa. Értéke lehet azonos az effektív dóziskorláttal, vagy a dózismegszorítással. A tervezők ezeknél kisebb értékeket is alkalmazhatnak, de nagyobb értékeket nem.

Kézenfekvő, hogy ahol van dózismegszorítás, ott az egyben tervezési cél. A magyar szabvány [2] szerinti tervezési cél, foglalkozási kategóriára az effektív dóziskorlát 3/10-ed része, a lakosság tagjaira az effektív dóziskorlát (1 mSv/év), illetve ezek időarányos részei.

A tervezők a legrövidebb, még használható időarányos részre, a heti dózistra terveznek. Magyarországon a szabványos [2] tervezési cél a foglalkozási kategóriára 120  $\mu$ Sv/hét, a lakossági kategóriára 20  $\mu$ Sv/hét effektív dózis. A hazai tervezők többsége tervezési dóziscélként a foglalkozási kategóriára 40  $\mu$ Sv/hét effektív dózist („tizedelő ALARA”) alkalmazza.

Az ML által ajánlott tervezési dóziscél a foglalkozási kategóriára munkavállalóira az effektív dóziskorlát tizedrésze, a lakosság tagjaira 0,3 mSv/év effektív dózis. Heti dózisban megadva a tervezési dóziscél foglalkozási kategóriára 40  $\mu$ Sv/hét, lakossági kategóriára: 6  $\mu$ Sv/hét.

### **3.4. Pillanatnyi dózisegyenérték-teljesítmény**

#### **Instantaneous Dose-equivalent Rate, (IDR)**

Sugárvédelmi dózismérő által dózis/h-ban mért, 1 percre átlagolt dózisegyenérték-teljesítmény.

Megjegyzések

1. Lineáris gyorsítók pulzált sugárzást állítanak elő. Az impulzus csúcsban a sugárzás dózisteljesítménye az átlagos értéknél nagyságrendekkel magasabb. A fogalom meghatározás a pulzált sugárzási tér sugárzási szüneteit és az impulzuscsúcs dózisteljesítményét 1 percre átlagolja. Méréstechnikai okból a mérést ionkamrás sugárvédelmi dózismérővel kell elvégezni.

2. Amennyiben az IDR-t védelem mögött mérjük, a mérés helye a védelem felszínétől 30 cm-re legyen (ennél közelebb ugyanis nem várható tartózkodás).

### **3.5. Időben átlagolt dózisegyenérték-teljesítmény**

#### **Time Averaged Dose-equivalent Rate, (TADR).**

Az IDR-ből a munkaterhelés és a módosító tényezők figyelembe vételével kiszámítható, legalább 1 órára, de általában 1 hétre átlagolt dózisteljesítmény.

### **3.6. Munkaterhelés (W)**

A besugárzó berendezés használatának egyfajta mértéke, ami egyezményesen az egy hét alatt az izocentrumban leadott elnyelt dózis műszakonként. Gyorsítók sugárvédelmének tervezéséhez használható szabványos mérték 1000 Gy/hét izocentrum dózis [2]. A gyakorlatban a tényleges munkaterhelés értékek a szabványostól jelentősen eltérhetnek.

### **3.7. Irányfaktor (I)**

A sugárvédelem tervezésekor használt tényező, amely megmutatja, hogy a teljes sugárzási időnek várhatóan hányad részében irányul a sugárzás az adott védelemre [2].

Megjegyzések

MSZ 62-4:99; 3.3.3. „A védelmet úgy kell méretezni, hogy az irányfaktor (I) értéke  $I = 1$  legyen a padlónak azon a részén, ahova a sugárnyaláb irányítható, valamint szivárgó sugárzás és szórt sugárzás esetén. Mennyezetre irányítható sugárnyaláb esetében  $I = 0,5$ , a két oldalfalra  $I = 0,25$  értéket kell használni. Ha a védendő pontra a sugárnyaláb a teljes sugármeneti időtartam legfeljebb 1/10 részében irányul (például mozgó besugárzás során), akkor  $I = 0,1$  értékkel kell számolni”

### **3.8. Tartózkodási faktor (T)**

A sugárvédelem tervezésekor használt tényező, amely megadja, hogy valamely helyen a sugárzási idő hányad részében várható tartózkodás [2].

Megjegyzések

MSZ 62-4:99; 3.3.2. „A védelmet úgy kell méretezni, hogy a tartózkodási faktor (T) értéke  $T = 1$  legyen a sugárvédett tartózkodási helyeken, a vezérlőben és a besugárzó helyiség környezetében mindazokon a helyeken, ahol rendszeresen dolgoznak. Az időleges tartózkodásra való helyiségeket (például váró)  $T = 0,3$ , és azokat a helyiségeket, ahol az előfordulás esetleges (például lépcsőház, WC, vetkőzőfülke)  $T = 0,1$  értékkel kell méretezni.”

### **3.9. Módosított munkaterhelés ( $W_m$ )**

Orvosi besugárzó-berendezések sugárvédelmi méretezésénél a módosított munkaterhelést kell figyelembe venni

$$W_m = W \times T \times I$$

### **3.10. Ellenőrzött terület**

Sugárterápiás létesítményekben a besugárzó-helyiség ellenőrzött terület. A sugárzás elleni védelem érdekében az ellenőrzött területre különleges szabályok vonatkoznak. Ezek között a legjellegzetesebb a bejutás ellenőrzése.

### **3.11. Felügyelt terület**

Sugárterápiás létesítményekben a besugárzó helyiség környezetében minden más terület felügyelt terület. A felügyelt terület a sugárvédelmi hatóság ellenőrzése alatt álló terület.

### **3.12. Árnyékolás**

Sugárzást elnyelő anyagból készült védőfal vagy védőréteg, ami a védőfalon átszivárgó sugárzást hatékonyan gyengíti (árnyékolja).

### **3.13. Elsődleges árnyékolás. Direkt (primer) sugárzás elleni védelem)**

Az elsődleges (direkt, primer) sugárzás ellen méretezett árnyékolás (védelem)

### **3.14. Másodlagos (szekunder) árnyékolás (védelem)**

A szivárgó sugárzás, és a szórt sugárzás ellen méretezett védelem.

### **3.15. Tizedelő rétegvastagság [TVL]**

Valamely anyagnak az a vastagsága, mely a merőlegesen beeső széles geometriájú nyaláb dózisteljesítményét a tizedére csökkenti.

