

THE IMPACT OF OCCUPATIONAL SAFETY REQUIREMENTS ON RADIATION SHIELDING DESIGN IN A 155 MM AMMUNITION MANUFACTURING NDT SYSTEM**A MUNKAVÉDELMI KÖVETELMÉNYEK HATÁSA A SUGÁRVÉDELMI ÁRNYÉKOLÁS TERVEZÉSÉRE EGY 155 MM-ES LŐSZERGYÁRTÓ NDT RENDSZER ESETÉN**RÁTKAI Ákos¹ – BODOR Károly² – RÁCZ Ervin³ – ZAGYVAI Péter⁴**Abstract**

In modern military production, non-destructive testing (NDT) technologies used in the production of large-caliber artillery shells have played a key role in ensuring production safety and product quality. Therefore, high-energy linear accelerator-based X-ray equipment is used in modern production. The main topic of the article is the analysis of how occupational safety and ergonomic considerations can override the original radiation protection design concept and its underlying assumptions. The study points out that radiation protection design in modern military is not an exclusive and dose calculation issue, but an integrated engineering-design task, where explosion protection (e.g. shrapnel protection), radiation protection, occupational safety, and ergonomics and operational management aspects must be taken into account together.

Keywords

155 mm artillery shell, industrial radiography, shielding design, occupational safety, ergonomics, multidisciplinary

Absztrakt

A modern hadiipari termelésben a nagy kaliberű tüzérségi lövedékek gyártása során alkalmazott roncsolásmentes anyagvizsgálati (NDT) technológiák kiemelt szerepet kezdtek el betölteni a gyártásbiztonság és a termékminőség biztosításában. A modern gyártás során ezért nagy energiájú lineáris gyorsító alapú röntgenberendezéseket alkalmaznak. A cikk központi témája annak elemzése, hogy miként írhatják felül a munkavédelmi és ergonómiai szempontok az eredeti sugárvédelmi tervezési koncepciót, annak elképzeléseit. A tanulmány rámutat arra, hogy a sugárvédelmi tervezés a modern hadiiparban nem kizárólag fizikai és dózisszámítási kérdés, hanem integrált mérnök-tervezői feladat, ahol a robbanásvédelmi (például repeszvédelem), sugárvédelmi, illetőleg munkavédelmi, azon belül is ergonómiai és üzemviteli szempontokat együttesen szükséges figyelembe venni.

Kulcsszavak

155 mm-es lövedék, ipari radiográfia, árnyékolástervezés, munkavédelem, ergonómia, multidiszciplinaritás

¹ ratkai.akos@ek.hun-ren.hu | ORCID: 0009-0000-5368-7852 | Technical Manager, HUN-REN Centre for Energy Research | műszaki menedzser, HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont

² bodor.karoly@ek.hun-ren.hu | ORCID: 0000-0002-1612-8207 | Radiation protection expert, Centre for Energy Research | Sugárvédelmi szakértő, Energiatudományi Kutatóközpont

³ racz@uni-obuda.hu | ORCID: 0000-0002-7692-1397 | full professor, Obuda University, Kando Kalman Faculty of Electrical Engineering, Institute of Electrophysics | egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Elektrofizika Intézet

⁴ zagyvai.peter@ek.hun-ren.hu | ORCID: 0000-0002-8121-8452 | Radiation protection advisor, Centre for Energy Research | Sugárvédelmi tanácsadó, Energiatudományi Kutatóközpont

BEVEZETŐ

A modern hadviselés többek között rendkívül nagy hangsúlyt helyez a folyamatos hadianyag-utánpótlás gördülékeny biztosítására. A harcászati tapasztalatok igazolták, hogy a kellő méretekkel rendelkező, jól képzett haderő, továbbá a megfelelő mennyiségű és minőségű lőszer, illetőleg különféle harcászati kiegészítők rendelkezésre állása alapvetően meghatározza a hadműveletek sikerességét. A jelenleg is tartó orosz–ukrán háború ismételten rámutatott arra, hogy a nagy intenzitású, elhúzódó szárazföldi összecsapások során a tüzérségi rendszerek, harcászati infrastruktúra és a hozzájuk tartozó lőszerkészletek stratégiai jelentőséggel bírnak.



1. ábra: A 155 mm-es lövedék alaki kinézete [1]

A jelenleg használt, modern NATO kompatibilis tüzérségi rendszerek egyik legfontosabb szabványos lőszertípusa a 155 mm-es standard lövedék (1. ábra). Bár a kaliber kifejlesztése több, mint százötven éves múltra tekint vissza, napjainkban is közkedvelt lőszertípusnak számít, és kiemelt szerepet játszik a modern hadviselésben. [1]

A 155 mm-es kaliber története az 1870–1871-es francia–porosz háborút követő időszakra vezethető vissza. A francia hadvezetés a háborús tapasztalatok alapján felismerte, hogy a korszerű erődítmények és nagy távolságú célpontok ellen nagyobb kaliberű tüzérségi rendszerekre van szükség. Az 1874-ben összehívott francia tüzérségi bizottság végül a 155 mm-es kaliber mellett döntött. Az első jelentős rendszer Charles de Bange nevéhez köthető, ezután világszerte elterjedt ez a kaliber. [2]

Az első világháború alatt a 155 mm-es tüzérség kiemelt jelentőséggel bírt a lövészárók-hadviselésben, majd a második világháború során tovább fejlődött. Az amerikai eredetű „Long Tom” rendszerek, illetve azok továbbfejlesztett, átalakított változatai később NATO szabványként rendszeresültek. A hidegháború időszakában ezen kaliber jelentősége tovább nőtt, mivel képes volt taktikai nukleáris lövedékeket is hordozni, különleges kialakítása révén. [2]

A 2020-as évekre a 155 mm-es lövedék ismét központi szerepet tölt be a modern hadviselésben. A jelenlegi harcászati konfliktusok következtében megugrott a különféle lőszerek kereslete, a napi felhasználási igény rendkívül magassá vált, ezért a hadiipari gyártás

kapacitása és megbízhatósága stratégiai kérdéssé alakult át. Ukrajna jelenleg 250.000 darab/hó (166 lövés/egység/nap) igénnyel rendelkezik a 155 mm-es lövedék kapcsán, ez egyben egy megközelítőleg 875 milliárd forint értékű megrendelés, azonban a szövetséges Európai országok csak 5000 darab/hó lövedéket tudnak az ukrán haderő rendelkezésére bocsátani. Ez a jelenség elősegítette, hogy a harcászati lövedékek gyártása ismét nagymennyiségben újra induljon. Fontos kiemelni a gazdasági vonatkozásokat, hisz egy klasszikus 155 mm-es lövedék piaci értéke megközelítőleg 3-5 millió forint, így gazdasági szempontból is elvárható, hogy a megvásárolt áru megfelelőképpen, az elvárásokhoz igazodva működjék. [2], [6]