Megjegyzések

1. A  $TVL_1$  és  $TVL_2$  az első és második tizedelő rétegvastagság, értelemszerűen. Az első árnyékoló rétegek a sugárnyaláb irány- és energia-eloszlását módosítják. Amennyiben a módosítás jelentős és a sugárzás „keményedik”  $TVL_1 < TVL_2$ , amennyiben „lágyl”  $TVL_1 > TVL_2$ .
2. A  $TVL_e$  az egyensúlyi tizedelő rétegvastagság. Valamely anyagnak az a vastagsága, mely erősen gyengített széles geometriájú sugárnyaláb dózisteljesítményét egytizedére csökkenti, ugyanakkor a sugárnyaláb irány- és energia szerinti eloszlását csak elhanyagolható mértékben befolyásolja. Általában a 3. TVL után beáll az egyensúly és a tizedelő rétegvastagság értéke már nem változik.
3. A fentiek miatt az árnyékolások tervezésénél, gyengítetlen nyaláb esetén, a sugárzás széles nyalábjának gyengülését ábrázoló grafikont használjuk és csak az erősen gyengített nyaláb további gyengítését tervezzük a táblázatok (lásd I. sz. Függelék) szerinti tizedelő rétegvastagságokkal.

### **3.16. Gyengítési tényező [F]**

Az árnyékolás nélkül és az árnyékolás mögött mért dózisteljesítmények hányadosa, ha egy széles sugárnyaláb útjába, arra merőlegesen valamilyen védőréteget helyezünk



### **3.17. Izocentrum**

Az a térbeli pont, amelyet a besugárzó forgástengelyének és a sugárnyaláb tengelyének metszéspontja határoz meg.

### **3.18. Névleges energia**

A besugárzáshoz használt nyalábban a gyorsított részecskék legnagyobb energiája.

Megjegyzés

Foton-sugárzás energiáját a gyorsító feszültséggel [MV], míg a monoenergiás elektron- sugárzás energiáját [MeV] egységben adjuk meg.

## **4. SUGÁRZÁSOK A GYORSÍTÓ KÖRNYEZETÉBEN**

### **4.1. Elsődleges (primer, direkt) sugárzás**

A besugárzó fejben sugárterápiás kezelés számára előállított, kollimált nyalábként kilépő sugárzás.

#### **4.1.1. Elsődleges (primer, direkt) elektron-sugárzás**

Az orvosi lineáris gyorsítóknál elektron csomagokat gyorsítanak. Amennyiben a választható 5 vagy 6 különböző végenergia egyikére felgyorsított elektronokat a gyorsítóból mágneses eltérítéssel kivezetik, az elsődleges (direkt) sugárzás pulzált elektron-sugárzás. Az árnyékolások tervezése során az elektron-sugárzás elleni védelemmel külön nem kell foglalkozni, mivel a foton-sugárzás ellen tervezett árnyékolások mind az elsődleges elektron-sugárzást, mind az elektron-terápiás kezeléseknél keletkező másodlagos, szivárgó és szórt sugárzásokat tökéletesen elnyelik.

#### **4.1.2. Elsődleges (primer, direkt) foton-sugárzás**

Amennyiben a felgyorsított elektronokat a besugárzó fejben elhelyezett targetben elnyeleik, nagy energiájú foton-sugárzás keletkezik. A besugárzások nagy többségét áthatoló foton-sugárzással végzik. A foton-sugárzás a nagy rendszámú targetben lefékeződő elektronok lassulása során keletkező fékezési röntgen-sugárzás. Az orvosi gyorsítók egy része mono-energiás, 4 MV vagy 6 MV vagy 10 MV gyorsító feszültségű besugárzó. Többségük azonban duál-fotonos, azaz a berendezésekkel kétféle sugáregergia állítható elő. A foton-energiát szokásosan a gyorsító feszültséggel jelöljük. A dual fotonos gyorsító kis energiás üzemmódban 4 MV vagy 6 MV energiájú, nagy energiás üzemmódban többségében 15 MV vagy 18 MV energiájú foton-sugárzást állít elő. Újabban a gyártók három választható foton-energiával is szállítanak gyorsítót. Az árnyékolások tervezése a legnagyobb energiájú foton-sugárzás ellen történik.

### **4.2. Másodlagos foton-sugárzás**

Két komponense van: a szivárgó sugárzás és a szórt sugárzás

### 4.2.1. Szivárgó sugárzás

A besugárzó-fejben izotróp módon keletkező fékezési röntgen-sugárzás nagy részét a besugárzó fej árnyékolása elnyeli. Az árnyékoláson átszivárgó foton-sugárzást nevezzük szivárgó sugárzásnak. Megengedhető mértékét nemzetközi szabványok szabályozzák. A sugárvédelmi tervezés során felhasználható kiinduló adatok. A szivárgó sugárzás

hozama: a targettól 1 méterre az izocentrum dózisteljesítmény 0,1 %-a,  
energiája: a direkt sugárzás energiája.

Megjegyzések:

1. A szivárgó sugárzás energiájára vonatkozó becslés konzervatív. A gyakorlatban a szivárgó sugárzás valamivel kisebb effektív energiájú, tehát tizedelő rétegvastagságai kisebbek, mint a direkt TVL vastagságok. Értékeikre vonatkozóan az I. sz. Függelékben, valamint a [8], [9] és [10] kiadványokban található adatok.
2. A direkt védelmen kívül eső falak, födémek árnyékolását szivárgó sugárzás ellen kell méretezni. A szivárgó sugárzás ellen méretezett falak és födémek szórt sugárzás ellen, másodlagos sugárzás ellen és neutron-sugárzás ellen is megfelelő védelmet biztosítanak.
3. A szivárgó sugárzás távolsággal bekövetkező gyengülését a gyorsítótól 2-3 méteren túl úgy közelíthetjük, hogy a szivárgó sugárzás forrása a target, intenzitása pedig a távolság négyzetével csökken.

### 4.2.2. Szórt sugárzás

Domináló komponense a direkt sugárzás által besugárzott területekről szóródó sugárzás, azaz a betegből, és a direkt árnyékolásokról szóródó szórt sugárzás.

Megjegyzések

1. A párkeltés miatt a szórt sugárzás energia spektrumában az 511 keV energiájú fotonok dominálnak, aminek köszönhetően a nagyobb energiájú szivárgó sugárzás ellen méretezett védelem a szórt sugárzást elnyeli.
2. Ugyanakkor a védelem méretezésénél az előrefelé irányuló kis szögű szórásról nem szabad megfeledkezni.
3. A szórt sugárzás a labirintuson át kiszóródhat, ezért járulékát a bejárat labirintus méretezésénél figyelembe kell venni.

### 4.3. Neutron-sugárzás

Azok a fotonok, amelyek energiája nagyobb, mint a magrészcsekék kötési energiája, az atommaggal történő ütközéskor foto-nukleáris magreakciót váltanak ki, melynek során a atommagból neutron lép ki. 8 MV-nál nagyobb energiájú foton-sugárzás fotonjai esetében annyira megnő a fotonok által kiváltott foto-nukleáris reakciók hatáskeresztmetszete, hogy a keletkező neutronsugárzással a sugárvédelmi tervezés során foglalkozni kell.

Megjegyzések

1. A neutron-sugárzás fő forrása a besugárzó fej, amelyet a számítások során úgy kezelhetünk, mint a neutron-sugárzás izotróp forrását. A besugárzó-fejen átszivárgó sugárzás intenzitása a távolság négyzetével fordított arányban csökken. Ugyanakkor a szóródó, illetve a már termalizálódott neutron-sugárzás változása az inverz négyzetes fogyással nem írható le.
2. A fotoneutron-sugárzás hozama a gyorsító feszültséggel nő. A hozam 15 MV és 18 MV körüli energiákon a szivárgó sugárzás hozamának a nagyságrendjében van.
3. A fotoneutron-sugárzás hozama a gyorsító típusától is függ. Egyrészt azért, mert a foton-sugárzás spektruma típus-függő, másrészt a hozam a besugárzó-fej árnyékoló (ólom vagy volfrám) és egyéb szerkezeti (pl. acél) anyagainak a rendszámától is függ. A hozamra vonatkozó adatokat az I. sz. Függelékben találhatunk. További adatok a [8], [9] és [10] kiadványokban találhatóak.
4. Neutron-sugárzás az elsődleges védelemben is keletkezik. Az elsődleges védelemben keletkező neutron-sugárzás járuléka nagy rendszámú árnyékoló anyagban válhat jelentőssé.

5. Neutron-sugárzás elektronterápiás kezeléseknél is keletkezik, azonban hozama mintegy két nagyságrenddel kisebb, mint foton besugárzásnál.

#### **4.4. Befogási gamma-sugárzás**

Az atommagokon rugalmatlanul szóródó neutronok lelassulnak (termalizálódnak) majd a lassú neutronok az atommagokba befogódnak. A neutron befogódása magreakciót kelthet, aminek során nagy energiájú gamma-fotonok keletkezhetnek, amit befogási gamma-sugárzásnak nevezünk. Nagy energiájú befogási gamma-sugárzás elsősorban a betonfalban keletkezik. A beton több olyan elemet tartalmaz, amik neutron befogási hatáskeresztmetszete nem elhanyagolható. A befogási gamma-sugárzás a szivárgó sugárzás ellen méretezett betonfalban elnyelődik, ugyanakkor járulékát a bejárat árnyékolásának tervezésénél figyelembe kell venni.

A befogási gamma-sugárzás elérheti a bejárat ajtót, de magában az ajtóban is keletkezhet. Az ajtó fémes (ólom, acél) és hidrogénben gazdag (polietilén, bórozott polietilén) árnyékoló rétegeinek a szendvics szerkezetével lehet a keletkezést lecsökkenteni, illetve a gamma-sugárzást elnyeletni.

#### **4.5. Felaktiválódás**

Ahol magreakció végbemegy, ott valamilyen mértékben radioaktív izotópok keletkeznek, az anyag felaktiválódik. Sugárvédelmi szempontból jelentős felaktiválódás egyedül a besugárzó-fejben következik be. A kollimátor közelében a gamma-sugárzás jól mérhető, azonban az intenzitás a távolsággal gyorsan csökken. Az egyes alkatrészek felaktiválódásának valójában csak azok számára van jelentősége, akik a besugárzó-fejet szétszerelik.

Kismértékben a kezelő asztal egyes fém alkatrészei is felaktiválódhatnak. A direkt védelemben is bekövetkezik némi felaktiválódás. Ennek mértéke betonban jelentéktelen. Amennyiben a direkt védelmet acéllemezzel erősítették meg, amit nem takar betonréteg, érdemes a (várhatóan kismértékű) felaktiválódást mérésekkel ellenőrizni.

### **5. ÁRNYÉKOLÓ ANYAGOK**

#### **5.1. Sugárzás-anyag kölcsönhatás**

A gyorsítók nagy energiájú foton-sugárzásának tartományában a sugárzás-anyag kölcsönhatásnál a Compton szórás dominál. Ennek az a következménye, hogy az anyagok árnyékoló képességének rendszám függése háttérbe szorul. Az anyagok árnyékoló képessége elsősorban az elektronsűrűségtől függ, a rendszám függés csak másodsorban észlelhető.

A csekély rendszámfüggés a kisebb foton-energián (4-6 MV) és nagyobb rendszámú árnyékoló anyagban (acél, ólom, volfrám) érzékelhető arányban fellépő foto-effektus miatt tapasztalható. Nagyobb energián (15-18 MV) a párkeltés fellépése miatt kezd növekedni a nagyobb rendszámú anyagok (acél, ólom, volfrám) fajlagos árnyékoló képessége. Ezzel együtt az árnyékoló anyagok egységnyi tömegre vetített fajlagos gyengítő képessége közel marad egymáshoz, tehát a különböző anyagokból épített, azonos gyengítésű árnyékolások tömege lényegesen nem fog különbözni egymástól.

Az árnyékoló anyag kiválasztásánál tehát előtérbe kerülnek az olyan szempontok is, mint a mechanikai tulajdonságok, a beépíthetőség és az ár. A felsorolt szempontok miatt lett az árnyékolások elsődleges anyaga a normál beton, másodsorban az acéllemez.

## 5.2. A sugárvédelmi árnyékolások anyagai

*Beton.* A besugárzó bunker falainak, födémjeinek általánosan használt árnyékoló anyaga a normál beton. A normál beton sűrűsége  $2,35 \text{ t/m}^3$ . Ezt a sűrűséget a hazai építőipar ma már megbízhatóan elő tudja állítani. A kivitelezés során ezzel együtt a beton sűrűségét mintavételezéssel ellenőrizni kell.

A normál beton nemcsak a foton-sugárzás legnagyobb volumenben alkalmazott árnyékoló anyaga, de magas hidrogén tartalmának köszönhetően a keletkező fotoneutron-sugárzás ellen is hatékony védelmet jelent.