Az esetleges hibákkal rendelkező lövedékek eladásának elkerülése érdekében a modern hadiiparban lineáris gyorsító alapú röntgenvizsgáló rendszereket alkalmaznak. Ezek a nagy energiájú NDT (non-destructive test, azaz roncsolásmentes vizsgálat) rendszerek lehetővé teszik a lövedékek belső szerkezeti hibáinak roncsolásmentes vizsgálatát. [3]

A sugárvédelmi tervezés nem kizárólag fizikai számításokon alapul. A valós ipari környezetben a munkavédelmi, ergonómiai és üzemeltetési szempontok jelentősen módosíthatják az eredeti sugárvédelmi koncepciót. Jelen tanulmány ezt a problémakört mutatja be a Várpalota Védelmi Ipari Komplexumban kialakított 155 mm-es lőszergyártó rendszer példáján keresztül.

A 155 MM-ES LÖVEDÉK TÖRTÉNELMI FEJLŐDÉSE

Az első, 155 mm-es tüzérségi lövedékeknek definiálható rendszer a Charles de Bange által fejlesztett 155 mm-es löveg volt (2. ábra), amelyet 1877-ben rendszeresítettek Franciaországban. Bár az első világháború idejére a rendszer részben elavulttá vált, a francia hadsereg továbbra is széles körben alkalmazta megbízhatósága révén, különösen ellenütegi feladatokra.



2. ábra: Az 188-es 155 mm-es Bange-modell, [4]

A XX. század elején Filloux ezredes (3. ábra) továbbfejlesztette a rendszert, amelynek eredményeként megszületett a Canon de 155 Grande Puissance Filloux (GPF). Ez a konstrukció jelentős hatást gyakorolt a későbbi amerikai fejlesztésekre is. Az Egyesült Államok az első világháború során átvette a francia konstrukciót, majd továbbfejlesztette azt. Az 1938-ban tervezett amerikai „Long Tom” rendszer már a modern 155 mm-es tüzérségi lövegek egyik alapjának tekinthető. [2]



3. ábra: Filloux ezredes [5]

A második világháborút követően a 155 mm-es kaliber széles körben elterjedt mind a NATO, mind a szovjet blokk országaiban. A hidegháború idején taktikai nukleáris lövedékek fejlesztése is történt erre a kaliberre, amely tovább növelte stratégiai jelentőségét, például az M65 típusú atomágyú (melyet gyakorta „Atomic Annie”-nek is neveznek) is ide tartozik, amely képes volt akár egy 280 mm-es atomtöltetet is célba juttatni 30 kilométeres hatótávban, ami 15 kilotonnás pusztító erővel bírt (4.a és 4.b ábra). Napjainkban a 155 mm-es löszerek ismét kiemelt szerepet töltenek be a modern hadviselésben. Az orosz–ukrán konfliktus során mindkét fél nagy mennyiségben alkalmaz ilyen típusú löszereket, ami jelentősen növelte a gyártási kapacitások iránti igényt. [2]



4.a ábra: Dr. Bodor Károly Sugárvédelmi Szakértő egy Atomic Annie társaságában az USA-ban, [saját szerkesztés]



4.b ábra: Atomtüzérségi kísérlet [6]

A MODERN LŐSZERGYÁRTÁS STRATÉGIAI JELENTŐSÉGE

A modern háborúk egyik meghatározó tényezője a hadianyag-utánpótlás biztosítása. A történelem során számos konfliktus bizonyította, hogy a logisztikai és ipari háttér legalább olyan fontos szerepet játszik a hadviselésben, mint maga a harctéri technológia.

Egy 155 mm-es tüzérségi lövedék előállítása összetett technológiai folyamat, amely során több egymást követő hőkezelési, alakítási és minőségellenőrzési lépést kell végrehajtani. A gyártás során a fém szerkezetében hajszáltrepedések, belső anyaghibák vagy robbanóanyag-homogenitási problémák alakulhatnak ki.

A hibás lövedékek komoly veszélyt jelentenek:

- a lövedék még a csőben felrobbanhat,
- a löveg kezelőszemélyzete életveszélybe kerülhet,
- a harcállás megsemmisülhet,
- a lövedék célterületen kifejtett hatása jelentősen csökkenhet.



5. ábra: A Rheinmetall Hungary Zrt. várpalotai telephelye [7]

A modern hadiipar számára ezért kulcsfontosságú a nagy mennyiségű, ugyanakkor megbízható minőségű lőszergyártás fenntartása, annak érdekében, hogy a lőszerutánpótlás

folyamatosan biztosított legyen. Az elvárás az, hogy a harci állás (pl. tank, tarack) megbízható legyen, azaz folyamatosan képes legyen az ellenállásra, illetve előre nyomulásra, különben felszakad a védelmi vonal. [6]



6. ábra: A Rheinmetall által fejlesztett legújabb RCH 155 mm-es önjáró kerekes tüzérségi rendszere [8]

Nyugat-Európában a fegyvereket különféle szervezetek állítják elő, akik csak hosszútávú, nagy mennyiségű megrendelés esetén hajlandóak fejleszteni, azaz hiába nagy a harc-
térén a kereslet, a fegyvergyártó cégeknek fontos a pénzügyi megtérülés is, hiszen nem állami vállalatok. Magyarországon a Várpalota Védelmi Ipari Komplexum keretében valósult meg a Rheinmetall Hungary Munitions Zrt. gyártóközpontja, amely a magyar és NATO kompatibilis hadianyag-ellátás egyik meghatározó eleme lehet (5.ábra). A Rheinmetall Hungary Munitions Zrt., egy német-magyar közös vegyesvállalat, a beruházás kiemelt beruházásnak tekinthető a Várpalota Védelmi Ipari Komplexum megvalósításával (5. ábra). [7], [9]

A 155 MM-ES LÖVEDÉK GYÁRTÁSI FOLYAMATA

A 155 mm-es lövedék gyártása több lépcsőből álló, rendkívül precíz technológiai folyamat. A lövedéktest általában speciális, körülbelül 2 cm vastagságú acélötvözetből készül, amelyet többszöri hevítésnek, alakításnak, hűtésnek és hőkezelésnek, azaz edzési eljárásnak vetik alá.