*Acél.* Ahol kevés a hely, ott a direkt védelem vastag betonrétegét a hazai gyakorlatban acéllemezekkel vékonyítják. A beton ( $2,35 \text{ t/m}^3$ )-acél ( $7,8 \text{ t/m}^3$ ) arány 4-6 MV-nál 3,2-3,5, 15-18 MV-nál 4,0. Arányaiban ennyivel lesz vékonyabb az acélfal a vele azonos árnyékoló képességű betonfalnál.

Nagy energián az acéllemezekben neutron-sugárzás keletkezik, ezért két réteg beton közé, szendvics szerzetként kell betervezni. A sugárvédelem utólagos kiegészítésekor azonban általában már nincs mód a szendvics szerkezet kialakítására. Emiatt megnő a bejáratú ajtó elérő neutron-sugárzás és befogási gamma-sugárzás járuléka, amit az ajtó árnyékolás tervezésénél figyelembe kell venni.

*Ólom.* Falak és födémek árnyékoló anyagaként az ólom nagyon drága és kivitelezési nehézségekkel járó anyag lenne, ezért a hazai gyakorlatban az ólomot betonfalak kiváltására nem alkalmazzák. Ólomréteg használata utólagos árnyékolásnál is legfeljebb kivételesen jöhet szóba. Az ólom ugyanakkor tipikusan a bejáratú ajtók foton-sugárzás elleni árnyékolásának az anyaga.

*Baritbeton.* A barit adalékkal készített hazai baritbetonok sűrűsége  $3,2 \text{ t/m}^3$  volt. A direkt sugárzás elleni vastag betonvédelem vékonyítására néhány évtizede még gyakran alkalmazták. A hazai adalék hiánya miatt azonban hazai használata mára szinte teljesen megszűnt.

*Különleges nehéz beton.* Számos gyártó kínál pl. fém adalékkal készített különleges nehéz betont. Nálunk ezek használata nem terjedt el.

*Előre gyártott beton elemekből felépített moduláris bunker.* Külföldi gyártók kínálatában megjelent az előre gyártott beton elemekből felépíthető gyorsító bunker. Előnye, hogy a száraz építési technológia hónapokkal lerövidíti a bunker építésének idejét.

*Polietilén.* Neutron-sugárzás elleni védelem árnyékoló anyaga. A bejáratra felszerelt nehéz sugárvédelmi ajtók tartalmaznak polietilén réteget, amennyiben a bejáratig kiszóródó neutron-sugárzás intenzitása olyan nagy, hogy ellene védekezni kell.

*Bórozott polietilén.* A lelassult neutronok az atommagba befogódnak. Gyakori következmény az olyan magreakció, melyben nagyon nagy energiájú gamma-fotonok keletkeznek (befogási gamma-sugárzás). A bór adalék előnye, hogy gamma-sugárzás keletkezése nélkül abszorbeálja a neutronokat.

## **6. BESUGÁRZÓ LÉTESÍTMÉNYEK SUGÁRVÉDELMI KÖVETELMÉNYEI**

### **6.1. Tervezési dóziscél**

Foglalkozási kategóriára a dóziskorlát tizedrésze: 2 mSv/év, azaz **40  $\mu$ Sv/hét** effektív dózis

Lakossági kategóriára: a dóziskorlát 3/10 része: 0,3 mSv/év, azaz **6  $\mu$ Sv/hét** effektív dózis

### **6.1. A védelem számításának menete**

Minden egyes védett hely vonatkozásában a számítások kiinduló pontja a módosított munkaterhelés. A gyorsító heti munkaterhelését az adott védett helyre vonatkozó irányfaktorról és tartózkodási faktorról kell módosítani. [2]

A módosított munkaterhelésből (Gy/hét), a távolsággal bekövetkező gyengülést figyelembe véve számítható ki a védett helyen védelem nélkül fellépő heti dózisegyenérték ( $\mu$ Sv/hét). Elosztva a tervezési céllal az árnyékolástól várt gyengítési tényezőt meg lehet határozni.

Ezek után ki kell választani a megfelelő árnyékoló anyagot. Az árnyékolás által biztosítandó gyengítési tényező ismeretében a vonatkozó hazai szabvány, [3], illetve a nemzetközi tervezési segédletek [8] [9], táblázataiból, illetve grafikonjaiból a védelem vastagsága kiszámítható.

### **6.2. Elsődleges árnyékolás. Direkt (primer) sugárzás elleni védelem**

#### **6.2.1. Az árnyékolás vastagsága.**

A gyengítési tényező ismeretében a direkt védelem vastagsága meglehetősen pontossággal kiszámítható. A várható gyengítés kiszámításához mérési eredmények alapján összeállított grafikonok és táblázatok állnak rendelkezésre, amik alapján a direkt árnyékolás mögött várható dózisteljesítmény előre jelezhető. Az elsődleges (direkt) árnyékolás vastagságának a kiszámításához a vonatkozó magyar szabvány [3] is tartalmaz megfelelő adatokat.

#### **6.2.2. Az árnyékolás szélessége.**

A konvencionális gyorsítók körbeforgathatók, de forgási síkjukból nem billenthető ki. Emiatt a direkt sugárzás sávja meghatározott. A maximális mezőméret az izocentrumban 40 cm x 40 cm. A target izocentrum távolság 1 méter. A target-direkt árnyékolás távolságának ismeretében a mezőméret kiszámítható.

40 centiméternél szélesebb mező is beállítható, amikor a kollimátort 45 fokban elforgatjuk (diagonál állás). Diagonál állásban a primer mező névleges szélessége az izocentrumban 56 cm. Kiszámolható, hogy a direkt árnyékolás targettól távolabbi szélénél, maximális mezőméretnél és diagonál állásban, mennyire nyílik szét a sugármező. Ehhez a szétnyílt diagonál mezőhöz kell hozzáadni mindkét szélén 30-30 cm-t. Ez lesz az elsődleges (direkt) árnyékolás szélessége.

### **6.3. Másodlagos árnyékolás. Szórt és szivárgó sugárzás elleni védelem.**

A szórt sugárzás energiája a szivárgó sugárzás energiájánál lényegesen kisebb. Emiatt oldalfalak esetében az árnyékolás méretezését a szivárgó sugárzás elleni védelem követelményei határozzák meg. A szivárgó sugárzás ellen megfelelően méretezett védelem a szórt sugárzás ellen is megfelelő árnyékolást fog biztosítani.

A szivárgó sugárzás elleni védelem méretezésénél konzervatív becslésekből kell kiindulni. Egyrészt fel kell tételezni, hogy a szivárgó sugárzás energiája azonos a direkt sugárzás energiájával. Másrészt feltételezzük, hogy hozama a targettól 1 méterre az izocentrum dózisteljesítmény 0,1 százaléka.

A magyar szabványban [3] szivárgó és szórt sugárzásra vonatkozó specifikus adatokat nem találunk. A vonatkozó adatok nemzetközi kiadványokban találhatóak [8], [9], [10].

### **6.4 Tájékoztató dózisteljesítmény szintek**

A tájékoztató dózisteljesítmény szintek a következők (lásd még II. sz. Függelék).

- Vezérlőben  $2,5 \mu\text{Sv/h}^{(1)}$
- Bejárati ajtón át kilépő foton- és neutronsugárzás együttes járuléka:  $20 \mu\text{Sv/h}^{(2)}$
- Szomszédos sugaras helyiségek kölcsönös átszórása:  $20 \mu\text{Sv/h}$
- Nem sugaras munkahelyeken, vizsgálokban:  $(0,5-2) \mu\text{Sv/h}^{(3)}$
- Sugárveszélyre történő figyelmeztetés határa:  $20 \mu\text{Sv/h}^{(4)}$

Megjegyzések

(1) 16/2000. (VI.8.) EüM rendelet, 5. sz. melléklet 2.5.5: „a felügyelt területen belül az állandó tartózkodásra szolgáló helyeken a dózisegyenérték-teljesítmény bármely két órára vonatkozó átlaga nem haladhatja meg a  $2,5 \mu\text{Sv/h}$  értéket.”

(2) A bejárati labirintuson át kiszóródó, illetve a bejárati ajtón átszivárgó sugárzásra vonatkozó érték.

(3) A nem sugaras munkahelyekre, vizsgálokra vonatkozó intervallumból a tervező az érintett lakossági csoport ismeretében választhatja ki a megfelelő dózisteljesítményt. Például nem sugaras munkahely:  $2 \mu\text{Sv/h}$ , gyermek-rendelő:  $0,5 \mu\text{Sv/h}$ .

(4) 16/2000. (VI.8.) EüM rendelet, 5. sz. melléklet 2.5.4: „ahol a felügyelt területen belül tartósan  $20 \mu\text{Sv/h}$ -nál nagyobb dózisegyenérték-teljesítmény (....) fordulhat elő, de az ellenőrzött területté nyilvánítás nem indokolt, a területet határolással és a sugárveszélyre utaló jelzések elhelyezésével úgy kell megjelölni, hogy a területre véletlenül ne lehessen belépni.

Nem állandó tartózkodásra szolgáló területek védelmében (út, udvar, lépcsőház) tájékoztató dózisteljesítmény szintek nem alkalmazhatók, de azokra a területekre, ahol  $20 \mu\text{Sv/h}$ -nál nagyobb dózisteljesítmény léphet fel, figyelmeztető jelzésekkel, és ahol ez praktikus, elkerítéssel fel kell hívni a figyelmet.

#### **6.4.1. Dózisteljesítmény szintek alkalmazása új létesítménynél**

Új létesítményeknél ajánlott, hogy a tájékoztató dózisteljesítmény szinteket tervezési célként alkalmazzák.

### *Ajánlott tervezési dózisteljesítmény célok*

- csak új létesítmények tervezésekor,
- csak állandó tartózkodási helyek védelmében,
- csak telepített gyorsítókra,
- csak a konformális sugárterápia eseteire,
- csak a direkt sugár-irányokban,
- legfeljebb 6 Gy/min izocentrum dózisteljesítményig

### *alkalmazhatók*

#### **6.4.2. Dózisteljesítmény szintek alkalmazása meglévő létesítménynél**

Meglévő létesítmény sugárvédelmének pl. gyorsító-csere miatt szükségessé váló felülvizsgálatánál a dóziscél tartása az elsődleges követelmény. A felsorolt tájékoztató dózisteljesítmény szintek nem alkalmazhatók követelményként. Egy esetleges dózisteljesítmény csökkentés azonban lehetséges opció, amit a közvetlenül érintett sugárterápiás centrumnak, az engedélyező hatóságnak és a szakintézetnek együtt kell mérlegelnie.

A felülvizsgálatot végző sugárvédelmi a szakértő a várható dózisteljesítmény becslését is végezze el. A becslés kiinduló adat lesz a sugárvédelmi megerősítés indokoltságának és költségeinek a mérlegeléséhez. A dózisteljesítmény dilemma fellépése miatt a dózisteljesítmény csökkentésének igénye a közvetlenül érintettek körében általában akkor lép fel, amikor a várható dózisteljesítmények legalább egy nagyságrenddel meghaladják a tájékoztató dózisteljesítmény szinteket. Meglévő létesítményben a tervezési dóziscélnál enyhébb követelmény nem támasztható, de a szigorúbb sugárvédelemre vezető tájékoztató dózisteljesítmény szintek csupán a közvetlenül érintettek számára lehetséges opciók, amik követelményként nem alkalmazhatók.

A megerősítés ésszerű optimumának a meghatározása a közvetlenül érintettek feladata. Közvetlenül érintettek köre: a sugárterápiás centrum, a sugárvédelmi hatóság, az OSSKI és konzulensként a sugárvédelmi tervező.

#### **6.4.3. Dózisteljesítmény szintek nem állandó tartózkodási helyeken**

Nem állandó tartózkodási helyek (utca, udvar, folyosó, lépcsőház) esetében a ML nem ad meg tájékoztató dózisteljesítmény szinteket, azonban a tervezőnek a várható dózisteljesítményeket ezekben az irányokban is ki kell számolni. A tervnek tartalmaznia kell, hogy hol van annak a sugárzási térnek a határa, ameddig az embereket a sugárzásnak még figyelmeztetés nélkül ki lehet tenni. A sugárveszélyre történő figyelmeztetés határa 20  $\mu\text{Sv/h}$ . Túllépése esetén szükséges és általában elégséges intézkedés annak a területnek a megjelölése, ahol 20  $\mu\text{Sv/h}$  dózisteljesítmény túllépése előfordulhat. További intézkedésként a lánccal vagy egyéb módon történő elkerítés is indokolt lehet, amivel megakadályozható, hogy személyek a megjelölt területre véletlenül, illetve figyelmeztetés nélkül belépjenek.