A gyártási folyamat során:

- a lövedéktestet nyújtják és formázzák,
- hőkezelik és edzik,
- kialakítják a geometriai méreteket,
- ellenőrzik az anyagszerkezeti hibákat,
- végül megtöltik robbanóanyaggal.
- teljeskörű NDT (roncsolásmentes) vizsgálatnak vetik alá
- a kész lövedékeket szakszerűen csomagolják és szállításra kész állapotba helyezik

A gyártás egyik kritikus eleme a minőség-ellenőrzés, mert a lövedékekben a gyártás során kialakuló mikroszkopikus repedések vagy a robbanóanyagban létrejövő légzárványok a későbbi alkalmazás során súlyos meghibásodást eredményezhetnek, amit egy gyártóvállalat nem feltétlenül engedhet meg magának.

A modern gyártásban ezért széles körben alkalmaznak roncsolásmentes anyagvizsgálati (NDT) technológiákat, amelyek lehetővé teszik a hibák korai felismerését.

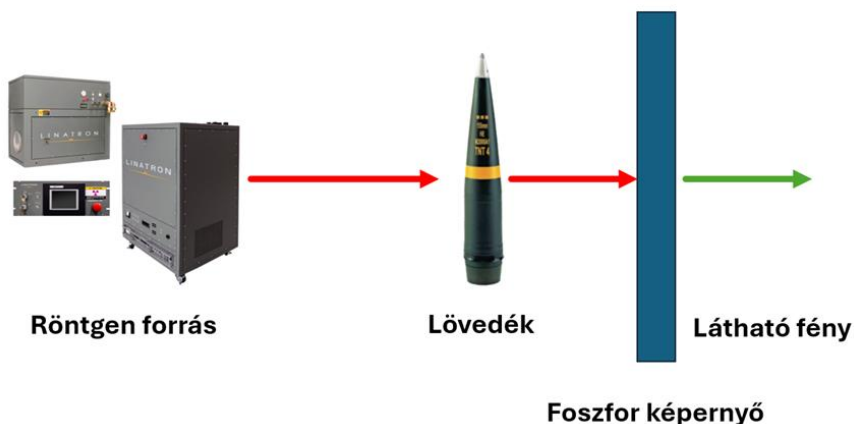
A GYORSÍTÓ ALAPÚ RÖNTGENVIZSGÁLATOK SZEREPE

A modern löszergyártás során alkalmazott egyik legfontosabb ellenőrzési technológia a lineáris gyorsító alapú ipari radiográfia.

A rendszer működési elve szerint:

- Az elektronágyú elektronokat állít elő.
- A magnetron rádiófrekvenciás energiát generál.
- A gyorsítóüregben az elektronok nagy energiára (3 MeV) gyorsulnak.
- Az elektronok egy volfrám céltárgyba csapódnak.
- A fékezés során nagy energiájú (MeV nagyságrendű) röntgensugárzás keletkezik.
- A kollimátor a sugárzást megfelelő irányba tereli. [3]

Mivel a 155 mm-es lövedék fala körülbelül 2 cm vastag acélból készül, hagyományos röntgenberendezések alkalmazása nem lenne elegendő, ezért szükséges a nagy energiájú gyorsító alapú rendszer használata (7. ábra). A Várpalotán alkalmazott rendszer esetében egy 3 MeV energiájú lineáris gyorsító működik, amely alkalmas akár a vastagabb falú acélszerkezetek átvilágítására is, mely a fent részletezett gyártási hibákat hivatott feltárni.



7. ábra: Az NDT vizsgálat elve [6]

JOGSZABÁLYI HÁTTÉR ÉS ENGEDÉLYEZÉSI KÖVETELMÉNYEK

A sugárveszélyes technológiák alkalmazása szigorú jogszabályi környezetben történik: a 438/2022. Kormányrendelet értelmében a Várpalotai Védelmi Ipari Komplexumban végzett tevékenység honvédségi veszélyes tevékenységnek minősül. Ennek megfelelően a sugárvédelmi hatósági feladatokat a Honvédelmi Minisztérium látja el. [9]

A rendszer működtetésére többek között az alábbi főbb jogszabályok vonatkoznak:

- 2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről
- 166/2018. (IX. 17.) Kormányrendelet a honvédelmi ágazat sugárvédelmi hatósági feladatairól

- MSZ 836:2017 szabvány a sugárzás elleni védelem röntgenberendezést és/vagy gamma-sugárforrást alkalmazó ipari radiográfiai munkahelyeken
- MSZ 62-2:2017 szabvány az Ionizáló sugárzás elleni védelem. Béta-, gamma-, és röntgensugárzás elleni védelem
- 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről
- ISO 45001 nemzetközi szabvány a Munkahelyi Egészségvédelem és Biztonság Irányítási Rendszerének (MEBIR) tanúsítása
- 5/1993. (XII. 26.) MüM rendelet a munkavédelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról

Az engedélyezési folyamat több lépcsőből áll:

1. Forgalomba hozatali (Típus) engedély

A forgalomba hozatali engedély, vagyis típusengedély minden olyan berendezésre vonatkozik, mely használatba vételre kerül. A 2/2022 OAH rendelet [10] 55. § (1) értelmében engedélyezni szükséges

- a radioaktív anyag alkalmazását,
- az ionizáló sugárzást létrehozó berendezés üzemeltetését,
- az ionizáló sugárzást létrehozó berendezés, valamint radioaktív sugárforrást tartalmazó készülék forgalomba hozatalához vagy első magyarországi üzembe helyezését (típusengedély). [10]