#### **6.4.4. Dózisteljesítmény szintek lezárható területeken**

Olyan lezárható területen, pl. földszintes bunker tetején, ahová csak engedéllyel lehet belépni, tetszőleges dózisteljesítmény szintek megengedhetők. A levegőszórás miatt azonban fölfelé is kell védelmet tervezni. A bunker tetején kilépő sugárzás intenzitása ne lépje túl a mSv/h nagyságrendet, különben fennáll annak a kockázata, hogy a kilépő sugárzás levegőszórással a bunker környezetébe visszaszóródik.

### **6.5. Neutron-sugárzás elleni védelem**

A besugárzó fejen átszivárgó foton- és a neutron-sugárzás hozama összehasonlítható. Annak köszönhetően, hogy a fotoneutron-sugárzás tizedelő rétegvastagsága betonban kisebb, mint a szivárgó foton-sugárzásé, a foton-sugárzás ellen méretezett betonfalak neutronsugárzás ellen is minden irányban megfelelő védelmet biztosítanak.

Neutron-sugárzás ellen védő, magas hidrogén tartalmú speciális árnyékoló rétegek (polietilén, bórozott polietilén) használatára egyedül a bejárati ajtó esetében van vagy lehet szükség. Amennyiben a bejárati labirintus elég hosszú és többfordulós, a labirintusban mind a kiszóródó foton-sugárzás, mind a neutron-sugárzás intenzitása annyira lecsökken, hogy a bejárati ajtónak sugárvédelmi funkciója nincsen. Amennyiben azonban rövid a labirintus, vagy a labirintus elmarad és az ajtót szivárgó sugárzás ellen méretezett betonfalba építik, az ajtónak mind a foton-sugárzás mind a neutron-sugárzás ellen védő árnyékoló rétegeket kell tartalmaznia.

### **6.6. Bejárati labirintus**

A vonatkozó szabvány [2] 5.6. szakasza szerint „az orvosi besugárzó helyiségek labirintusát úgy kell kialakítani, (...) hogy ne legyen szükség méretezett sugárvédő ajtóra”. Ez a 15 éves szabvány előírás elavult, és betartatása ma már nem indokolható. Ezzel együtt a hazai besugárzók többsége olyan bejárati labirintussal készült, ami feleslegessé teszi méretezett sugárvédő ajtók felszerelését, köszönhetően annak, hogy az árnyékolatlan ajtón át kilépő foton- és neutronsugárzás együttes járuléka nem haladja meg a 20  $\mu$ Sv/h-t. Egyes esetekben a 20  $\mu$ Sv/h nem nagyságrendi túllépése is engedélyezhető, azzal a feltétellel, hogy az ajtó előterét, nagyjából a 20  $\mu$ Sv/h intenzitásig, feltűnően meg kell jelölni, megelőzendő a sugárzási térbe történő véletlen belépést.

A bejárati labirintusba beszóródó szivárgó foton-és neutron-sugárzás gyengülése számos faktortól függ, ugyanakkor a gyengülés viszonylag jól közelíthető a Kersey féle módszerrel. A módszer szerint a szivárgó sugárzások forrása a target. A korábban említett hozamok a targettól a labirintus gyorsító felőli bejáratának középvonaláig a távolság négyzetével fordított arányban csökkennek. A beszóródó sugárzás labirintusba lépéstől a bejárati ajtóig a labirintus középvonalán haladva a dózisteljesítmények közelítőleg 5 méterenként tizedelődnek. A becslés konzervatív, az ajtót elérő intenzitások tényleges értéke, a Kersey féle módszernél figyelembe nem vett módosító tényezők függvényében, eltérő mértékben, de a becsülnél valamivel kisebbek lesznek.

A bejárathoz kiszóródó szivárgó foton- és neutron- sugárzások hozama mellett, figyelembe kell venni a betegből kiszóródó és a felületekről szóródó szórt sugárzás



viszonylag mérsékelt járulékát, valamint a befogási gamma esetenként jelentős tényezőként fellépő járulékát.

### **6.7. Direkt árnyékolású ajtó**

A gyorsító bunker helyigénye jelentősen csökkenthető, ha nem építenek bejárati labirintust, és a bejárati ajtót a szivárgó sugárzás ellen méretezett, másodlagos árnyékolást biztosító betonfalba szerelik. Az árnyékolt ajtó sugárvédelmét ebben az esetben is úgy kell tervezni, hogy az ajtó árnyékoláson átszivárgó foton- és neutron-sugárzás együttes járuléka ne haladja meg a  $20 \mu\text{Sv/h}$  dózisegyenérték-teljesítményt.

A direkt árnyékolású ajtó 15 cm körüli vastagságú ólomrétegeket és 15-20 cm vastag neutron árnyékoló réteget tartalmazó, sok tonnás, motoros mozgatású nehéz sugárvédő ajtó lesz. A neutron árnyékoló polietilén, illetve bórozott polietilén réteget szendvicselve, két réteg foton-árnyékolás közé kell helyezni.

## **7. TERVEZÉS KÜLÖNLEGES GYORSÍTÓKNÁL, BESUGÁRZÁSI TECHNIKÁKNÁL**

Vannak olyan különleges besugárzók, besugárzások, sugárzási helyzetek, amelyek esetében, az indokolatlan túltervezés elkerülése érdekében, a tájékoztató dózisteljesítmény szintek tervezési célként új létesítmények esetében sem alkalmazhatók. Ezekben az esetekben az árnyékolásokat csak dóziscélra lehet tervezni. Tervezési célként az ML a szabványosnál valamivel szigorúbb, nevezetesen foglalkozási kategóriára  $40 \mu\text{Sv/hét}$  (a vonatkozó dóziskorlát időarányos részének tizede), lakossági kategóriára  $6 \mu\text{Sv/hét}$  (a vonatkozó dóziskorlát időarányos részének  $3/10$ -e) betartását tartja szükségesnek.

### **7.1. Műtét alatti besugárzás (Intra-Operative Radiation Therapy, IORT).**

Az elektron terápiás besugárzás céljára kifejlesztett mobil (önjáró) lineáris gyorsítókkal a publikációk szerint akár árnyékolás nélküli, szokásos műtőkben is lehet besugárzást végezni. Ebben az esetben a sugárvédelmet a munkaterhelés korlátozása jelenti. A besugárzások számát az korlátozza heti 4-5 alkalomra, hogy a műtő környezetében dolgozók sugárterhelése ne haladja meg a lakossági dóziskorlát időarányos részét, illetve a dózismegszorítás értékét.

A műtő árnyékolásával a heti elektronterápiás besugárzások száma jelentősen növelhető. Az árnyékolást azonban csak dózusra lehet tervezni. Tervezési cél heti  $6 \mu\text{Sv}$  effektív dózis. A sugárvédelem megfelelőségét az IDR értékek alapján nem lehet megítélni. Tervezés, szabályozás, ellenőrzés számára csak a TADR alkalmazható. A mért IDR dózisteljesítményeket időben átlagolt dózisteljesítményre (TADR) kell átszámolni.

### **7.2. Sok szabadsági fokú, robotkarra szerelt gyorsító.**

A robotkaros gyorsító direkt sugárzásának nincsenek állandó irányai. A besugárzás bármely irányban elvégezhető. A tervezés csak a fenti tervezési célt kitűző dózis alapú tervezés lehet. Az árnyékolások tervezéséhez kellő biztonságot nyújtó, konzervatív módosító faktorokat, munkaterhelést és irányfaktort kell választani. A robotikusan mozgó gyorsító monoenergiás. A gyorsító-feszültség  $6 \text{ MV}$ .

A besugárzást mindig keskeny sugárnyalábbal végzik, ezért a dózisteljesítményre

történő tervezés nagyobb szigorúsága a bunker összes betonfalának indokolatlan túltervezéséhez vezetne, ezért dózisteljesítményre nem lehet tervezni.

### **7.3. Tomoterápia.**

A gyorsító gantry a CT gantryhez hasonló kialakítású, ezért ezt a típusú LINAC-ot sugárterápiás CT-nek is lehet nevezni. Jellemzője a monoenergiás (6 MV) keskeny sugárnyaláb és az, hogy a gyűrűben a gyorsító csővel szemben mindig egy sugárfogó szerkezet forog. A típustól függően a sugárfogó 2-3 nagyságrend gyengítést biztosít.

Kellően biztonságos módosító faktorokkal a tomoterápiás bunker árnyékolását is kizárólag dóziszra lehet tervezni.

### **7.4. Különleges besugárzási technikák.**

A hagyományos kialakítású (egy síkban forgó, több névleges nyalábergiájú) gyorsító berendezésekkel végezhető besugárzások módjai jelentős változáson mentek keresztül. Bővült a felhasználásuk módja és ezzel a sugárvédelemnek is lépést kell tartania. Néhány ezek közül, említésképpen: az Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT) – intenzitásmodulált sugárterápia, Image-guided RT (IGRT) – képvezérelt sugárterápia, valamint a folytonos körülfordulás során, állandóan változó mezőmérettel, valamint dózisteljesítménnyel végzett besugárzási technikák.

Ezekhez a technikákhoz kifejlesztették az FFF (Flattening Filter Free) besugárzásokat, amik az izocentrum dózisteljesítményt jelentősen megnövelik. A Varian TrueBeam gyorsító pl. 10 MV-nál High Intensity (HI) üzemmódban 24 Gy/min izocentrum dózisteljesítményt ad le. Ezeket a különleges besugárzásokat is keskeny sugárnyalábbal, változó sugáriránnyal végzik.

Az FFF vagy nagy dózisteljesítményű üzemmódok nagy dózisteljesítményű, de keskeny nyalábú sugárzásai ellen elegendően biztonságos védelmet nyújtanak a dóziszra tervezett árnyékolások.

## **8. KÜLÖNLEGES TERVEZÉSI SZEMPONTOK**

### **8.1. Átvezetések**

A sugárterápiás létesítmény működéséhez három típusú átvezetést kell megtervezni. A besugárzó helyiségbe a fizikusok elektromos vezetékeit, továbbá a folyadékcsöveket, valamint a fűtő, szellőztető, légkondicionáló (HVAC) rendszer csöveit kell átvezetni. Az átvezetések csak a másodlagos védelmet törhetik át.

A fizikus vezetékek, valamint a vízcsövek átvezetései viszonylag kis átmérőjűek (maximum 10 cm), ezért azok, megfelelő elhelyezés esetén, viszonylag kevés sugárvédelmi problémát jelentenek. Előnyös, ha ezek az átvezetések a padlózatban, megfelelő mélységben haladnak. Az átvezetés padlószint fölött is áttörheti a másodlagos árnyékolást azzal a feltétellel, hogy az áttörés kb. 45°-ban ferdén haladjon és az átvezető csatorna külső vége közel legyen a padlózathoz.

A HVAC átvezetések ugyanakkor nagy átmérőjűek. Az áttörések tipikus mérete 1 m szélesség és 0,5 m magasság. A nagy méret miatt a HVAC átvezetés elhelyezését

sugárvédelmi szempontból gondosan meg kell tervezni. Legalább 1 fordulás hosszú labirintus esetén az átvezetés a bejárati ajtó fölött töri át az árnyékolást, majd a labirintust követve, a labirintus álmennyezete fölött vezetik a HVAC csatornákat a besugárzó helyiségbe. Amennyiben nincs, vagy nagyon rövid a bejárati labirintus, az áttörést a másodlagos árnyékolásban a besugárzó fejtől a lehető legtávolabb kell elhelyezni. Az átvezetés legyen ferde vagy hajlított. Az átvezetés árnyékolására még gondos pozicionálás esetében is szükség lehet. Az árnyékolás lehet a belépő nyílás alatt elhelyezett polc vagy áthidaló gerenda.

A HVAC átvezetések árnyékolásának tervezéséhez nincsenek használható ökölszabályok. A speciális számításokat Monte Carlo szimulációval lehet elvégezni.

## **8.2. Levegőszórás**

A foton-sugárzással megvilágított levegő atomjainak elektronhéján a sugárzás szóródik (Compton szórás). Amennyiben a földszintes besugárzó helyiségeket fölfelé nem árnyékolnák, a mennyezeten át kilépő sugárzás levegőszórással visszajutna a létesítmény környezetébe, beszóródna a szomszéd épületekbe. A mennyezetet tehát földszintes bunker estében is árnyékolni kell. Mérési tapasztalatok alapján kijelenthető, hogy a levegő szórás általános esetben akkor nem okoz sugárvédelmi problémát, ha a mennyezeti árnyékoláson át kilépő sugárzás intenzitása nem lépi túl az 1-3 mSv/h intervallumot. Ilyen dózisteljesítményű sugárzás fellépése a kezelő tetején tehát engedélyezhető, azzal a feltétellel, hogy a tetőre jutás lezárható, illetve a létesítmény sugárvédelmi szolgálata által ellenőrizhető. Figyelmeztetés, illetve ellenőrzés nélkül csak azokra a területekre lehet belépni, ahol a dózisteljesítmény nem haladja meg a 20  $\mu$ Sv/h-t.