A forgalomba hozatali engedély azt jelenti, hogy Magyarország elismeri az engedély alapját képező berendezést, készüléket, munkaeszközt, egyben engedélyezik, hogy az adott eszköz Magyarország területére bekerüljön. Fontos, hogy az adott berendezésre akkor is kell típusengedélyt kérni, ha egy másik országban (legyen szó akár Uniós országról) azt már megkapta, mert az engedély alapvetően Magyarországra vonatkozik és a magyar hatóságok (például az OAH, vagy a Munkavédelmi Főosztályok) ekképpen ismerik el az eszköz létezését is. A fenti felsorolásból jól látható, hogy az NDT készülékre is mindenképpen szükséges rendelkeznie típusengedéllyel, amit a munkavédelmi szempontú előzetes vizsgálat (5. pont) során is ellenőriz a felelős munkavédelmi szakember. A típusengedélyben fel kell tüntetni a vonatkozó sugárvédelmi részleteket és az engedély része kell, hogy legyen a készülék Uniós szabályoknak megfelelő típusvizsgálati tanúsítványa is, az úgynevezett CE tanúsítvány, mely az alapvető vizsgálatok sikeres elvégzését igazolja, úgymint érintés elleni védelem, villamos-biztonság technika, mágneses kompatibilitás stb. A CE tanúsítványban a gyártó aláírásával igazolja, és felelősséget vállal, hogy az adott termék megfelel az Európai unió összes vonatkozó biztonsági, egészségügyi és környezetvédelmi előírásainak, lehetővé téve a termék szabad forgalmazását. Ennek hitelt érdemlő jelölése az úgynevezett CE jelölés, amit minden ilyen CE nyilatkozattal rendelkező termékre jól látható helyen feltüntetnek. Mindent egybevetve jól látható, hogy a típusengedély a komplett alkalmazási eljárások egyik legfontosabb alapidokumentuma, ami nélkül az egész engedélyezési eljárás összeomlik. [11]

2. Létesítési engedély

A civil szférában a 2/2022. (IV.29.) OAH rendelet [10] 56. § (1) bekezdés szerint kiemelt, valamint I. sugárvédelmi kategóriába sorolt tevékenységek, illetve erre szolgáló létesítmények engedélyezése két ütemben történik. Az első ütemben a létesítmény kialakítása előtt a

létesítésre irányuló engedélyezést kell folytatni az 55. § (1) bekezdés 1. vagy 2. pontja szerinti eljárásban. A második ütemben a létesítmény üzembe helyezésére vonatkozó engedélyezést kell lefolytatni az 55. § (1) bekezdés 1. vagy 2. pontja szerinti ismételt eljárás kezdeményezésével. Mivel a rendszer részecskegyorsítót alkalmaz, illetőleg ipari radiográfiai rendszernek minősül, ezért az ionizáló sugárzást létrehozó berendezések I-es kategóriájába tartozik a vonatkozó jogszabály (2/2022. (IV.29.) OAH rendelet 5. melléklete) értelmében. Ennek megfelelően azt is számításba kell venni, hogy az ott dolgozóknak legalább bővített fokozatú sugárvédelmi képe-sítésben kell részesülniük (2/2022. (IV.29.) OAH rendelet 19§ 2)). [10]

A Rheinmetall esetében a folyamat némiképp eltér a civil engedélyeztetési folya-mattól, mivel a 438/2022. (XI.2.) Korm. rendelet [9] értelmében a várpalotai beruházás ki-emelt beruházásnak minősül. Továbbá mivel katonai létesítmény, ezért a 166/2018 (IX. 17.) Korm. rendelet [20] értelmében a létesítési és üzemeltetési engedélyt a Honvédelmi Minisz-terium adja meg, ugyanakkor megjegyzendő, hogy a Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzat (MSSz) és Sugárvédelmi Leírás (SL) tartalmi követelményei megegyeznek a 2/2022 (IV. 29.) OAH rendeletben foglaltakkal. [10]

3. Valós sugárvédelmi mérések igazolása,

Az engedélyeztetésnél a 2/2022 (IV.29) OAH rendelet megköveteli a valós mérések elvégzését, mely visszaigazolja, hogy a sugárvédelmi árnyékolás tervezés és tényleges meg-valósítása megfelelő volt.

4. Üzemeltetési/alkalmazási engedély

A 2/2022 (IV.29.) OAH rendelet értelmében a 8. és 7. melléklet alapján az üzemel-tetési engedélyezésnél szükséges a munkahelyi sugárvédelmi szabályzat (MSSZ) és a su-gárvédelmi leírás (SL) és ahhoz tartozó táblázatok, valamint a 11.-es melléklet szerinti be-rendezés adatlap bemutatása. Az üzemeltetési és alkalmazási engedélyt a Honvédelmi Mi-nisztérium adja meg: Honvédelemért felelős miniszter, Munkavédelmi és Sugárvédelmi Ha-tósági Osztály.

5. Munkavédelmi szempontú előzetes vizsgálat veszélyes munkaeszköz üzembhelye-zése esetén

Minden munkaeszköz első üzembhelyezése alapvetően kétféleképpen történhet munkavédelmi szempontból, aszerint, hogy az adott munkaeszköz veszélyesnek, vagy nem veszélyesnek minősül. Veszélyes munkaeszköznek minősül az a munkaeszköz, mely a 1993. évi XCIII. törvény 21§ 2) pontja szerint:

- Az 5/1993. (XII. 26.) MüM rendelet (foglalkoztatáspolitikáért felelős miniszteri rendelet) 1/a számú mellékletében [13] nevesítve van
- Egyéb jogszabály, vagy munkáltató által veszélyesnek minősített
- Hatósági felügyelet alá tartozó munkaeszköz

Ezek alapján kijelenthető, hogy az adott munkaeszköz veszélyesnek minősül már csak abból kifolyólag is, mert hatósági felügyelet alá tartozik (ionizáló sugárzást kibocsátó berendezés esetén OAH felügyelet), de ebben az esetben a munkáltató is veszélyesnek mi-nősítette az adott berendezést, így elengedhetetlen a munkavédelmi szempontú előzetes vizsgálat megtartása. A vizsgálat azt kívánja igazolni, hogy a vizsgált munkaeszköz betartja az előírt biztonsági előírásokat, a biztonsági funkciók valós gyakorlati körülmények között is az előírások szerint működnek, tehát összességében a berendezés megfelel az egészséget

nem veszélyeztető, biztonságos munkavégzés követelményeinek. A munkavédelmi szempontú előzetes vizsgálat munkavédelmi szaktevékenységnek minősül, annak elvégzését csak szakirányú képzettséggel és munkavédelmi szakmai képesítéssel rendelkező személy, vagy szakirányú munkabiztonsági szakértő, vagy jogszabályban erre feljogosított személy, vagy erre akkreditált intézmény végezheti a 1993. évi XCIII. törvény 21.§ (8) bekezdése értelmében. A veszélyes technológia vizsgálatának személyi feltétele a jogszabályban elkülönül, veszélyes technológia vizsgálatát csak szakirányú munkabiztonsági szakértői engedéllyel rendelkező személy végezheti. [12], [13]

A SUGÁRVÉDELMI ÁRNYÉKOLÁS TERVEZÉSE

A nagy energiájú ipari radiográfiai rendszerek egyik legfontosabb tervezési feladata a megfelelő árnyékolás kialakítása.