Neutron visszaszórás is felléphet, azonban foton levegőszórás ellen méretezett árnyékolás esetén neutron visszaszórással nem kell számolni. Arra azonban vigyázni kell, hogy a direkt árnyékolás anyaga fölfelé beton legyen, mivel acél árnyékolásban számottevő mértékű foto-neutron sugárzás keletkezhet.

## **9. BIZTONSÁGI ELEMELK FIGYELMEZTETŐ JELZÉSEK,**

### **9.1. Ellenőrzött bejárat.**

A kezelő helyiség ellenőrzött terület, aminek legyenek fizikai határai és ezek a határok legyenek megjelölve. A bejárati ajtó a sugárveszély tárcsajelével megjelölt, kényszerkapcsolóval védett ellenőrzött bejárat. A besugárzást ne lehessen nyitott ajtónál indítani, illetve az ajtó kinyitása a besugárzást szakítsa meg. Az esetleges menekülést lehetővé téve, a bejárati ajtó belülről kézzel is legyen nyitható.

A beteg mozgása az öltözőtől a besugárzó bejárati ajtóig a vezérlőből szemmel legyen követhető.

### **9.2. Figyelmeztető fények**

A besugárzó berendezés állapotát fényjelzéseknek kell jelezni a vezérlő pultnál, a bejárat fölött, a labirintusban és a kezelőben.

### **9.3. Önmentés, menekítés**

A besugárzó helyiségben illetve a berendezésen felszerelt kényszerkapcsolók tegyék

lehetővé a besugárzás, illetve a nem kívánt mozgások bentről történő megszakítását.

Áramkimaradás esetére tartalék áramforrással lehetővé kell tenni a beteg menekítési útvonalának a megvilágítását.

A pozicionálást végző asszisztens véletlen besugárzásának a megelőzésére előnyös, ha a bejáráshoz felszerelnek egy, a gyorsító működésével kényszerkapcsolatba kötött, ún. nyugtázó kapcsolót.

A bejáratú ajtó belülről legyen kézzel is nyitható.

#### **9.4. Kapcsolat a pácienssel**

A pácienssel két irányú hangkapcsolatot kell kiépíteni, illetve kamera-monitor rendszerrel vizuális kapcsolatot is kell tartani.

### **10. A SUGÁRVÉDELEM HATÓSÁGI ELLENŐRZÉSE, ÉRTÉKELÉSE**

#### **10.1 Mérési feltételek**

A „hagyományos” lineáris gyorsítók esetében az ellenőrzéshez a legnagyobb foton-energiát, maximális mezőméretet (az izocentrumban 40 cm x 40 cm) és a „hagyományos” kezelésekhez használt maximális, rendszerint 6 Gy/perc (600 MU/min.) izocentrum dózisteljesítményt kell választani.

A direkt védelem ellenőrzését a direkt védelemre irányuló sugárzással, maximális mezőmérettel, 45°-ban elforgatott (diagonál) kollimátor állással, szóró-fantom nélkül kell végezni.

Szórt és szivárgó sugárzás elleni árnyékolás, valamint a labirintuson át kiszóródó sugárzás ellenőrzését padló felé irányuló sugárzással (0°-os gantry döntés) és szóró-fantom alkalmazásával kell kezdeni. A labirintus kiszóródás mérését, továbbá amennyiben indokolt a szivárgó sugárzás elleni védelem ellenőrzését a további három alapvető direkt sugárirányú beállításnál, 90°, 180°, és 270°-os gantry kidöntésnél is el kell végezni. A padlóiránytól eltérő sugár-irányú méréseknél szóró-fantomot nem kell a sugárzás útjába helyezni.

#### **10.2. Mérőműszer, a mérés helye**

A sugárvédelmi méréseket hiteles ionkamrás sugárvédelmi dózismérővel kell végrehajtani. A mérés helyét az árnyékolás mögött az árnyékolástól 30 cm-re kell kijelölni. A mért érték a pillanatnyi dózisteljesítmény (IDR). Sem a tervezési dóziscél sem a TADR közvetlenül nem mérhető.

#### **10.3. A mérési eredmények értékelése**

a) Új létesítmény üzembe helyezésénél a mért dózisteljesítmények értékelését rugalmasan kell végezni. Amennyiben a tervezési dóziscél tartható, a tájékoztató jellegű dózisteljesítmény szintek nem túl jelentős túllépése még engedélyezhető.

b) Egy meglévő létesítményben pl. gyorsító csere utáni üzembe helyezésnél, a ML-ben magadott tervezési dóziscél tartása az elsődleges követelmény. Meglévő létesítményben a tájékoztató jellegű dózisteljesítmény szintek nagyságrenden belül maradók, akár két-háromszoros túllépése is engedélyezhető, amennyiben az érintettek becsülhető sugárterhelése a tervezési dóziscélt nem lépi túl és a mért értékek a közvetlenül érdekeltek számára tolerálható.

c) Azokban az esetekben, amikor a tervező kiszámította az adott tervezési cél által megengedett pillanatnyi dózisteljesítményt a védelem megfelelőségének az elbírálása a mért IDR érték és a tervező által kiszámított IDR érték összehasonlítása alapján történik. Amennyiben a mért IDR érték nem haladja meg a tervező által a védelem ellenőrzése céljából kiszámított IDR értéket, az árnyékolás hatékonysága megfelel a tervezettnek, a védelem megfelelő.

d) Azokban az esetekben, amikor a tervező csak a tervezési célt, nevezetesen az egy hétre átlagolt dózisteljesítményt (TADR) adja meg, a mért IDR-ből a módosító faktorok alkalmazásával ki kell számolni az egy hétre átlagolt TADR értéke(ke)t. Amennyiben az nem nagyobb, mint a tervezési dóziscél (aminek heti értéke a TADR), a védelmet megfelelőnek kell értékelni.

#### **10.4. További ellenőrzések**

Az üzembe helyezést megelőző helyszíni szemlén a sugárvédelem megfelelősége mellett, ellenőrizni kell a 9. fejezet szerinti biztonsági elemek, jelzések, fények meglétét és működőképességét is.