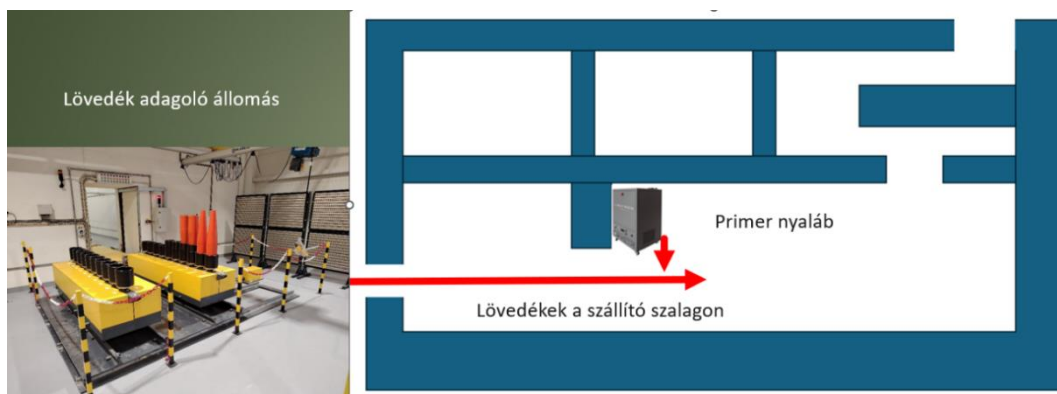
Az árnyékolástervezés során az alábbi fő szempontokat szükséges figyelembe venni:

- A sugárforrás paraméterei,
- A munkavállalók tartózkodási helyei,
- Az üzemidő,
- A megengedhető dózisterhelés (célérték),
- A primer és szórt sugárzás viselkedése.

A tervezés során meghatározásra kerültek:

- a primer sugárzás gyengítési tényezői,
- a szivárgó sugárzás mértéke,
- a szórt sugárzás intenzitása,
- a szükséges beton- és ólomárnyékolás vastagságai
- a várható foglalkozási és lakossági dóziskövetkezmény.

A számítások alapján a primer röntgensugárzást a 2 méter vastag betonfal több mint nyolc nagyságrenddel gyengíti. A szórt sugárzás és a szivárgó sugárzás azonban további tervezési kihívásokat jelentett. [6]



8. ábra: A lövedék adagoló és az NDT állomás [6]

Az NDT bunker (ahol a röntgenberendezés található, 8. ábra) anyagforgalmi nyílásának védelmére eredetileg 10 cm vastag acélajtó került betervezésre, amely sugárvédelmi

szempontból körülbelül 3,5 cm ólomnak megfelelő árnyékolást biztosított. A megfelelő árnyékolás biztosítása érdekében acélt használtak fel, mert az ólom alapvetően nem rendelkezik olyan repeszálló tulajdonságokkal, mint az acél, tehát egy esetleges robbanás esetén nem lenne képes kellő védelmet biztosítani a repeszek ellen. [14]

A TERVEZÉS SPECIALITÁSAI ÉS KIHÍVÁSAI

A sugárvédelmi árnyékolás eredeti tervezése során abból a műszaki és üzemviteli feltételezésből indultak ki, hogy a munkavállalók a lövedékbetöltő állomás belső terében nem tartózkodnak huzamosabb ideig. A koncepció szerint a dolgozók a betöltőállomás külső pereméről végezték volna a munkát, a 40 kg-os lövedékeket pedig egy híddaru segítségével illesztették volna be a betöltő nyílásba, miközben a gyorsítóberendezés folyamatos üzemmódban működik. Későbbiekben azonban kiderült, hogy a betöltőnyílásba való beillesztés a betöltőállomás pereméről, - pusztán a daru használatával - nem lehetséges, ennek megfelelően szükségessé vált a munkavállalóknak a betöltőállomáson belül tartózkodva, kézi anyagmozgatással hozzáigazítani a daruról lógó lövedéket a betöltőnyíláshoz, ami újfajta, főként ergonómiai szempontokat vetett fel. [6], [15]

A munkavédelmi szempontú előzetes vizsgálatot, majd üzembe helyezést és a technológiai folyamatok gyakorlati kipróbálását követően így világossá vált, hogy a valós munkavégzés jelentősen eltér az eredeti feltételezésektől. Kézi anyagmozgatásra vonatkozó konkrét határszámokat a jogszabály nem definiál, így ezek nem állnak rendelkezésre. Mindazonáltal a bevett gyakorlat szerint jellemzően egy átlagos férfi 25-30 kg-ot emelhet meg napi rendszerességgel, míg nők esetében ez az érték 15-20 kg között mozog. A 155 mm-es tűzérési lövedékek tömege töltött állapotban közel 40 kg, amely egyértelműen meghaladja a maximális 30 kg bevett határértéket, ezt súlyosbítja, hogy a tömeget a munkavállalóknak munkarendjük alatt rendszeresen, akár több tucadszor meg kellene emelniük, ami súlyos egészségi rendellenességeket is okozhat a munkaállomálynak hosszútávon, ráadásul a lövedékek pontos illesztése és behelyezése rendkívül precíz munkát igényel, amelyet a dolgozók a betöltőállomás külső széléről nem tudtak kellő biztonsággal és hatékonysággal elvégezni. [16]

A gyakorlatban gyorsan kiderült, hogy a külső peremről történő munkavégzés nemcsak fizikailag megterhelő, és jelentős hátgerinc, deréktáji és nyaki rendellenességeket okozhat hosszú távon, hanem jelentős munkabiztonsági kockázatot is hordoz. A lövedékek mozgatása során a dolgozóknak kedvezőtlen testhelyzetben kellett volna dolgozniuk, miközben a nehéz lövedéket pontosan kellett volna a szállítórendszerbe illeszteniük. Ez jelentősen növelte annak valószínűségét, hogy a munkavállalók a közel 40 kg-os lövedéket leejtik. Egy ilyen esemény nemcsak a gyártott termék sérülését okozhatta volna, hanem súlyos, akár életveszélyes munkabalesetet is eredményezhetett volna. [17]

Az ergonómiai és munkavédelmi szempontok ezért a gyakorlatban felülírták az eredeti sugárvédelmi tervezési koncepciót, hisz világossá vált, hogy a biztonságos és hatékony munkavégzés érdekében elengedhetetlen, hogy a dolgozók a betöltőállomás belső terébe beléphessenek, és ott akár huzamosabb ideig is tartózkodhassanak. Ez a változás azonban alapvetően módosította a sugárvédelmi kiindulási feltételeinket is.

Az eredeti rendszerben a betöltő állomás szélén 5 $\mu\text{Sv/h}$ volt mérhető, míg a töltő állomás belső térben kialakuló dózisteljesítmény-szint ($\sim 2,7 \mu\text{Sv/h}$) megfelelt annak az üzemviteli elképzelésnek, hogy a munkavállalók csak rövid ideig tartózkodnak a töltő

állomás belső terében. Az új munkaszervezési és munkavédelmi igények mellett azonban már olyan sugárvédelmi célértékeket ($0,5 \mu\text{Sv/h}$) kellett meghatároznunk, amelyek huzamos bent tartózkodás esetén is biztosítják a munkavállalók éves dózismegszorításának teljesülését. [6]

A sugárvédelmi értékelést ezért teljes egészében újra kellett készítenünk. Az új elemzés során már figyelembe vettük a megváltozott tartózkodási helyeket, a hosszú idejű bent tartózkodást, valamint a **folyamatos** üzemviteli körülményeket is. Az ipari radiográfiában használatos szabvány alapvetően a „szokásos” radiológiai felvétel készítéssel számol, azaz a teljes munkafolyamat csak kis részében van ionizáló sugárzás, míg esetünkben a gyártás folyamatos. Emiatt az ionizáló berendezés szinte folyamatosan működik, azaz kis dózisteljesítmény szintek is jelentős dózis járulékot adhatnak a 8-10, akár 12 órás műszakokban. A célunk alapvetően az volt, hogy a betöltőállomás belső terében is teljesüljön a $0,5 \mu\text{Sv/h}$ tervezési dózisteljesítmény szint, így a falakon és bejáratokon - főként az anyagforgalmi ajtón, lásd 10. és 11. ábra - lévő árnyékolást eszerint módosítottuk, amely hosszú távon is biztosítja a munkavállalók megfelelő sugárvédelmét. [18], [19]

A végleges árnyékolás kialakítása során valós méréseket is végeztünk, a mérések célja volt a rendeleti megfelelés mellett:

- a számítások ellenőrzése, azok igazolása,
- a szórt sugárzás viselkedésének vizsgálata,
- a dinamikus üzemviteli környezet modellezése,
- a szükséges árnyékolási tartalékok meghatározása.

A vizsgálatok során megállapítottuk, hogy a lövedékek fizikai jelenléte növeli kb. $0,5 \mu\text{Sv/h}$ -val a szórt sugárzás mértékét. Ezért a tervezési számításokat kiegészítettük mérési eredményekkel is. [6]

A gyakorlati tapasztalataink alapján:

- a szabványokban előírt értékek önmagukban nem elegendők,
- konzervatív, az általánosabb jellegű előírásoknál szigorúbb tervezési megközelítés szükséges,
- a későbbi üzemviteli módosításokra tartalékot érdemes hagyni,
- a munkavédelmi ergonómiai szempontokat integrálni kell a sugárvédelmi tervezésbe.

KÖVETKEZTETÉSEK

A modern hadiipari gyártás során alkalmazott nagy energiájú NDT rendszerek sugárvédelmi tervezése rendkívül összetett mérnöki feladat. A vizsgált eset jól szemlélteti, hogy a sugárvédelmi számítások és szabványi előírások önmagukban nem elegendők a végleges rendszer kialakításához.

A 155 mm-es tüzérségi lövedékek gyártása során a munkavédelmi és ergonómiai szempontok alapvetően módosíthatják az eredeti sugárvédelmi koncepciót. Bizonyítottuk, hogy a munkavédelem felülírhatja a meglévő sugárvédelmi elképzeléseket, intézkedéseket, amennyiben a munkavédelmi szempontú vizsgálatok során feltárássra kerül, hogy a technológiai folyamat az élő munkaerő egészségét és/vagy biztonságos munkavégzését közvetetten vagy közvetlenül veszélyeztetheti.

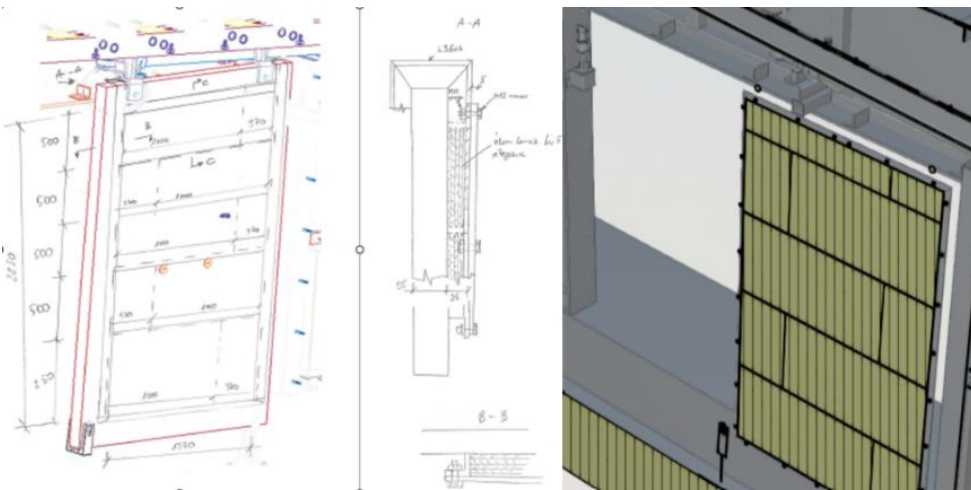
Az eredeti tervezési modell abból indult ki, hogy a munkavállalók nem tartózkodnak huzamosabb ideig a betöltőállomás belső terében. A valós gyártási környezet azonban igazolta, hogy a közel 40 kg tömegű lövedékek biztonságos és hatékony kezelése kizárólag úgy valósítható meg, ha a dolgozók beléphetnek a betöltőállomás területére (9. ábra).



9. ábra: A betöltőállomáson belül dolgozó munkavállalók a Rheinmetall cégcsoport egy másik telephelyén [Saját szerkesztés]

A külső peremről történő munkavégzés:

- ergonómiailag kedvezőtlen volt,
- csökkentette a munkahatékonyt,
- növelte a munkabalesetek kialakulásának kockázatát,
- fokozta a lövedék leejtésének veszélyét.



10. ábra: A kiegészített anyagforgalmi ajtó, aszimmetrikus formában telepített ólomdarabokkal [6]

Az általunk feltárt munkavédelmi szempontok ezért közvetlenül felülírták az eredeti sugárvédelmi feltételezéseket. A megváltozott munkavégzési körülmények miatt a sugárvédelmi értékelést újra kellett készítenünk, új dózisteljesítmény célértékeket kellett meghatározni, valamint szükséges volt továbbfejlesztenünk a rendszer árnyékolását is.



11. ábra: A végleges kialakítású anyagforgalmi ajtó, összesen 9,5 cm ólomegyenértékkel [saját szerkesztés]

A végleges megoldásunk során az anyagforgalmi ajtó eredeti árnyékolását végül összesen 6 cm vastag (oldalanként 3-3 cm) (10. és 11. ábra) ólomréteggel egészítettük ki. Elmondható, hogy alapvetően 1 cm az ekvivalens tervezés ($0,5 \mu\text{Sv/h}$ a betöltő állomás belső terében), az ajtó teherbírásának vizsgálata során azonban arra jutottunk, hogy ennél sokkal vastagabb ólomréteget is képes elbírní. Ezen kiegészítés lehetővé tette:

- a hosszú idejű bent tartózkodást,
- a biztonságos, egészséget nem veszélyeztető munkavégzést,
- akár a lakossági sugárvédelmi dóziskorlátok teljesítését (1 mSv/év),
- a folyamatos akár napi 12 órában történő kiemelt jelentőséggel bíró hadiipari termelés fenntartását.
- a munkavédelmi, azon belül is ergonómiai követelményeknek való megfelelést
- a repeszállóság biztosítását az acél megtartásával.

A tanulmány egyik legfontosabb következtetése, hogy a modern sugárvédelmi tervezés során multidiszciplináris szemlélet szükséges. A sugárvédelmi, munkavédelmi, ergonómiai és technológiai szempontokat együttesen kell kezelni, ezáltal integrált módon, a különféle szakterületek egymásra gyakorolt hatását is kell tanulmányozni az ehhez hasonló ipari létesítményekben történő munkavégzés során. Ennek következtében a felelős sugárvédelmi szakértőnek és a munkavédelmi szakembernek közösen, hatékony, egzakt és gördülékeny kommunikáció használatával kell együttműködniük.

A hadiipari környezetben különösen fontos:

- a valós munkafolyamatok pontos megismerése,
- a tényleges tartózkodási helyek figyelembevétele,
- pontos munkafolyamatok, munkafázisok definiálása
- az üzemviteli változások lehetőségének betervezése,
- a megfelelő mérnöki tartalékok kialakítása.

A vizsgált rendszer jól példázza, hogy a munkavédelem szakterülete a megfelelően kialakított sugárvédelmi infrastruktúra fontos támogató eleme lehet a hosszú távú, stratégiai jelentőségű hadiipari termelésnek.

A hadiipari létesítményekben sokszor nem feltétlen minden információ ismert (katonai titok), illetve nem feltétlen vannak más szakemberek tisztában azzal, ha csak kicsit is változtatnak a feltételeken az sugárvédelmi szempontból igen releváns is lehet. Ezért is fontos megfelelő mérnöki rezervet (tartalékot) képzeni: prognosztizálható ugyanis, hogy később változhatnak a feltételek és emiatt a sugárvédelmi rendszer is megváltozhat, ehhez azonban kellően robusztus kialakítás szükséges még a tervezési fázis során, illetőleg másik a megoldás az lehet, hogy eleve úgy tervezzük a rendszert, hogy később az viszonylag kis költség ráfordításával jól kiegészíthető legyen.

ÖSSZEFOGLALÁS

A modern hadiiparban a minőségbiztosítás és a sugárvédelem szorosan összekapcsolódik. A nagy energiájú gyorsító alapú röntgenrendszerek lehetővé teszik a kritikus hibák gyors és megbízható felismerését, ugyanakkor alkalmazásuk csak megfelelő sugárvédelmi és munkavédelmi infrastruktúra mellett lehetséges.

A Várpalota Védelmi Ipari Komplexumban alkalmazott megoldások jól szemléltetik, hogy a hadiipari környezetben a sugárvédelmi tervezésnek túl kell mutatnia a hagyományos ipari gyakorlaton és figyelembe kell vennie a különféle munkavédelmi szempontú, munkavédelmi oldalról feltárt szempontokat is a tervezés során. A megfelelően kialakított árnyékolási rendszer továbbá nemcsak a jogszabályi megfelelést biztosítja, hanem hosszú távon hozzájárul a stratégiai jelentőségű hadiipari termelés fenntarthatóságához is.

Főbb következtetéseink:

- Kiemelten fontos megismerni a gyártás sugárvédelmi és munkavédelmi szempontból releváns részegységeit.
- Identifikálni szükséges, hogy hol lesznek és pontosan mit csinálnak a munkavállalók a munkaidejük nagy részében.
- Szintén fontos pontosan ismerni a munkavállalók távolságát az árnyékolástól. (pl. 20 $\mu\text{Sv/h}$ esetén min. 6 m távolság kell, olyan területen, ahol hosszú ideig tartózkodnak).
- az MSZ 836:2017 szabvány irányadó szintjei (20 $\mu\text{Sv/h}$, 7,5 $\mu\text{Sv/h}$) korlátozottan alkalmazhatóak, mivel a hosszú távú időtöltés részein a 0,5 $\mu\text{Sv/h}$ szint garantálja, hogy a 2 mSv/év dózismegszorítást nem fogják túllépni. Azaz ezt érdemes tervezési célértéknek választani.
- Nélkülözhetetlen a pontos kommunikáció a különféle szakterületek között
- A sugárvédelmi tervezés során érdemes rezervet meghatározni, vagy könnyen kiegészíthetővé tenni a rendszert.
- Amennyiben nem minden paraméter ismert a kialakítás során (pl. dinamikus szóródás), - szintén érdemes némi rezervet, tartalékot betervezni a rendszerbe.
- A tervezés és kialakítás folyamata integrált, multidiszciplináris tervezői szemléletet követel.
- Az ajtó árnyékolás tervezésénél a repeszállóságot is biztosítani kell, ezért nem lehet csak ólomból megépíteni az ajtót.

- A pontos méretezést mérésekkel is meg lehet állapítani, amennyiben a szabványban ismertetett tervezéstől eltérő paraméterek is vannak.
- Az anyagforgalmi ajtót érdemes a fallal egyenértékűre tervezni, mivel a gyártási igény folyamatos.
- Az ergonómia bizonyos esetekben felülírhatja a sugárvédelmet: töltő állomáson való hosszú távú tartózkodás (persze a cél nem pusztán a hátfájás elkerülése, hanem a bomba leejtés minimalizálása is)
- A szabványtól el lehet térni, amennyiben igazolni lehet az egyenértékűséget, vagy ha a szabványtól eleve konzervatívabb megoldással dolgozunk.
- A szabvány alapú tervezés még egy bonyolultabb rendszer esetén is megfelelő lehet, de szintén be kell kalkulálni a lehetséges eltérések mértékét, ha ez nem ismert akkor tartalékot kell betervezni.
- Érdemes több scenárióra is megtervezni a rendszert, hogy lehessen látni az egyes megoldások várható költség-haszon arányait.
- Kiemelten fontos a tervezési célértékek meghatározása, akár többféle scenárióra is (pl. gyártás akár többféle paramétere megváltozik pl. röntgen nyaláb szélessége, energiája stb.), így kellően robusztussá tehető az árnyékolás, hogy minden lehetséges változtatás esetén se legyen a sugárvédelem limitáló tényező egy stratégiailag fontos gyártás esetén.
- Ehhez kapcsolódhat egy sugárvédelmi stressz teszt, vagy paraméterérzékenység vizsgálat, amiből kiderül mely paraméter változására a legérzékenyebb a rendszer.
- A tervező az eredeti rendszerre megfelelően méretezte az árnyékolást és az ajtó teherbírására megfelelő mennyiségű mérnöki rezerv lett kialakítva. A megrendelő kérésére + 6 cm ólom árnyékolás került felhelyezésre az ajtóra.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] G. P. Kovács, „NATO csúcs: várható a 155 mm-es lövedékek szabványosítása,” Védelmi Ipar Blog, 2024. júl. 7. [Online]. Elérhető: <https://vedelmiiparblog.hu/blog/nato-csucs-varhato-a-155-mm-es-lovedek-szabvanyositasa/> (2026.05.11.)
- [2] F. Vauvillier and P. Touzin, *Les canons de la victoire 1914–1918, Tome 1: L'artillerie de campagne*. Paris, France: Histoire & Collections, 2006. ISBN 978-2-35250-022-3.
- [3] International Atomic Energy Agency, *Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 13*. Vienna, Austria: IAEA, 1999. pp.1-25.
- [4] Passion & Compassion 1914–1918, „Canon n° 454.” [Online]. Elérhető: https://www.passioncompassion1418.com/Canons/Eng_AfficheCanonGET.php?Id-CanonAffiche=454 (2026.05.27)
- [5] BAS'ART, „Base documentaire Artilleire”. [Online]. Elérhető: https://artillerie.asso.fr/basart/article.php3?id_article=1367 (2026.05.27)
- [6] K. Bodor, „Sugárvédelem a modern, minőségi, nagy kaliberű tüzérségi lőszergyártásban,” konferencia-előadás, Budapest, 2025.
- [7] Rheinmetall Hungary Zrt., „Rheinmetall Hungary Munitions Zrt. várpalotai telephelye.” [Online]. Elérhető: <https://www.rheinmetall.com/hu/ceg/leanyvallalatok/hu-rheinmetall-hungary-zrt> (2026.05.13)

- [8] Financial Times, „Rheinmetall to start producing cruise missiles as early as this year,” 2026. [Online]. Elérhető: <https://www.ft.com/content/bfbc7310-0696-4248-b424-10ca6e7b5256?syn-25a6b1a6=1> (2026.05.12)
- [9] „438/2022. (XI. 8.) Korm. rendelet a Várpalotai Védelmi Ipari Komplexum megvalósításával összefüggő közigazgatási hatósági ügyek nemzetgazdasági szempontból kiemelt jelentőségű üggyé nyilvánításáról, valamint egyes kapcsolódó kormányrendeletek módosításáról,” Nemzeti Jogszabálytár. [Online]. Elérhető: <https://njt.jog.gov.hu/jogszabaly/2022-438-20-22>. (2026.05.18)
- [10] „2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről,” Nemzeti Jogszabálytár. [Online]. Elérhető: <https://njt.jog.gov.hu/jogszabaly/2022-2-20-8L>. (2026.05.13)
- [11] K. Bodor, „ELI ALPS engedélyeztetési menete,” belső szakmai dokumentáció, HUNREN Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest, 2026.
- [12] „1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről,” Nemzeti Jogszabálytár. [Online]. Elérhető: <https://njt.jog.gov.hu/jogszabaly/1993-93-00-00.58#NR>. (2026.05.13)
- [13] „5/1993. (XII. 26.) MüM rendelet a munkavédelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról,” Nemzeti Jogszabálytár. [Online]. Elérhető: <https://njt.jog.gov.hu/jogszabaly/1993-5-20-39.32#NR>. (2026.05.10)
- [14] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP): „Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities”. NCRP Report No. 151, Bethesda, Maryland, 2005.
- [15] International Atomic Energy Agency, Radiation Safety in Industrial Radiography, IAEA Safety Standards Series No. SSG-11. Vienna: IAEA, 2011. [Online]. Elérhető: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1466_web.pdf (2026.05.13)
- [16] ISO 6385:2016. Ergonomics Principles in the Design of Work Systems. International Organization for Standardization, Geneva, 2016.
- [17] International Labour Office and International Ergonomics Association, Ergonomic Checkpoints: Practical and Easy-to-Implement Solutions for Improving Safety, Health and Working Conditions, 2nd ed. Geneva, Switzerland: International Labour Office, 2010.
- [18] Sugárzás elleni védelem röntgenberendezést és/vagy gamma-sugárforrást alkalmazó ipari radiográfiai munkahelyen, MSZ 836:2017. Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 2017.
- [19] A foton- és elektronsugárzás elleni védelem, MSZ 62-2:2017. Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 2017.
- [20] 166/2018. (IX. 17.) Korm. rendelet a honvédelmi ágazat sugárvédelmi hatósági feladatairól. Nemzeti Jogszabálytár. [Online]. Elérhető: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1800166.kor> (2026.06.13)